



АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

~ КЛАССИКИ НАУКИ ~

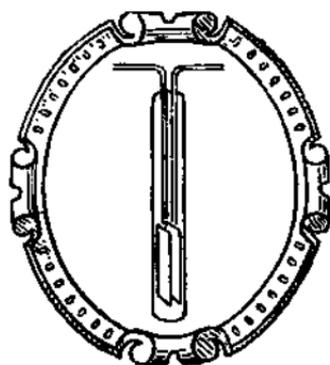


МИХАИЛ ФАРАДЕЙ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

ТОМ III

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО  
В. С. ГОХМАНА и Т. Н. КЛАДО

КОММЕНТАРИИ И РЕДАКЦИЯ  
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АКАДЕМИИ НАУК СССР  
ПРОФ. **Т. П. КРАВЦА**  
и проф. Я. Г. ДОРФМАНА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

1 9 5 9

## СЕРИЯ «КЛАССИКИ НАУКИ»

Основана академиком *С. И. В а с и л о в ы м*

Редакционная коллегия: академик *И. Г. Петровский* (председатель), академик *Н. Н. Андреев*, академик *Р. М. Быков*, академик *В. А. Кавачский*, академик *О. Ю. Шмидт*, академик *Д. И. Щербатов*, академик *П. Ф. Юдин*, член-корреспондент АН СССР *В. Н. Делоне*, член-корреспондент АН СССР *Х. С. Коштолниц*, член-корреспондент АН СССР *А. М. Самарин*, профессор *Д. М. Лебедев*, профессор *Н. А. Фигуровский*, кандидат философских наук *И. В. Кузнецов* (заместитель председателя).



# ПРЕДИСЛОВИЕ



По соображениям, изложенным в первом томе настоящих исследований, я решил собрать воедино остальные серии и прибавить к ним некоторые другие работы, посвященные исследованиям по электричеству и магнетизму.

К вступительным замечаниям, содержащим указанные выше соображения, я отсылаю тех лиц, которые почтут своим вниманием и настоящие «Исследования». Как и раньше, я в настоящем томе напечатал статьи с незначительными изменениями или же без всяких изменений, за исключением того, что на первой странице каждой статьи я поместил правильную и точную дату последней.

Что касается магнекристаллического действия, изложение которого начинается в параграфе 2454, то читатель усмотрит, как постепенно изменялись и расширялись мои воззрения на его природу за время пространных исследований; это видно из нп. 2550, 2562, 2576, 2584 и дальше, 2591, 2639, 2797, 2818, 2836 и дальше. Отсылаю читателей к работе Тиндалля (Tyndall) и Кноблауха (Knoblauch) в *Philosophical Magazine*, 1850, т. XXXVII, стр. 1, где они найдут настоящее научное изложение физической причины магнекристаллического действия,<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Маршан (Marchand) и Шеерер (Scheerer) сообщают, что висмут под давлением расширяется и структура его меняется. *Gmelin's Handbuch*, IV, стр. 428.

а также к работе профессора У. Томсона (W. Thomson) в *Philosophical Magazine*, 1851, т. I, стр. 177, о теории магнитной индукции в кристаллических и некристаллических веществах; эта статья во всех своих частях находится в совершенном согласии с различными одновременно мною полученными результатами.

В пп. 2967 и 3242 я высказывал намерение произвести опыты с кислородом при низких температурах; я пытался осуществить эти намерения, но ясно, насколько трудно проводить работы со столь разреженным веществом, как газы, при низких температурах, не создавая при этом воздушных течений, способных повлиять на крутильные весы и на прибор, необходимый для измерения полученных результатов; эта трудность столь велика, что до сих пор мне еще не удалось получить какие-нибудь заслуживающие доверия результаты.

Я чрезвычайно обязан Королевскому обществу и издателям *Philosophical Magazine* за большую любезность, оказанную мне сужением клише и т. п., а также за разные другие льготы, предоставленные мне при печатании настоящего тома.

Ввиду того, что указатель относится как к «Экспериментальным исследованиям», так и к другим работам, то по необходимости ссылки в нем производятся двумя различными способами: для «Исследований», как и раньше, ссылки делаются на номера параграфов, и их легко узнать по большой величине соответствующих чисел. Остальные ссылки делаются на страницы, и так как им всюду предшествует слово *стр.*, то их легко узнать по этому признаку.

*Михаил Фарадей.*

Январь 1855

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ**



# ДЕВЯТНАДЦАТАЯ СЕРИЯ<sup>1</sup>

*Раздел 26. О намагничивании света и об освещении магнитных силовых линий.*<sup>2</sup> Глава I. Действие магнитов на свет. Глава II. Действие электрических токов на свет. Глава III. Общие соображения.

Поступило 6 ноября. Доложено 20 ноября 1845 г.

## РАЗДЕЛ 26

### О намагничивании света и об освещении магнитных силовых линий

#### ГЛАВА I

##### *Действие магнитов на свет*

2146. Я давно уже придерживался мнения — и оно почти достигло степени убеждения, — и того же мнения, как, мне думается, придерживаются многие другие любители естествознания, а именно, что различные формы, в которых проявляются силы материи, имеют общее происхождение или, дру-

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1846, стр. 1.

<sup>2</sup> Заголовок настоящей статьи ввел, как я вижу, многих в заблуждение относительно ее содержания; поэтому я беру на себя смелость приложить настоящее пояснительное примечание. Я не принимаю и не отвергаю гипотезы об эфире, или корпускулярной гипотезы, или какого-либо иного воззрения, которое может быть предложено относительно природы света; насколько я усматриваю, о луче света в действительности нам известно не больше, чем о линии магнитной или электрической силы или даже о линии силы тяготения, за исключением того, что как первый, так и последние проявляются в веществах и при посредстве последних. Я полагаю, однако, что в опытах, описываемых мною в настоящей статье; свет

гими словами, настолько близко родственны друг другу и взаимно зависимы, что они могут как бы превращаться друг в друга и обладают в своем действии эквивалентами силы.<sup>1</sup> В новейшее время доказательства их взаимной превращаемости в весьма заметной степени умножились и положено начало определению их эквивалентных сил.

2147. Это твердое убеждение распространялось и на силы света и побудило (меня) раньше произвести много изысканий, имевших целью открыть прямую связь между светом и электричеством и их взаимодействие в телах, подвергаемых их совместным силам.<sup>2</sup> Однако результаты этих изысканий оказались отрицательными и были впоследствии в этом смысле подтверждены Вартманом.<sup>3</sup>

2148. Эти безуспешные изыскания, а также многие другие, которые остались неопубликованными, не могли поколебать моего твердого убеждения, основанного на научных соображениях. Поэтому я недавно возобновил экспериментальное испытание на себе магнитное действие, т. е. что магнитному действию подвергалось то, что является магнитным в силах материя, а последнее, в свою очередь, воздействовало на то, что является подлинно магнитным в силе света. В термин «магнитный» я включаю здесь любое из особых проявлений силы магнита, независимо от того, как оно обнаруживается: в магнитной или диамагнитной группе тел. Выражение «освещение магнитных силовых линий» было понято в том смысле, будто я сделал их светящимися. Я не имел этого в виду. Я хотел только сказать, что магнитная силовая линия была освещена подобно тому, как Земля освещается Солнцем или как паутиная нить освещается лампой астронома. С помощью луча света мы можем *простым* глазам указать направление магнитных линий в теле, а по изменению луча и его оптического действия на глаз мы можем видеть ход этих линий совершенно так же, как мы можем видеть ход стеклянной нити или нити какого-либо другого прозрачного вещества, которая стала видимой благодаря свету. Это именно я и понимал под «освещением», как это в полной мере явствует из самой статьи. 15 декабря 1845 г. — М. Ф.

<sup>1</sup> Экспериментальные исследования, 57, 366, 376, 877, 961, 2071.

<sup>2</sup> Philosophical Transactions, 1834; Экспериментальные исследования, 951—955.

<sup>3</sup> Archives de l'Electricité, II, стр. 598—600.

следование на очень точных и строгих началах, и в конце концов мне удалось намагнитить и наэлектризовать луч света и осветить магнитную силовую линию. Эти результаты, не входя в детали многих неудавшихся опытов, я изложу здесь возможно кратко и ясно.

2149. Раньше, однако, чем перейти к этому, я укажу, какой смысл я придаю известным терминам, которыми мне придется пользоваться. Под *линией магнитной силы*, или *магнитной силовой линией*, или *магнитной кривой*, я подразумеваю те проявления магнитной силы, которые обнаруживаются в линиях, обычно называемых магнитными кривыми; последние либо существуют в виде линий, идущих от магнитных полюсов или к последним, либо образуют концентрические круги вокруг электрического тока. Под *линией электрической силы* я подразумеваю силу, проявляющуюся в линиях, которые соединяют два тела, действующих друг на друга согласно началам статической электрической индукции (1161 и т. д.); эти линии точно так же могут быть либо кривыми, либо прямыми. Под *диамагнитным* я подразумеваю тело, через которое проходят линии магнитной силы и которое под их действием не принимает обычного магнитного состояния железа или магнитного железняка.

2150. Луч света, исходящий от Аргандовой лампы, был поляризован в горизонтальной плоскости путем отражения от стекляннной поверхности, и поляризованный луч проходил через Николев окуляр, который для удобства исследования света мог вращаться вокруг горизонтальной оси. Между поляризующим зеркалом и окуляром были установлены два сильных электромагнитных полюса; это были либо полюсы подковообразного магнита, либо противоположные полюсы двух цилиндрических магнитов. Они находились друг от друга на расстоянии около 2 дюймов по направлению луча и были расположены таким образом, что когда они находились на одной и той же стороне поляризованного луча, то последний мог проходить вблизи них, а когда находились на противо-

положных сторонах, то он мог проходить между ними; направление его было всегда параллельно или почти параллельно магнитным силовым линиям (2149). Если теперь поместить между полюсами какое-либо прозрачное вещество, через последнее должны проходить одновременно и в одном и том же направлении как поляризованный луч, так и магнитные силовые линии.

2151. Шестнадцать лет тому назад я опубликовал некоторые опыты, произведенные с оптическим стеклом,<sup>1</sup> и описал изготовление и общие свойства некоего вида тяжелого стекла, которое по его составу было названо боросиликатным свинцовым стеклом (Silicated borate of lead). Это именно стекло дало мне впервые возможность открыть связь между светом и магнетизмом, и оно обладает большей способностью ее показать, чем любое иное тело. В интересах ясности я опишу сначала эти явления в том виде, как они представляются при этом веществе.

2152. Кусок этого стекла, около 2 дюймов в квадрате и толщиной в 0.5 дюйма, с плоскими и отшлифованными гранями, был помещен в качестве *диамагнитного тела* (2149) между полюсами (которые не были еще намагничены электрическим током) таким образом, что поляризованный луч должен был проходить по его длине. Стекло действовало подобно тому, как действовал бы воздух, вода или любое индифферентное вещество, и когда окуляр предварительно ставился в такое положение, что поляризованный луч гасился или, лучше сказать, что положенное изображение становилось невидимым, то введение этого стекла не вызывало в этом отношении никакого изменения.

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1830, стр. 1. Я не могу здесь упустить подходящего случая упомянуть имя г-на Андерсона, который поступил ко мне в качестве ассистента в опытах со стеклами и с того времени остался в лаборатории Королевского института. Он помогал мне во всех исследованиях, которые я с того времени предпринимал, и я многим обязан его тщательности, выдержке, точности и добросовестности в выполнении всего того, что ему поручалось. — М. Ф.

При вышеуказанном положении вещей возбуждалась сила электромагнита, для чего пропускался через его катушки электрический ток, и тотчас же изображение пламени лампы становилось видимым и оставалось таким, пока установка оставалась магнитной. Когда электрический ток прерывался и таким образом прекращалась магнитная сила, свет мгновенно исчезал. Это явление можно было по желанию повторить в любой момент времени и при любом случае; таким образом, доказывалось наличие совершенной связи между причиной и действием.

2153. Гальванический ток, которым я пользовался, в данном случае получался от пяти пар элементов Грова, а электромагниты обладали такой мощностью (power), что полюсы могли в отдельности держать на весу от двадцати восьми до пятидесяти шести фунтов и даже более. Лицо, которое наблюдало бы это явление впервые, не было бы в состоянии его заметить с помощью более слабого магнита.

2154. Характерная особенность силы, которая таким образом сообщается диамагнитному веществу, заключается в том, что она является *вращательной*, ибо когда изображение лампы становится указанным образом видимым, то некоторое, большее или меньшее, вращение окуляра вправо или влево его погашает, а дальнейшее вращение окуляра в ту или другую сторону от этого положения вновь приводит к появлению света и притом в дополнительных цветах, в зависимости от того, в какую сторону происходит это вращение: вправо или влево.

2155. Когда ближайшим к наблюдателю был полюс с меткой, т. е. тот же, что и северный конец магнитной иглы, а более отдаленным был полюс без метки, то вращение луча происходило вправо, ибо окуляр приходилось поворачивать вправо, т. е. по направлению часовой стрелки, чтобы уловить луч и восстановить изображение в первоначальном его состоянии. Если перевернуть полюса, что производилось мгновенно путем изменения направления электрического тока, то вращение точно так же изменяется и становится левым, причем оно дости-

гает той же величины, что и раньше. Для одной и той же *магнитной силовой линии* (2149) направление всегда остается одинаковым.

2156. Если помещать диамагнитное тело в различные другие положения, какие легко можно себе вообразить, вблизи магнитных полюсов, то результаты получаются более или менее заметными по величине и очень определенными по характеру; но описанные только что явления можно рассматривать как главный их пример; в дальнейшем в случае необходимости мы будем на них ссылаться.

2157. Те же явления были получены в боросиликатном свинцовом стекле (2151) с помощью хорошего обыкновенного стального подковообразного магнита; в этом случае мы совершенно не прибегали к электрическому току. Результаты оказались слабыми, но все-таки достаточными для того, чтобы показать совершенную тождественность действия электромагнитов и обыкновенных магнитов в этом их влиянии на свет.

2158. Я заставил два магнитных полюса работать только концами, т. е. сердечники электромагнитов представляли собою полные железные цилиндры, и луч поляризованного света проходил вдоль их осей и через помещенное между ними диамагнитное тело. Действие получилось такое же.

2159. Был взят лишь один магнитный полюс, а именно один край мощного цилиндрического электромагнита. Когда тяжелое стекло находилось позади магнита, очень близко к последнему, но между магнитом и поляризующим рефлектором, то вращение происходило в одном направлении, которое зависело от природы полюса. Но когда диамагнитное тело находилось по сю сторону от магнита, очень близко к нему, но между магнитом и глазом, то вращение при том же полюсе происходило в направлении, противоположном тому, каким оно было раньше; а когда магнитный полюс менялся, то вместе с ним изменялись и оба эти направления. Когда тяжелое стекло находилось в соответствующем положении по отношению к полюсу, но над последним или же под ним, так что *магнитные кривые* про-

ходили через стекло уже не параллельно лучу поляризованного света, а скорее перпендикулярно к последнему, то не получалось никакого действия. Указанные частные случаи можно понять с помощью рис. 175, на котором  $a$  и  $b$  представляют собою первые положения диамагнитного тела, а  $c$  и  $d$  — последующие его положения, причем ход луча изображен пунктиром. А если стекло установить прямо перед концом магнита, то в этом случае не получается никакого действия на луч, проходящий в описанном здесь направлении, хотя из того, что было сказано раньше (2155), ясно, что луч, который проходил бы через поставленное вышеуказанным образом стекло параллельно магнитным линиям, испытал бы на себе действие магнита.

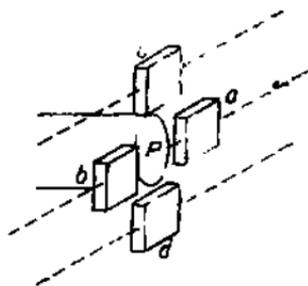


Рис. 175.

2160. Таким образом, магнитные линии, проходя через боросиликатное свинцовое стекло и через большое количество других веществ (2173), выказывают в них способность действовать на поляризованный луч света, когда эти линии параллельны лучу, или в той мере, в какой они ему параллельны. Когда они перпендикулярны к лучу, то они на него совершенно не действуют. Они сообщают диамагнитным телам способность вращать этот луч, и закон этого действия на луч заключается в том, что когда магнитная силовая линия *уходит* (от нас) из северного полюса, или *идет* (к нам) от южного полюса, вдоль пути поляризованного луча, идущего к наблюдателю, то она вращает этот луч вправо, а когда подобная силовая линия идет (к нам) от северного полюса, или *уходит* (от нас) из южного полюса, то она вращает такой луч влево.

2161. Если пробку или стеклянный цилиндр, представляющий собой диамагнитное тело, пометить на концах буквами  $N$  и  $S$ , чтобы этим указать полюсы магнита, то линию, соединяющую эти буквы, можно рассматривать как магнитную силовую

линию. Можно, далее, провести вокруг цилиндра линию со стрелкой для указания направления (как на рис. 176); если такую простую модель держать перед глазами, она выразит весь этот закон и покажет любое положение и вытекающий из него вывод о направлении. Если в качестве диамагнитного тела рассматривать часы, причем вообразить себе, что северный полюс магнита обращен к лицевой стороне часов, а южный полюс — к задней их стороне, то движение стрелки укажет направление вращения, которому следует луч света при его намагничивании.

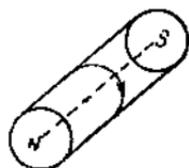


Рис. 176.

2162. Я перейду теперь к различным обстоятельствам которые влияют на область и на природу этой новой силы воздействия на свет, которые их ограничивают и определяют.

2163. Прежде всего вращение, по-видимому, соразмерно протяжению диамагнитного тела, через которое проходят луч и магнитные линии. Я поддерживал постоянными силу магнита и расстояние между полюсами и затем помещал между полюсами различные куски того же тяжелого стекла (2151). Чем большим было протяжение диамагнитного тела по линии луча — все равно, было оно в одном, двух или трех кусках, — тем больше было вращение луча, и насколько я мог судить на основании этих первых опытов, величина вращения была в точности пропорциональна протяжению диамагнитного тела, через которое проходил луч. Никакое прибавление или убавление тяжелого стекла *сбоку* от хода луча не вызывало никакого изменения действия той части стекла, через которую луч проходил.

2164. Способность вращать световой луч *увеличивалась* вместо с интенсивностью магнитных силовых линий. Это общее правило легко установить, пользуясь электромагнитами. В тех пределах мощности, которые были в моем распоряжении, она представляется прямо пропорциональной интенсивности магнитной силы.

2165. Помимо тяжелого стекла, той же способностью действовать на свет под влиянием магнитной силы обладают другие тела (2173). В тех случаях, когда эти тела сами по себе обладают вращательной способностью (таковы, например, терпентинное масло, сахар, винная кислота, соли винной кислоты и др.), действие магнитных сил следует прибавить к их удельной силе или вычесть из нее в соответствии с тем, куда будет направлено естественное вращение и вращение, вызываемое магнетизмом: вправо или влево (2231).

2166. Я не мог установить, чтобы на эту способность влияло какое бы то ни было движение, которое я был в состоянии сообщить диамагнитному телу, когда последнее подвергалось одновременному действию магнетизма и света.

2167. Помещение меди, свинца, олова, серебра и других обыкновенных немагнитных тел на пути магнитных кривых как между полюсами и диамагнитным телом, так и в других местах, не оказывало на эти явления никакого влияния как с качественной точки зрения, так и с точки зрения силы действия.

2168. Железо зачастую влияло на эти результаты в очень значительной степени, но это, по-видимому, всегда происходило либо вследствие того, что оно изменяло направление магнитных линий, либо вследствие того, что оно сосредоточивало их силу в себе самом. Так, например, когда оба противоположных полюса находились по одну сторону от поляризованного луча (2150), а тяжелое стекло находилось в наиболее благоприятном своем положении между ними и лучом света (2152), то приближение большого куска железа к стеклу по другую сторону от луча вызывало ослабление способности диамагнитного тела. Это происходило вследствие того, что некоторые линии магнитной силы, которые первоначально проходили через стекло параллельно лучу, теперь стали пересекать стекло и луч: железо дало два противоположных полюса, направленных противоположно полюсам магнита, и таким образом оно определяло для известной части магнитной

силы новое направление, и притом поперек поляризованного луча.

2169. Но если поместить железо не на противоположной стороне стекла, а на той же стороне, что и магнит, поблизости от последнего или же в соприкосновении с последним, то способность диамагнитного тела снова ослабевала просто вследствие того, что сила магнита отклонялась от него в новом направлении. Эти действия в очень сильной мере зависят, конечно, от интенсивности и мощности магнита и от размеров и мягкости железа.

2170. Электрокатушки (2190) без железных сердечников оказались очень слабыми по своей мощности и вызывали едва заметное действие. С железными сердечниками они оказались весьма мощными, хотя по их виткам проходило тогда не больше электричества, чем раньше (1071). Последнее весьма простым образом указывает на то, что явления, представляемые при этих обстоятельствах светом, непосредственно связаны с магнитной формой силы, которую дает установка. На то же указывает и другое явление. Когда замыкают контакт гальванической батареи и пропускают ток вокруг электромагнита, то вызываемое вращением поляризованного луча изображение не появляется сразу в полной своей яркости, а нарастает в течение одной-двух секунд, постепенно достигая наибольшей своей интенсивности; при размыкании же контакта оно убывает в один миг и, по-видимому, исчезает сразу. Постепенное нарастание яркости связано со временем, какое необходимо для того, чтобы железный сердечник магнита развил всю магнитную силу, которую может вызвать в нем электрический ток; и по мере того, как магнетизм нарастает по своей интенсивности, усиливается и его действие на свет. Отсюда — постепенное увеличение вращения.

2171. До сих пор я не мог установить, чтобы тяжелое стекло (2151), находясь в указанном выше состоянии, т. е. когда через него проходят магнитные линии сил, обнаруживало какую-либо повышенную степень магнита-индуктивного

действия установленного вида, или вообще обладало этим свойством. Я помещал его в больших количествах и в различных положениях между магнитами и магнитными стрелками, имея одновременно в своем распоряжении очень чувствительные средства для выявления малейшего различия между ним и воздухом, по никакого различия мне установить не удалось.

2172. Применяя ноду, алкоголь, ртуть и другие жидкости, помещенные в очень больших чувствительных сосудах, устроенных в виде термометров, я не мог установить, чтобы их объем как-либо изменялся, когда через них проходили магнитные кривые.

2173. Теперь мне пора перейти к рассмотрению указанной способности действия магнетизма на свет не только в боросиликатном свинцовом стекле (2151), но и во многих других веществах. Здесь мы прежде всего отметим, что если все прозрачные тела обладают способностью проявлять это действие, то они обнаруживают ее в весьма различных степенях, и что до настоящего времени существуют еще такие тела, которые ее совершенно не проявили.

2174. Далее мы можем заметить, что тела, чрезвычайно отличающиеся друг от друга по своим химическим, физическим и механическим свойствам, одинаково проявляют указанное действие, ибо твердые и жидкие тела, кислоты, щелочи, масла, вода, алкоголь, эфир — все они обладают этой способностью.

2175. И, наконец, мы можем отметить, что во всех этих телах, хотя степень действия и может оказаться различной, все-таки это действие всегда одинаково по своему характеру, а именно, это — способность вращать луч света. И далее направление вращения во всех случаях не зависит от природы или состояния вещества, а зависит от направления магнитных силовых линий в соответствии с тем законом, который был изложен выше (2160).

2176. Среди веществ, у которых я установил эту способность, я уже особо отметил боросиликатное свинцовое стекло

(2151), как чрезвычайно пригодное для воспроизведения этих явлений. Я сожалею о том, что оно оказывается наилучшим, так как мало вероятно, чтобы многие им располагали, и редко кто возьмет на себя труд его изготовить. При изготовлении надо его как следует отжечь, так как в противном случае куски его приобретают значительную способность деполяризовать свет, и тогда детали рассматриваемых явлений гораздо меньше поддаются точному наблюдению. Но борнокислый свинец представляет собою гораздо более плавкое вещество, которое становится мягким при температуре кипящего масла и которое поэтому гораздо легче изготовить в виде стеклянных пластинок и отжечь; а оно обладает столь же большой магнитно-вращательной способностью по отношению к свету, как боросиликатное санцовое стекло. Флинтглас проявляет это же свойство, но в меньшей степени, чем вышеупомянутые вещества. Кронглас его обнаруживает, но в еще меньшей степени.

2177. Пользуясь в качестве диамагнитных веществ кристаллическими телами, я придавал им вообще такое положение, при котором они не влияли на поляризованный луч, а затем индуцировал через них магнитные кривые. В общем они, по-видимому, противятся тому, чтобы прийти во вращающее состояние.

Каменная соль и плавиковый шпат в слабой степени проявили признаки этой способности. Я думаю, что так же обстоит дело с кристаллом квасцов, но длина луча в прозрачной части его была столь невелика, что я не мог установить этот факт вне сомнения. Два образца прозрачного шпата, предоставленные мне г-ом Теннант, показали это действие.

2178. Горный хрусталь толщиной в 4 дюйма не показал действия на луч; никакого влияния не оказали меньшие кристаллы, равно как и кубики со сторонами примерно в три четверти дюйма, которые были вырезаны таким образом, что две их плоскости были перпендикулярны к оси кристалла (1692, 1693), хотя они были исследованы во всех направлениях.

2179. Исландский шпат не проявил никаких признаков действия ни в форме ромбоидов, ни в виде только что описанных кубов (1695).

2180. Сернокислый барий, сернокислый кальций и углекислый натрий оказались также не действующими на свет.

2181. Кусок прекрасного чистого льда не показал у меня никакого действия. Я не могу, однако, утверждать, что его не существует, так как действие равной массы воды было бы незначительным, а неправильности плоской поверхности льда, возникавшие вследствие таяния последнего и вследствие движения воды, очень сильно затрудняли наблюдение.

2182. С большим интересом и надеждой я ввел в магнитные линии листок золота, но не мог заметить никакого действия. Если принять во внимание крайне малую длину пути поляризованного луча в листке, едва ли можно было и ожидать положительного результата.

2183. При опытах с жидкостями очень хороший метод наблюдения их действия сводится к следующему. Их наливают в склянки от  $1\frac{1}{2}$  до 3 или 4 дюймов в диаметре, ставят между магнитными полюсами (2150) и подвигают анализирующий окуляр настолько близко к склянке, чтобы после надлежащей регулировки цилиндрическая форма последней позволила дать расплывчатое, но пригодное изображение наблюдаемого через нее пламени лампы. Свет этого изображения легко отличить от того света, который благодаря неправильному преломлению проходит через неравномерности и деформации стекла, и явления, которые исследуются в этом свете, легко поддаются наблюдению.

2184. И вода, и спирт, и эфир показывают это действие: вода в наибольшей степени, спирт меньше, а эфир меньше всего. Все испытанные мною жирные масла, включая миндальное, касторовое, оливковое, маковое, льняное, спермацетовое, олеиновое из свиного жира и перегнанное смоляное масло, дают его. Равным образом его дают эфирные масла, терпен-

тинное, горького миндаля, лаванды, жасмина, гвоздики и лавра. Точно так же его дает различного рода нефть, расплавленный спермацет, расплавленная сера, двуххлористая сера и мышьяк и всякое другое жидкое вещество, которое я имел в своем распоряжении и которое я мог подвергнуть испытанию в достаточном количестве.

2185. Из водных растворов я испытал 150 или больше, в том числе растеоримые кислоты, щелочи и соли, а также сахар, камедь и другие, перечень которых был бы слишком велик, чтобы его здесь привести, так как основное заключение сводилось к тому, что, несмотря на чрезвычайное различие этих веществ, не было никакого изъятия из общего вывода, так как все тела проявили это свойство. Более чем вероятно, что во всех этих случаях определяющим веществом была вода, а не какое-либо иное растворенное в ней вещество. Тот же общий вывод был получен со спиртовыми растворами.

2186. Переходя от жидкостей к воадуху и газообразным телам, я должен здесь заявить, что до настоящего времени я еще не был в состоянии обнаружить проявления указанной способности в каком-либо из веществ этого класса. Я провел опыты с помощью склянок диаметром в 4 дюйма над следующими газами: кислород, азот, водород, закись азота, масляродный газ, сернистая кислота, соляная кислота, углекислота, окись углерода, аммиак, сероводород и пары брома — при обычных температурах; но все они дали отрицательные результаты. С воадухом это исследование было также произведено с помощью другого вида прибора в еще больших размерах, но все-таки безрезультатно (2212).

2187. Раньше чем оставить рассмотрение веществ, обнаруживших указанную способность, я в отношении тех тел, которые обладают естественной вращательной силой и в которых она была сверх того вызвана искусственно (2165, 2231), могу сообщить, что веществами, подвергшимися испытанию, были следующие: касторовое масло, смоляное масло, масло лаванды, лавра, канадский бальзам, спиртовой раствор кам-

фары, спиртовой раствор камфары и сулемы, водные растворы сахара, виннокаменной кислоты, виннокислого натрия, виннокислой соли калия и сурьмы, винной и борной кислоты и сернокислого никеля, которые вращали луч вправо; копейский бальзам, который вращал луч влево, и два образца камфена, или терпентинного масла, в одном из которых вращение происходило вправо, а в другом — влево. Во всех этих случаях, как было уже сказано (2165), искусственно вызванное вращение имело место согласно общему закону (2160) и независимо от прежней способности данного тела.

2188. Камфара, расплавленная в трубке около дюйма в диаметре, дала высокую естественную вращательную способность, но я не мог заметить, чтобы магнитные силы индуцировали в ней добавочную силу. Возможно, однако, что небольшая длина луча и наличие значительного количества оставшегося окрашенного света, даже когда окуляр был повернут в положение, наиболее благоприятное для затемнения изображения, произведенного естественно повернутым лучом, сделали незаметной малую магнитно-вращательную способность камфары.

## ГЛАВА II

### *Действие электрических токов на свет*

2189. Из рассмотрения природы и положения магнитной и электрической силовых линий и отношения магнита к электрическому току представлялось почти несомненным, что электрический ток должен оказывать на свет такое же действие, как магнит; а когда ему придан вид катушки, то он дает такую форму прибора, при котором могут быть подвергнуты испытанию диамагнитные тела большой протяженности, в особенности такие, которые между полюсами магнита испытывают на себе, по-видимому, лишь весьма слабое действие; здесь последнее может быть усилено. Это ожидание на опыте подтвердилось.

2190. Я брал для опытов медные катушки, из которых три я опишу. Первая из них, или *длинная катушка*, имела внутренний диаметр в 0.4 дюйма. Проволока имела диаметр в 0.03 дюйма и была навита вокруг оси от одного конца катушки до другого, а затем таким же образом возвращалась назад, образуя катушку длиной в 65 дюймов, двойную на всем своем протяжении; она содержала в себе 1240 футов проволоки.

2191. Вторая, или *средняя катушка*, имела длину в 19 дюймов, внутренний диаметр в 1.87 дюймов и внешний диаметр в 3 дюйма. Проволока имела диаметр в 0.2 дюйма и длину в 80 футов, причем она была навита в виде двух концентрических катушек. Электрический ток, идущий по ней, не разделяется, а проходит по всей длине проволоки.

2192. Третья, или *вульвичская катушка*, была устроена по моему указанию для учреждения полковника *Себайна* в Вульвиче. Она имела длину в 26.5 дюймов, внутренний диаметр в 2.5 дюйма и внешний диаметр в 4.75 дюйма. Проволока имела диаметр в 0.17 дюйма и длину в 501 фут. Она была навита в виде четырех концентрических катушек, концы которых были соединены друг с другом, так что весь служивший для опытов электрический ток проходил по всей длине проволоки.

2193. Длинная катушка (2190) действовала на магнитную стрелку, помещенную на небольшом от нее расстоянии, очень слабо. Средняя катушка (2191) действовала более сильно, и вульвичская катушка (2192) действовала очень сильно. Во всех случаях для опытов служила одна и та же батарея в десять пар пластин Грова.

2194. Твердые тела было легко подвергнуть действию этих индукторкатушек: для этой цели их приходилось только нарезать в форме стержней или призм с плоскими и отполированными концами, а затем вставлять в виде сердечников в катушки. Для того, чтобы подвергнуть тому же действию жидкое тело, были изготовлены стеклянные трубки, снабженные на концах крышками. Цилиндрическая часть крышки была

латунная и была снабжена трубочкой для введения внутрь жидкостей; а дно её состояло из плоской стеклянной пластинки. Когда требовалось, чтобы трубка содержала в себе водные жидкости, то пластинки прикрепляли к крышкам, а последние к трубкам с помощью канадского бальзама. Если же трубка должна была содержать в себе спирт, эфир или эфирные масла, то в качестве замазки я пользовался густой смесью истолченного гумми с небольшим количеством воды.

2195. Общее действие прибора такого вида может быть представлено следующим образом. Трубка внутри длинной катушки (2190) наполнялась дистиллированной водой и была помещена по линии поляризованного луча, так что при рассматривании через окуляр (2150) можно было сквозь нее видеть производимое лучом изображение пламени лампы. После этого окуляр вращался до тех пор, пока пламя лампы не исчезало, и затем через катушку пропускался ток от десяти пар пластин. Тогда изображение пламени мгновенно появлялось вновь и сохранялось все время, пока через катушку проходил электрический ток; при прекращении тока изображение исчезало. Свет возникал не постепенно, как в случае электромагнитов (2170), а мгновенно. Эти явления можно было вызывать сколько угодно раз. Мы можем, мне кажется, с полным основанием утверждать, что в данном опыте луч света электризуется и электрические силы освещаются.

2196. Эти явления можно сделать более заметными, если установить длиннофокусную линзу между трубкой и поляризующим зеркалом или короткофокусную линзу между трубкой и глазом. Когда катушка или батарея, или испытуемое вещество обладают небольшой силой, то подобные приспособления оказываются полезными для обнаружения действия; но после некоторого навыка от них легко отказаться, прибегая к ним, как к вспомогательному средству, лишь в сомнительных случаях.

2197. В тех случаях, когда действие очень слабо, его легче обнаружить, если Николев окуляр установить не на полное

исчезновение луча, а чуть не доходя до этого положения или перейдя его, так что изображение пламени будет только едва видно. Тогда при действии силы электрического тока этот свет может либо усилиться, либо ослабеть, либо исчезнуть, либо даже вновь появиться на другой стороне от положения темноты, а такое изменение можно заметить легче, чем если глаз начал наблюдать начиная от состояния полной темноты. Такой способ наблюдения облегчает также возможность демонстрировать вращательный характер действия на свет. Действительно, если сначала сделать свет видимым, повернув окуляр в одном направлении, и затем с помощью тока его *усилить*, то достаточно одного мгновения после выключения тока, чтобы повернуть окуляр в другом направлении так, чтобы свет стал заметен, как прежде, и тогда при пропускании тока он *ослабится*. Одновременно будет изменяться и окраска света.

2198. Когда ток пропускался по катушке в одном направлении, то вращение, придаваемое световому лучу, происходило в одну сторону, а когда ток пропускался в противоположном направлении, вращение происходило в другую сторону. Для того, чтобы обозначить направление, я приму, как это обычно делается, что внутри элемента ток идет от цинка через кислоту к платине (663, 667, 1627). Когда такой ток под световым лучом идет направо, затем справа от луча идет вверх и над лучом идет налево, то он вызывает в нем вращение влево; если же ток проходит над лучом направо, справа от луча идет вниз и под ним идет налево, то он вызывает в нем вращение вправо.

2199. Таким образом, легко выразить закон, согласно которому электрический ток действует на луч света. Когда электрический ток проходит вокруг луча поляризованного света в плоскости, перпендикулярной к лучу, то он заставляет луч поворачиваться около своей оси, пока он находится под влиянием тока, *в том же направлении*, в каком проходит ток.

2200. Простота этого закона и его тождественность с данным ранее законом, выражающим действие магнетизма на свет (2160), поистине прекрасны. Не требуется модели в помощь

памяти; но если посмотреть на описанную уже выше модель (2161), то линия, идущая вокруг нее, выравит одновременно как направление тока, так и направление вращения. Но в действительности она дает гораздо больше, ибо если рассматривать цилиндр как кусок железа, а не кусок стекла или другого диамагнитного тела, помещенного между двумя полюсами  $N$  и  $S$ , то идущая кругом него линия представит направление тех токов, которые, согласно теории Ампера, обтекают его частицы; далее, если его рассматривать как железный сердечник (вместо водяного сердечника), вокруг которого идет ток по направлению этой линии, то он представит собою такой же магнит, какой образовался бы, если бы он был помещен между полюсами с такими метками, какие имеются на его концах.

2201. Я отмечу теперь некоторые моменты, касающиеся степени этого действия при различных обстоятельствах. Пользуясь трубкой с водой (2194), имеющей такую же длину, как и катушка, но помещая ее таким образом, чтобы она более или менее выступала на той или другой стороне катушки, я был в состоянии до известной степени выяснить влияние длины диамагнитного тела, когда сила катушки и ток остаются прежними. Чем больше был столб воды, подвергавшейся действию катушки, тем больше было вращение поляризованного луча, и величина вращения казалась прямо пропорциональной длине столба жидкости, вокруг которого проходил электрический ток.

2202. Когда по оси вувльичской катушки (2192) помещалась трубка с водой или кусок тяжелого стекла, то, по-видимому, получалось одинаковое действие на луч света, независимо от того, где они находились: посередине катушки или на каком-нибудь ее конце, если только они целиком находились внутри катушки и на линии осн. Отсюда ясно, что каждая часть катушки оказывает одинаковое действие и что при пользовании длинными катушками можно подвергнуть подобного рода испытанию такие вещества, которым нельзя дать достаточно большого протяжения между полюсами магнитов (2150).

2203. Трубка с водой, равная по длине вульвичской катушке, но с диаметром лишь в 0.4 дюйма, была помещена в катушке параллельно ее оси, но иногда по оси, а иногда ближе к ее боку. Никакой заметной разницы при этих различных положениях не получалось, и я склонен полагать (не будучи, однако, вполне уверен в этом), что действие на луч одинаково, где бы внутри катушки мы ни поместили трубку по отношению к оси. Тот же результат получался, если я смотрел сквозь более широкую трубку с водой, когда луч проходил по оси катушки и трубки, или же сбоку.

2204. Когда внутрь катушки вводились вещества, обладавшие естественной вращательной силой, то в них дополнительно возникала вращательная способность, вызываемая электрическим током, совершенно так же, как в описанных уже ранее случаях магнитного действия (2165, 2187).

2205. Из голой медной проволоки диаметром в 0.05 дюйма была устроена катушка с тесными витками; ее длина была 20 дюймов, а диаметр — 0.3 дюйма. Эта катушка вводилась во внутрь широкой трубки с водой, так что можно было исследовать жидкость с помощью поляризованного луча как внутри, так и вне катушки. Когда *через катушку* пропускался ток, то вода внутри последней приобретала вращательную способность, но никакого следа подобного действия на свет не было заметно с наружной стороны катушки, даже на линии, проходящей на самом близком расстоянии от голой проволоки.

2206. Вода могла находиться в латунных и медных трубках — это не вызывало ни малейшего изменения в действии.

2207. Вода в латунной трубке была введена внутрь *железной* трубки, которая была значительно длиннее как вульвичской катушки, так и латунной трубки и которая имела стенки толщиной в целую восьмую дюйма. Когда последняя вводилась в вульвичскую катушку (2192), то вода, по-видимому, *вращала* луч света так же хорошо, как и раньше.

2208. Изогнутый стержень с сечением в 1 квадратный дюйм и длиннее катушки вставлялся внутрь катушки, а сверху его

клатась малая трубка с водой (2203). Вода оказала на свет столь же сильное действие, как и раньше.

2209. Три железные трубки, каждая длиною в 27 дюймов и с толщиной стенок в одну восьмую дюйма, были подобраны с такими диаметрами, чтобы они легко входили одна в другую и все вместе в вульвичскую катушку (2192). Наиболее узкая из них была закрыта на концах стеклянными пластинками и заполнялась водой. Будучи помещена по оси вульвичской катушки, она проявляла известную степень вращательной способности по отношению к поляризованному лучу. Тогда поверх нее была надета вторая трубка, так что между водою и катушкой образовалась толща железа, равная двум восьмым дюйма; вода проявила *большую* вращательную способность, чем раньше. Когда поверх первых двух трубок была надета третья, вращательная способность воды упала, но все еще оставалась весьма значительной. Эти результаты являются усложненными, так как они связаны с новыми обстоятельствами, которые создаются свойством железа при его действии на силы. До известного предела при нарастании развития магнитных сил катушка и сердечник, *как целое*, вызывали нарастающее действие на воду; но с дальнейшим прибавлением железа и распределением в нем сил действие последних частью отвлекалось от воды и вращение уменьшалось.

2210. Куски тяжелого стекла (2151), помещенные в железных трубах внутри катушки, вызывали подобные же явления.

2211. Описанным только что способом были подвергнуты действию электрического тока в катушке следующие тела: тяжелое стекло (2151, 2176), вода, раствор сульфата натрия, раствор винной кислоты, спирт, эфир и терпентинное масло. Все они испытали на себе влияние электрического тока и действовали на свет совершенно так же, как это было описано выше относительно магнитного действия (2173).

2212. С большой тщательностью и с напряженным вниманием я подверг влиянию этих катушек *воздух*, но не мог открыть какого-либо следа его действия на поляризованный луч света.

Я вставил длинную катушку (2190) в другие две (2191, 2192) и соединил их все в один ряд, действовавший согласно, чтобы этим увеличить силу, но не мог заметить какого-либо действия их на свет, проходящий через воздух.

2213. При работе с катушками следует принимать во внимание одно обстоятельство, которое иначе может произвести путаницу и вызвать смущение. Вначале проволока длинной катушки (2190) была намотана прямо на тонкую стеклянную трубку, которая служила для наполнения жидкостью. Когда электрический ток проходил по катушке, он повышал температуру металла, а вследствие этого постепенно повышалась температура стекла и слоя прилегающей к нему воды, в результате чего водяной цилиндр, будучи теплее на своей поверхности, чем по оси, действовал как линза, собирая световые лучи и направляя их в глаз, причем он продолжал действовать указанным образом в течение некоторого времени и после прекращения тока. Этот источник путаницы может быть легко устранен, если отделить водяной столб от катушки и принять другие меры предосторожности.

2214. Другое обстоятельство, которое должен иметь в виду экспериментатор, — это трудность, или почти невозможность получить кусок стекла, который — в особенности после того, как его разрезали — не деполяризовал бы свет. Если стекло дополяризует, то изменение положения вызывает огромное изменение в явлении. Это затруднение можно в большей или меньшей мере устранить, если все время пользоваться теми частями стекла, которые не деполяризуют, например черным крестом, и если ставить глаз возможно ближе к стеклу.

2215. Для того, чтобы дать общее представление о величине этой искусственно вызываемой вращательной силы в двух или трех телах, и несколько не претендуя на то, чтобы предложить точно данные, я изложу здесь результат нескольких попыток изморить эту силу и сравнить ее с естественной способностью некоторого образца терпентинного масла. Я взял

очень сильный электромагнит с *постоянным* расстоянием между полюсами в  $2\frac{1}{2}$  дюйма. В это пространство я вносил различные вещества. Величина вращения окуляра наблюдалась по несколько раз и бралась средняя, которая и представляла вращение для данной длины луча в изучаемом веществе. Но так как эти вещества обладали различными размерами, то длина лучей поправлялась с приведением к одной стандартной длине, исходя из допущения, что рассматриваемая способность пропорциональна этой длине (2163). Терпентинное масло наблюдалось, разумеется, в его естественном состоянии, т. е. при отсутствии магнитного действия. Если воду принять за 1, то получились следующие числа:

Терпентинное масло	11.8
Тяжелое стекло (2151)	6.0
Флинтглас	2.8
Каменная соль	2.2
Вода	1.0
Спирт	меньше воды
Эфир	меньше спирта

2216. По вопросу о действии магнитных и электрических сил на свет я полагаю, что некоторым дополнением к нашим сведениям об их взаимоотношениях следует признать указание тех условий, при которых не получается никакого видимого действия; поэтому я здесь очень кратко изложу, каким образом я недавно сочетал эти силы так, что при этом не получалось никакого заметного результата (955).

2217. Поляризованный луч света пропускался через тяжелое стекло, флинтглас, горный хрусталь, исландский шпат, терпентинное масло. Одновременно с помощью обкладок лейденской банки и электрической машины через эти тела пропускались линии электростатического напряжения (2149), параллельно поляризованному лучу и перпендикулярно к последнему, и при этом как в плоскости поляризации, так и перпендикулярно к ней, но без какого-либо заметного действия.

На те же тела, а также на воду (как на электролит) было направлено напряжение часто перемежающегося индуцированного вторичного тока, но с тем же отрицательным результатом.

2218. Поляризованный луч, мощные магнитные линии силы и только что описанные электрические линии силы (2149) были скомбинированы в различных направлениях при их действии на тяжелое стекло (2151, 2176), но при этом был получен только тот же результат, который был описан выше в настоящей статье, т. е. обоюдное действие магнитных линий на свет.

2219. Поляризованный луч и электрические токи были всеми возможными способами скомбинированы в электролитах (951—954). Исследованиями таким образом веществами были: дистиллированная вода, раствор сахара, разведенная серная кислота, раствор сульфата натрия (при этом я пользовался платиновыми электродами) и раствор медного купороса (здесь я пользовался медными электродами). Ток направлялся вдоль луча и перпендикулярно к последнему в двух направлениях, находящихся друг к другу под прямым углом. Луч заставляли вращаться, изменяя положение поляризующего зеркала, так что плоскость поляризации могла меняться. Ток, который служил для опытов, был или постоянный, или часто прерывающийся, или частопеременный ток индукции в том и другом направлении. Но ни в одном случае не было замечено никакого следа действия.

2220. Наконец, лучи поляризованного света, электрические токи и магнитные силовые линии были всеми возможными способами направлены через разведенную серную кислоту и через раствор сульфата натрия, но это точно так же дало отрицательные результаты, за исключением тех положений, при которых получились описанные выше явления. В одной установке ток проходил в направлении радиусов от центрального электрода к периферическому; и в то же время противоположные магнитные полюсы были помещены над ним и под ним. Установка была настолько хороша, что когда электрический ток проходил, то жидкость приходила в быстрое вра-

чение, но поляризованный луч, направленный горизонтально сквозь эту установку, не испытывал на себе никакого действия. Точно так же, когда луч был направлен через нее вертикально, а окуляр поворачивался так, чтобы это соответствовало вращению, вызываемому при этом положении в луче одними только магнитными кривыми, то добавочное воздействие от прохождения электрического тока не вызывало ни малейшего изменения действия на луч.

### ГЛАВА III

#### *Общие соображения*

2221. Таким образом, впервые,<sup>1</sup> как я полагаю, установлена подлинная непосредственная связь и зависимость между светом и магнитными и электрическими силами, и таким образом сделано большое добавление к фактам и соображениям, служащим для доказательства того, что все естественные силы связаны друг с другом и имеют одно общее происхождение (2146). Нет сомнения, что при нынешнем состоянии нашего знания трудно представить наше ожидание в точных выражениях; и хотя я сказал, что одна из сил природы в изложенных опытах прямо связана с остальными силами, я, быть может, должен был лучше сказать, что один вид великой силы нахо-

<sup>1</sup> Я говорю «впервые», так как не думаю, чтобы опыты Моррикони по возбуждению магнетизма с помощью лучей фиолетового конца спектра доказывали наличие подобной связи. В бытность свою в Риме вместе с сэром Г. Дэви в мае 1814 года я провел несколько часов в доме Моррикони, работая с его прибором и под его руководством, но мне не удалось намагнитить стрелку. Я не верю в этот эффект как в *непосредственный* результат действия солнечных лучей, и думаю, что если он и имел место, то он был вторичным, попутным, быть может даже случайным явлением; этот результат можно было бы, вероятно, получить со стрелкой, если бы в течение всего опыта продержать ее в положении север-юг.

2 января 1846 г. я не написал бы, как выше, «впервые», если бы вспомнил об опытах Кристи и его статьях о влиянии солнечных лучей на магниты, помещенных в *Philosophical Transactions* за 1826, стр. 219, и 1828 стр. 379. — М. Ф.

дится в определенной и непосредственной связи с другими ее видами; или еще что великая сила, которая выявляется в частных явлениях в частных формах, здесь прослеживается дальше и познается благодаря прямой связи того ее вида, который есть свет, с теми ее видами, которые представляют собой электричество и магнетизм.

2222. Связь, существующая между *поляризованным* светом и магнетизмом и электричеством, представляется более интересной, чем если бы было доказано ее существование только для обыкновенного света. Она необходимо должна распространяться и на обыкновенный свет, а так как она относится к такому свету, который путем поляризации сделан, с известной точки зрения, более определенным по характеру и свойствам, то она сопоставляет и связывает его с названными выше силами в той двойственности свойств, которая им присуща, и открывает путь, которого нам раньше недоставало для применения этих сил к исследованию природы данного и других лучистых проявлений.

2223. На основе сделанного выше (2149) условного различения можно дальше утверждать, что на световые лучи действуют *только* магнитные линии сил и притом (по-видимому) *только тогда*, когда они параллельны световому лучу или когда они приближаются к этому параллелизму. Подобно тому, как по отношению к веществам, не являющимся магнитными, как железо, явления электрической индукции и электролиза обнаруживают огромное превосходство в той энергии, с какой электрические силы могут действовать, по сравнению с магнитными силами, так здесь оказывается, что в другом направлении, в особых и соответствующих действиях, принадлежащих магнитным силам, последние, наоборот, обладают большим преимуществом перед электрическими силами и что они действуют на тот же род материи несколько не хуже.

2224. Магнитные силы не действуют на световой луч непосредственно и без участия материи, но при посредстве вещества, в котором они находятся одновременно с лучом: вещество и

силы сообщают друг другу и получают друг от друга способность действовать на свет. На это указывает отсутствие подобного действия со стороны вакуума, воздуха или газов, и на это указывает, далее, неодинаковая величина этой способности, присущая различным веществам. То обстоятельство, что магнитная сила всегда действует на световой луч одинаковым образом и в одинаковом направлении, независимо от рода веществ, или от их состояния (твердого или жидкого), или от присущей им особой силы вращения (2232), показывает, что магнитная сила и свет находятся друг с другом в прямом родстве. Но то обстоятельство, что необходимо наличие веществ и что последние действуют в различной степени, показывает, что магнетизм и свет действуют друг на друга при посредстве вещества.

2225. Мы познаем или воспринимаем *вещество* только благодаря его силам и ничего не знаем о воображаемом ядре, в отрыве от самой мысли об этих силах; поэтому явления, описанные в настоящей статье, сильно укрепляют меня в склонности придерживаться тех взглядов на *вещество*, которые я изложил раньше.<sup>1</sup>

2226. Нельзя сомневаться в том, что магнитные силы оказывают действие на внутреннее строение диамагнитного тела и влияют на него одинаково свободно в темноте и при прохождении через него светового луча, хотя до сих пор явления, вызываемые светом, оказываются, по-видимому, единственным средством для наблюдения этого строения и его изменения. Далее, всякое подобное изменение должно иметь место и в непрозрачных телах, как дерево, камень и металл; ведь в отношении диамагнитных свойств между ними и прозрачными телами нет никакого различия. Степень прозрачности может вызывать в этом отношении самое большее лишь некоторое различие между отдельными представителями данного класса.

---

<sup>1</sup> Том II, стр. 400, или *Philosophical Magazine*, 1844, том XXIV, стр. 136.

2227. Если бы магнитные силы делали эти тела магнитами, то мы могли бы с помощью света исследовать прозрачный магнит, и это оказало бы нам большую помощь при исследовании сил вещества. Но они не делают их магнитами (2171); поэтому молекулярное состояние этих тел, когда они находятся в описанном выше положении, следует определенно отличать от состояния намагниченного железа или другого подобного вещества, и оно должно представлять собою *новое магнитное состояние*; а так как оно является состоянием напряжения (о чем свидетельствует его немедленное возвращение в нормальное состояние после прекращения магнитной индукции), то *силу*, которой материя обладает в этом состоянии, и способ ее действия мы должны рассматривать как *новую магнитную силу* или как *род действия материи*.

2228. Ибо, мне думается, невозможно наблюдать и видеть возрастающее по интенсивности действие магнитных сил на кусок тяжелого стекла, или на трубку с водой, и не заметить при этом, что последние приобретают свойства, которые не только являются *новыми* для этих веществ, но подчиняются также весьма определенным и точным законам (2160, 2199) и оказываются пропорционально-эквивалентными магнитным силам, которые их вызывают.

2229. Возможно, что это состояние представляет собою состояние *электрического напряжения, стремящегося перейти в электрический ток*, подобно тому, как в магнитах, согласно теории Ампера, это состояние является состоянием *тока*. Когда в катушку вставляют железный сердечник, то все заставляет нас думать, что в нем вызываются токи электричества, которые вращаются или движутся в плоскости, перпендикулярной к оси катушки. Если в такое же положение привести диамагнитное тело, то оно получает способность вращать свет в той же плоскости. Приобретенное им состояние является состоянием напряжения, но оно не перешло в ток, хотя действующая сила и все другие сопутствующие обстоятельства и условия тождественны с теми, которые вызывают токи в же-

лезе, никеле, кобальте и других подобных веществах, способных их воспринять. Таким образом, мысль, что при указанных выше обстоятельствах в диамагнитных телах существует склонность к токам, находится в согласии со всеми описанными до сих пор явлениями, и она подкрепляется еще и тем фактом, что простое изменение температуры не производит никакого изменения в естественном магните или в электрическом токе, который делает посредством своего индуктивного действия магнитом кусок железа, никеля или кобальта, но оно же отнимает у этих тел появившуюся у них новую способность и переводит их в общий класс диамагнитных тел.

2230. Я полагаю, что впервые искусственно сообщил теперь телу молекулярное состояние, которое необходимо для круговой поляризации света; поэтому представляется очень интересным рассмотреть это известное состояние или свойство тела и для этого сопоставить его с менее известным состоянием тех тел, которые обладают этой способностью естественно, в особенности потому, что некоторые из этих тел вращают вправо, а другие — влево; а в случаях кварца и терпентинного масла одно и то же с химической точки зрения тело (во втором случае это — жидкость со свободно движущимися частицами) дает различные образцы, причем в некоторых из них вращение происходит в одну сторону, а в других — в другую.

2231. По началу можно было бы склоняться к мысли, что естественное состояние должно быть тождественно с состоянием, вызываемым магнитными и электрическими силами; однако при дальнейшем исследовании оказывается очень трудно прийти к такому заключению. Когда терпентинное масло вращает световой луч, то вращательная способность масла зависит от его частиц, а не от расположения его массы. По какому бы пути луч поляризованного света ни проходил через эту жидкость, он испытывает одинаковое вращение, и все лучи, которые проходят через нее *одновременно* в любом возможном направлении, испытывают вращение с одинаковой

силой и согласно одному общему закону направления, т. е. либо все вправо, либо все влево. Не так обстоит дело с вращением, добавочно индуцируемым искусственно в том же терпентинном масле магнитными или электрическими силами: оно происходит только в одном направлении, а именно в плоскости, перпендикулярной к магнитной линии, и поскольку оно ограничено этой плоскостью, направление его может быть изменено путем изменения направления силы, вызывающей вращение. Направление вращения, производимое естественным состоянием, неизменно связано с направлением светового луча, но способность его производить присуща, по-видимому, частицам жидкости в любых направлениях и в любое время. Направление же вращения, производимого искусственно созданным состоянием, неизменно связано с направлением магнитной линии или электрического тока; это состояние присуще частицам вещества, но оно строго ограничено упомянутой линией или током, изменяясь и исчезая вместе с ними.

2232. Пусть  $m$  (рис. 177) представляет собою стеклянный сосуд, заполненный терпентинным маслом, обладающим естественной способностью производить вращение вправо, и  $ab$  — поляризованный световой луч. Когда луч идет из  $a$  в  $b$ , а глаз наблюдателя находится в  $b$ , то вращение происходит вправо, т. е. по направлению стрелки круга  $c$ ; когда же луч идет из  $b$  в  $a$  и глаз помещается в  $a$ , то для наблюдателя вращение точно так же происходит вправо, т. е. в направлении, указанном на круге  $d$ . Пусть теперь вокруг терпентинного масла проходит электрический ток по направлению, указанному на круге  $e$ , или пусть магнитные полюсы будут поставлены таким образом, что они вызывают то же самое действие (2155). Тогда частицы приобретут дальнейшую вращательную силу (которой не будет проявлять никакое их взаимное перемещение), и глаз, помещенный в  $b$ , будет наблюдать, что луч, идущий из  $a$  в  $b$ , сильнее прежнего повернут вправо, или по направлению круга  $c$ . Но пусть луч идет из  $b$  в  $a$ , и пусть глаз наблюдателя находится в  $a$ . Тогда явление будет уже не то же, что

раньше, ибо новое вращение будет происходить не по направлению, указанному на круге *d*, а в противоположном направлении, т. е. для наблюдателя — влево (2199). И действительно, искусственно вызываемое вращение будет прибавляться к естественному, когда луч идет из *a* в *b*, но будет вычитаться из естественного, если луч идет из *b* в *a*. Стало быть, частицы этой жидкости, дающие вращение благодаря своей естественной силе, и частицы, дающие вращение благодаря искусственно вызванной в них силе, не могут находиться в одинаковом состоянии.

2233. Что касается способности терпентинного масла вызывать вращение луча, в каком бы направлении он ни проходил через жидкость, то возможно, что хотя все частицы его обладают вращательной способностью, однако на луч действуют лишь те частицы, у которых плоскости вращения более или менее перпендикулярны к лучу и вращение вызывается равнодействующей суммы сил в некотором направлении. Однако

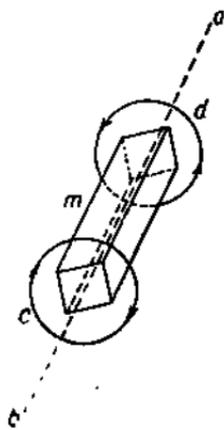


Рис. 177.

даже в этом случае остается поразительное различие, так как результирующая в той же плоскости не является абсолютной по своему направлению, а зависит от хода луча: в одном случае она направлена как в круге *c*, а в другом — как в круге *d* (рис. 177); между тем равнодействующая магнитной или электрической индукции является абсолютной и не изменяется с изменением хода луча, действуя всегда либо по направлению, выраженному посредством *c*, или по направлению, представленному посредством *d*.

2234. Однако все эти различия без сомнения исчезнут или придут во взаимное согласие, когда настоящие исследования получат дальнейшее развитие, а самое их существование открывает так много путей, следуя которым мы можем все больше и больше углубляться в исследование сил и строения материи.

2235. Тела, которые сами по себе обладают вращательной способностью, по-видимому, не проявляют в связи с этим большей или меньшей склонности к дальнейшему усилению той же способности под влиянием магнитной или электрической силы.

2236. Если бы не эти и другие различия, то можно было бы усмотреть аналогию, с одной стороны, между телами, которые всегда обладают вращательной способностью, например кварцем, вращающим только в одной плоскости, и телами, которые получают эту способность под влиянием других сил, например призмой тяжелого стекла в катушке, и, с другой стороны, между естественным магнитом и катушкой, по которой проходит ток. Естественное состояние магнита и кварца и вынужденное состояние катушки и тяжелого стекла образуют собою связующее звено этой аналогии в одном направлении; в то же время допущение токов в магните и в катушке и лишь склонности и стремления, ведущих к токам, в кварце и в тяжелом стекле, дает связующее звено в другом направлении.

2237. Что касается тех тел, которые до сих пор, по-видимому, совершенно не обнаруживают влияния на свет и, следовательно, не проявляют никаких признаков того, чтобы они принимали новое магнитное состояние, то их можно разделить на две группы: одна включает в себе воздух, газы и пары, а другая — горный хрусталь, исландский шпат и некоторые другие кристаллические тела. Что касается последней группы, то в ближайших сериях настоящих исследований я приведу доказательства, основанные на явлениях совершенно иного рода, которые свидетельствуют о том, что эти тела принимают новое магнитное состояние; на основании этих данных, как они представляются к настоящему моменту, я склонен думать, что и воздух и газы способны принять это особое состояние и даже действовать на свет, но в столь слабой степени, что до сих пор это не могло еще быть замечено. Но газообразное состояние представляет собою столь замечательное строение вещества, что не следует слишком поспешно допускать, что

вещества, обладающие в твердом и жидком состоянии какими-либо свойствами, хотя бы и общими по своему характеру, всегда переносят их и в свое газообразное состояние.

2238. Каменная соль, плавленый шпат и, как я полагаю, квасцы влияют на световой луч; другие кристаллы, с которыми производились опыты, на свет не влияли. Первые из них являются равноосными и дают простое преломление; вторые же являются неравноосными и двоякопреломляющими. Возможно, что эти случаи вместе со случаем вращения кварца могут уже теперь указать на связь между магнетизмом, электричеством и силами кристаллизации вещества.

2239. Законы, по которым катушки и магниты действуют на все тела, несомненно указывают, что причины в такой же мере тождественны, как их действия. Этот вывод дает еще одно прекрасное доказательство в пользу тождества катушек и магнитов, согласно воззрениям Ампера.

2240. Теория статической индукции, которую я имел смелость выдвинуть ранее (1161 и след.) и которая связана с действием смежных частиц диэлектрика, находящегося между индуцирующим и индуцируемым телом, дала мне основание ожидать, что существование подобного рода зависимости от промежуточных частиц будет установлено и при магнитном действии, и семь лет тому назад я опубликовал по этому вопросу некоторые опыты и соображения (1709—1736). Я не мог открыть тогда какого-либо особого состояния промежуточного вещества, или диамагнитного тела. Но теперь я имею возможность указать такое состояние, которое является не только состоянием напряжения (2227), но целиком связано с магнитными линиями, проходящими через вещество; поэтому теперь я имею больше прежнего смелость полагать, что высказанная тогда точка зрения является правильной.

2241. Хотя магнитные и электрические силы, по-видимому, не действуют на обыкновенный, т. е. деполаризованный луч света, мы все же едва ли можем сомневаться в том, что они оказывают какое-то особое влияние, которое будет, вероятно,

в скором времени обнаружено на опыте. Точно так же можно с полным основанием полагать, что должно существовать подобного рода действие и на другие виды лучистых агентов, как теплота и химическая сила.

2242. Магнитные и электрические действия описанного вида и представляемые ими явления окажут, надеюсь, в дальнейшем значительную помощь при исследовании природы прозрачных тел, света, магнитов и их действия друг на друга и на магнитные вещества. В настоящее время я занимаюсь исследованием этого нового магнитного состояния и в скором времени представлю Королевскому обществу дальнейшее сообщение по этому вопросу. Каким может оказаться вероятное действие этой силы в Земле, как в целом, или в магнитах, или по отношению к Солнцу, и какие средства могут оказаться наилучшими для получения электричества или магнетизма с помощью света — эти мысли непрестанно занимают мой ум. Но будет лучше посвятить как время, так и мысль, при содействии опыта, исследованию и выявлению реальной истины и не пользоваться ими для того, чтобы строить такие предположения, которые, быть может, удастся, а, может быть, и не удастся обосновать фактами и привести в согласие с последними.

*Королевский институт  
29 октября 1845 г.*

# ДВАДЦАТАЯ СЕРИЯ<sup>1</sup>

*Раздел 27. О новых магнитных действиях и о магнитном состоянии всякого вещества.*<sup>2</sup> Глава I. Необходимые приборы. Глава II. Действие магнитов на тяжелое стекло. Глава III. Действие магнитов на другие вещества, оказывающие магнитное действие на свет. Глава IV. Действие магнитов на металлы вообще.

Поступило 6 декабря. Доложено 18 декабря 1846 г.

## РАЗДЕЛ 27

### О НОВЫХ МАГНИТНЫХ ДЕЙСТВИЯХ И О МАГНИТНОМ СОСТОЯНИИ ВСЯКОГО ВЕЩЕСТВА

2243. Содержания последней серии настоящих исследований было, полагаю, достаточно, чтобы оправдать то утверждение, что когда вещество подвергается действию магнитных и электрических сил, ему сообщается новое (т. е. новое для наших званий) магнитное состояние (2227); это новое состояние было выявлено благодаря приобретаемой веществом способ-

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1846, стр. 21.

<sup>2</sup> Мой друг м-р Уитстон обратил на днях мое внимание на мемуар г. Беккереля «О магнитных действиях, вызываемых во всех телах под влиянием очень мощных магнитов», доложенный Академии наук 27 сентября 1827 г. и опубликованный в *Annales de Chimie*, XXXVI, стр. 337. Он касается действия магнита на магнитную стрелку, на мягкое железо, на двуокись и трехокись железа, на одну только трехокись и на деревянную стрелку. Автор наблюдал и указывает на Кулона, как сделавшего подобное же наблюдение, что деревянная стрелка при известных условиях располагается *поперек* магнитных кривых; он сообщает также поразительный факт, который он наблюдал, а именно, что деревянная стрелка уста-

ности воздействовать на свет. Явления, которые нам предстоит теперь описать, оказываются совершенно отличными по своей природе; они доказывают существование не только оставшихся до сих пор для нас неизвестными магнитных свойств упомянутых выше тел, но и аналогичных свойств многих других тел, включая обширное число непрозрачных и металлических тел, а возможно и всех тел, за исключением магнитных металлов и их соединений. Эти явления дают нам также средство с помощью указанных свойств попытаться установить взаимоотношение между магнитными явлениями и, быть может, построить теорию общего магнитного действия, опирающуюся на простые основные принципы.

2244. Весь этот вопрос настолько нов и явления до такой степени многообразны и общи, что при всем желании быть кратким я должен описать много такого, что в конце концов ока-

навливалась параллельно проводам гальванометра. Однако он относит эти явления за счет того, что эти тела обладают меньшей степенью магнетизма, чем трехокись железа, но что их магнетизм имеет тот же характер, так как эти тела располагаются таким же образом. Устанавливается, что полярность стали и железа направлена по длине вещества, а полярность трехоксида железа, дерева и гуммилака — большей частью по направлению его ширины, и это имеет место каждый раз, когда для опыта брался один магнитный полюс. «Это различие действия, которое устанавливает демаркационную линию между указанными двумя видами явления, вызывается тем обстоятельством, что так как в трехокиси железа, дерева и т. д. магнетизм очень слаб, то мы можем пренебречь обратным действием тела на этот магнетизм, и таким образом прямое действие стержня должно его перевесить».

Момпур не сводит явлений с деревом и гуммилаком к элементарному действию *отпалкивания*, не указывает на то, что они являются общими для обширного класса тел, не отличает этого класса тел, который я назвал *дипольными*, от магнитного класса; он сводит все к магнитному действию одного вида, между тем как я доказываю, что существует два вида подобного действия, столь же отличных друг от друга, как различны положительные и отрицательные электрические действия; поэтому я не думаю, чтобы мне надо было изменять какое-либо слово или дату в том, что я написал. Но и крайне рад признать здесь важность наблюдений и работ г. Вонкорана по данному вопросу. — М. Ф. (5 дек. 1845 г.).

жется возможным подвести под простые принципы действия. Однако при современном состоянии нашего знания это является единственным методом, с помощью которого я могу достаточно хорошо выявить эти принципы и вытекающие из них следствия.

## ГЛАВА I

### *Необходимые приборы*

2245. Явления, которые предстоит описать, требуют магнитных приборов большой мощности и безупречного управления ими. Оба эти условия выполняются, если пользоваться электромагнитами, которые могут быть доведены до степени силы, далеко превышающей силу естественных или стальных магнитов; они, далее, могут сразу быть совершенно лишены своей мощности или, наоборот, доведены до высшей ее степени без малейшего изменения в установке или в чем-либо ином, имеющем отношение к опыту.

2246. Один из электромагнитов, которым я пользовался, был уже ранее описан под названием вульвичской (Woolwich) катушки (2192). Ее сердечник из мягкого железа имеет 28 дюймов в длину и 2.5 дюйма в диаметре. Будучи приведен в действие с помощью десяти пар пластин Грова, он в состоянии любым своим концом держать одну или две подаешенных к нему гири в пятьдесят фунтов каждая. Этот магнит может быть установлен в вертикальном или горизонтальном положении. Железный сердечник представляет собою цилиндр с плоскими концами, но у меня имелся и конус, изготовленный из железа, с диаметром основания в 2 дюйма и высотой в один дюйм. Будучи помещен на конце сердечника, он в случае надобности образует у него конусообразный наконечник.

2247. Другой устроенный мною магнит имеет подковообразную форму. Железный стержень имеет длину в 46 дюймов и диаметр в 3.75 дюйма и изогнут так, что концы его, образующие полюсы, находятся друг от друга на расстоянии 6 дюймов. На обоих прямых участках стержня навито 522 фута медной

проводами, диаметром в 0.17 дюйма, обмотанной тесьмой; таким образом, на этих участках оказываются две катушки, в 16 дюймов длиною каждая; в каждой три слоя проволоки. Полюсы, как сказано, находятся друг от друга на расстоянии 6 дюймов; их концам придана в точности плоская форма и по ним могут передвигаться два коротких стержня из мягкого железа длиною в 7 дюймов, с сечением в  $2\frac{1}{2}$  на 1 дюйм; стержни с помощью винтов можно устанавливать на любом друг от друга расстоянии, меньшем 6 дюймов. Концы этих стержней образуют разноименные полюсы. Магнитное поле между ними можно усилить или ослабить и соответственно с этим можно изменять интенсивность магнитных силовых линий.

2248. Для подвешивания веществ между полюсами этих магнитов и поблизости от них я в некоторых случаях пользовался склянкой, снабженной наверху крышкой с проходящей через нее проволокой. Из шести или восьми одинаково вытянутых в длину коконовых нитей изготовлялась одна нить, которая верхним концом прикреплялась к подвижному стержню, а нижним — к бумажному стремени, на которое можно было положить любое тело, подлежащее исследованию.

2249. Другой весьма пригодный способ подвеса заключался в том, что один конец тонкой нити длиною в 6 футов прикреплялся к горизонтальному передвижному стержню вблизи потолка комнаты, а другой нижний конец — к небольшому кольцу из медной проволоки. Вещество, которое надо было подвесить, можно было поместить в простой люльке из тонкой медной проволоки; от люльки вверх тянулась проволока длиною в 8 или 10 дюймов. Верхний конец ее был согнут в крючок, что давало возможность подвесить ее к кольцу. Высоту подвешенного вещества можно было по желанию изменить, сгибая которую-нибудь часть проволоки в крюк. Стеклоцилиндра, помещенного между полюсами магнита, было вполне достаточно для того, чтобы предохранить подвешенное вещество от какого-либо движения, вызываемого потоками воздуха.

2250. Раньше, чем приступить к экспериментальному исследованию с таким прибором, следует выяснить действие магнетизма, которым, быть может, обладают тела, из которых построено прибор. Способность последнего к обнаружению такого рода магнетизма настолько велика, что из-за этого бывает трудно подобрать писчую бумагу, подходящую для упомянутого выше стремони. Поэтому раньше, чем начать опыты, следует убедиться в том, что приспособление, применяемое для подвешивания, не располагается определенным образом, т. е. не занимает под влиянием магнитной силы положения, параллельного линиям, соединяющим магнитные полюсы. Когда приспособление для подвешивания сделано из меди, получается особое действие (2309); но если в последнем разобратся, как это и будет сделано ниже, то оно не оказывает влияния на результаты опыта. Проволока должна быть тонкая, не магнитная как железо, а люлька для подвешивания не должна быть удлиненой в горизонтальном направлении и по основным своим измерениям должна быть в указанном направлении круглой или квадратной.

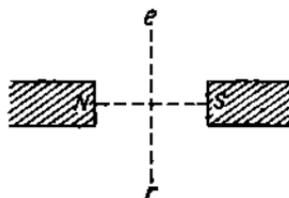


Рис. 178.

2251. Вещества, с которыми предстоит произвести опыт, следует тщательно испытать; их следует браковать, если будет установлено, что они не свободны от магнетизма. Их состояние легко выяснить, ибо если они магнитны, то либо притягиваются к тому или другому полюсу большого магнита, либо принимают определенное положение между полюсами. Для этой цели недостаточно испытание их с помощью небольших магнитов или с помощью магнитной стрелки.

2252. Мне придется столь часто говорить о двух главных направлениях в магнитном поле, что во избежание многословия, я попрошу здесь разрешения пользоваться одним-двумя условными терминами. Одно из этих направлений (рис. 178), это — направление от полюса к полюсу, или вдоль

магнитной силовой линии; я буду называть его аксиальным направлением. Другим является направление, перпендикулярное к последнему — поперек магнитной силовой линии; и, временно, поскольку оно будет относиться к пространству между полюсами, я буду его называть экваториальным направлением. Другие термины, которыми, быть может, я буду пользоваться, надеюсь, будут понятны сами собой.

## ГЛАВА II

### *Действие магнитов на тяжелое стекло*

2253. Стерженек боросиликатного свинцового стекла, или тяжелого стекла, описанного ранее в качестве вещества, в котором впервые было установлено влияние магнитных сил на луч света (2152) длиной в 2 дюйма и шириною и толщиной около 0.5 дюйма, был центрально подвешен между магнитными полюсами (2247) и предоставлен самому себе, пока не прекратилось влияние кручения. После этого замыкалась гальваническая батарея, и таким образом вводился в действие магнит. Стерженек немедленно приходил в движение, поворачиваясь около точки своего подвеса в положение, поперечное по отношению к магнитной кривой, или к силовой линии; после нескольких качаний он приходил затем в неподвижное состояние. Будучи выведен рукою из этого положения, он к нему возвращался, и это повторилось много раз подряд.

2254. И тот и другой конец стерженька шел безразлично в ту и другую сторону от осевой линии. Решающим обстоятельством было просто то или иное отклонение стерженька по отношению к осевой линии в начале опыта. Если какой-нибудь определенный или меченый конец стерженька находился по одну сторону от магнитной или осевой линии, то когда магнит начинал действовать, этот конец продолжал от нее удаляться, пока стерженец не приходил в экваториальное положение.

2255. Имеющиеся магнетизма в полюсах, производимое измопомом направления электрического тока, не создавало

в том отношении никакого различия: стерженек направлялся кратчайшим путем к экваториальному положению.

2256. Силой, побуждающей стерженек занять указанное положение, можно было настолько полно управлять, что во время качания стерженька легко было ускорить его движение по направлению к этому положению, или же удержать его на месте, если он через него проходил; для этого надо было в надлежащий момент замыкать гальваническую батарею.

2257. У стерженька существуют два положения равновесия: одно — устойчивое, другое — неустойчивое. Когда он располагается по направлению оси, или магнитной силовой линии, то замыкание электрического тока не вызывает никакого изменения в его положении. Но если он хоть сколько-нибудь отклонен от этого положения, то это отклонение увеличивается до тех пор, пока стерженек не придет в экваториальное положение. Если же стерженек вначале находится в экваториальном положении, то магнетизм в дальнейшем не вызывает никаких дальнейших изменений, а удерживает стерженек на месте (2298, 2299, 2384).

2258. Таким образом, мы имеем здесь магнитный стержень, который, находясь вблизи северного и южного полюсов, устанавливается на восток и запад, т. е. устанавливается перпендикулярно к магнитным силовым линиям.

2259. Если стержень установить таким образом, чтобы точка его подвеса, находясь на аксиальной линии, была на неодинаковом расстоянии от полюсов, а ближе к одному из них, то магнетизм и теперь заставляет стержень занять положение, перпендикулярное к магнитным силовым линиям; при этом по ту или иную сторону от аксиальной линии может, по желанию, оказаться и тот и другой конец стержня. Но в то же время здесь имеет место другое явление, а именно, в момент замыкания электрического тока центр тяжести стерженька отходит от полюса и отталкивается от него все время, пока магнит остается в возбужденном состоянии. Когда магнетизм

прекращают, стерженек возвращается к тому месту, которое он должен занимать под влиянием своей тяжести.

2260. Совершенно то же явление происходит у другого полюса магнита. Каждый из них в состоянии отталкивать от себя стерженек, в каком бы положении он ни находился; одновременно стерженек вынуждается занять положение, перпендикулярное к магнитной силовой линии.

2261. Когда стерженек находится на равном расстоянии от обоих полюсов и на аксиальной линии, то никакого отталкивательного действия не наблюдается или не может наблюдаться.

2262. Но если точку подвеса оставить на экваториальной линии, т. е. на равном расстоянии от обоих полюсов, и сдвинуть ее в ту или другую сторону от аксиальной линии (2252), то получаются другие явления. Стерженек располагается, как и раньше, поперек магнитной силовой линии, но в то же время он отходит от аксиальной линии, увеличивая свое расстояние от нее; это новое положение он сохраняет все время, пока существует магнетизм, и оставляет его с исчезновением последнего.

2263. Вместо двух магнитных полюсов можно воспользоваться одним полюсом, причем последний может находиться в вертикальном или горизонтальном положении. В этом случае явления находятся в совершенном согласии с описанными выше. А именно, когда стерженек находится вблизи полюса, то он отталкивается от него по направлению магнитной силовой линии и в то же время поворачивается в положение, перпендикулярное к направлению проходящих через него магнитных линий. Когда магнит поставлен вертикально (2247), а стержень расположен сбоку и рядом, то вышесказанное действие заставляет стерженек расположиться по касательной к боковой поверхности магнита.

2264. Для того, чтобы воспроизвести указанные явления, заключающиеся в том, что стерженек устанавливается поперек магнитных кривых, тяжелое стекло должно иметь продолго-

ватую форму. Куб или кусок, приближающийся к шарообразной форме, не будет устанавливаться определенным образом, продолговатый же кусок будет. Если поставить рядом на бумажную подставку два или три закругленных куска или же куба, так что они образуют удлиненную группу, они тоже установятся в определенном направлении.

2265. Однако куски любой формы *отталкиваются*. Так, если на аксиальной линии подвесить одновременно два куска, по одному вблизи каждого полюса, то они будут отталкиваться каждый соответствующим полюсом и будут приближаться друг к другу, как будто бы они взаимно притягивались. Если же два куска подвесить по экваториальной линии, по одному на каждой стороне от оси, то оба они будут удаляться от оси, как будто бы они отталкивались друг от друга.

2266. Из того немногого, что было сказано выше, ясно; что стерженек в своем движении представляет сложный результат действия силы, оказываемой магнетизмом на тяжелое стекло, и что в тех случаях, когда для опытов служат кубы или шары, можно получить гораздо более простое указание на сущность этого явления. И действительно, когда вышеуказанным образом опыты производились при двух полюсах с кубом, то действие сводилось к отталкиванию или к удалению от того и другого полюса, а также к удалению от магнитной оси на обеих сторонах от последней.

2267. Таким образом, пробная частица будет двигаться либо вдоль магнитных кривых, либо поперек их; она будет проделывать это либо в одном, либо в другом направлении. Единственно, что при этом будет наблюдаться постоянно, это то, что она стремится двигаться из мест большей магнитной силы в места меньшей.

2268. Это обнаруживалось гораздо проще в том случае, когда в опыте участвовал только один магнитный полюс, так как тогда пробный куб или шар проявлял стремление двигаться прочь, по направлению магнитных силовых линий. Это явление удивительно напоминало собою слабое электрическое отталкивание:

2269. Теперь ясна причина, почему принимает определенное направление стержень или кусок тяжелого стекла другой удлиненной формы. Это является результатом одного только стремления частиц двигаться прочь, или в положение наиболее слабого магнитного действия. Совокупное действие всех частиц приводит массу в то положение, которое, как это было установлено с помощью опыта, фактически соответствует последнему.

2270. Когда действует один или одновременно два магнитных полюса, то пути, описываемые частицами тяжелого стекла, имеющего возможность двигаться свободно, образуют ряд линий или кривых, о которых я буду иметь случай говорить в дальнейшем, а поскольку воздух, стекло, воду и т. д. я назвал диамагнитными веществами (2149), я обозначу эти линии термином *диамагнитные кривые*, чтобы подчеркнуть, с одной стороны, их родство с линиями, которые были названы магнитными, а с другой — отличие от последних.

2271. Когда стерженок тяжелого стекла погружен в воду, спирт или эфир, а эти жидкости налиты в сосуд, помещенный между полюсами, то имеют место все указанные выше явления: стерженок устанавливается в определенном направлении, а куб удаляется — совершенно так же, как в воздухе.

2272. Эти явления имеют равным образом место в сосудах, сделанных из дерева, камня, глины, меди, свинца, серебра и любого другого из тех веществ, которые принадлежат к разряду диамагнитных (2149).

2273. То же самое экваториальное напряжение, а также движение стержня тяжелого стекла, какие были только что описаны, но только в очень слабой степени, я получил с помощью хорошего обыкновенного подковообразного магнита (2157). И не получил их, когда пользовался катушками (2191, 2192) без железных сердечников.

2274. Таким образом, мы имеем здесь отталкивание без полярности, т. е. безотносительно к определенному полюсу магнита, так как каждый из полюсов отталкивает данное

вещество и оба полюса одновременно его отталкивают (2262). Тяжелое стекло, хотя оно и подвержено магнитному действию, нельзя рассматривать как магнитное вещество в обычном смысле этого термина, т. е. как железо, никель, кобальт и их соединения. Оно представляет нам при указанных выше обстоятельствах такое магнитное свойство, которое является новым для нашей науки, и хотя эти явления по своей природе и характеру весьма отличны от явлений, представляемых действием тяжелого стекла на свет (2152), тем не менее они, по всей видимости, зависят от того же состояния стекла, которое делало его в последнем случае действующим, или же связаны с этим состоянием; поэтому вместе с указанными выше явлениями они доказывают реальность этого нового состояния.

### ГЛАВА III

#### *Действие магнитов на другие вещества, оказывающие магнитное действие на свет*

2275. Мы можем теперь от тяжелого стекла перейти к исследованию других веществ, которые, находясь под действием магнитных или электрических сил, способны действовать на поляризованный луч и вызывать его вращение (2173), и мы можем также распространить это исследование на такие тела, которые вследствие неправильности своей формы, несовершенной прозрачности или настоящей непрозрачности, не могли быть исследованы с помощью поляризованного луча; здесь мы не встречаем никаких затруднений для испытания, если даже дело идет о подобных веществах.

2276. Скоро было установлено, что вышеуказанное свойство отталкиваться от магнитных полюсов и испытывать на себе их действие присуще не только тяжелому стеклу. Борат свинца, флинтглас и кронглас располагались совершенно так же экваториально, а находясь поблизости от полюсов, они от них отталкивались, хотя и не в той степени, как тяжелое стекло.

2277. Из числа веществ, которые не могли быть подвергнуты испытанию с помощью света, очень хорошо обнаруживал эти

явления фосфор в виде цилиндра; полагаю, так же сильно, как тяжелое стекло, а может быть и сильнее его. Цилиндр серы и продолговатый кусок густого индийского каучука, не являющихся магнитными в обычном смысле слова, хорошо устанавливались и отталкивались.

2278. Кристаллические тела — все равно, из какого класса они были взяты: обыкновенно преломляющих или двоякопреломляющих тел (2237) — также подчинялись этим правилам. Призмы из кварца, известкового шпата, нитрата и сульфата натрия — все хорошо устанавливались и отталкивались.



Рис. 179.

2279. Я подверг затем действию магнитных сил большое количество тел, взятых из всяких классов; чтобы показать,

насколько различна природа этих веществ, я ниже привожу сравнительно краткий список кристаллических, аморфных, жидких и органических веществ. Когда тела были жидки, и помещал их в тонкие стеклянные трубки. Флинтглас устанавливается экваториально, но когда трубка сделана из очень тонкого стекла, то это действие оказывается слабым, если опыт производится с одной только трубкой. Когда затем она наполняется жидкостью и подвергается испытанию, то действие оказывается таким, что не возникает опасения спутать то действие, которое зависит от стекла, с тем действием, которое связано с жидкостью. Трубки не следует затыкать пробкой, сургучом или каким-нибудь обыкновенным, взятым наудачу, веществом, так как последние вообще магнитны (2285). При изготовлении трубок я придавал им обычно указанную на рис. 179 форму и вытягивал их у горлышка — так, что на одной стороне оставалось отверстие; когда они наполнены жидкостью, их не надо было затыкать.

2280.

Горный хрусталь.  
Сульфат кальция.

Сульфат бария.  
Сульфат натрия.

Сульфат калия.	Фосфор.
Сульфат магния.	Сера.
Квасцы.	Смола.
Хлорид аммония.	Спермацет.
Хлорид свинца.	Кофеин.
Хлорид натрия.	Цинхонин.
Нитрат калия.	Маргариновая кислота.
Нитрат свинца.	Воск из шеллака.
Карбонат натрия.	Сургуч.
Исландский шпат.	Прованское масло.
Ацетат свинца.	Терпентинное масло.
Рвотный камень.	Гагат.
Сегнетова соль.	Каучук.
Винная кислота.	Сахар.
Вода.	Крахмал.
Спирт.	Гуммиарабик.
Эфир.	Дерево.
Азотная кислота.	Слоновая кость.
Серная кислота.	Баранина вяленая.
Соляная кислота.	Говядина свежая.
Растворы различных щелочных и зе- мельных солей.	Говядина вяленая.
Стекло.	Кровь свежая.
Свинцовый глет.	Кровь высушенная.
Белый мышьяк.	Кожа.
Иод.	Яблоко.
	Хлеб.

2281. Любопытно видеть такой список тел, неожиданно проявляющих вышеуказанное замечательное свойство, и странно убеждаться в том, что кусок дерева или говядины, или яблоко повинуется магниту или им отталкиваются. Если бы можно было, как это сделал Дюфе, подвесить человека

на достаточно чувствительный подвес и поместить его в магнитное поле, то он расположился бы экваториально, так как все вещества, из которых он составлен, включая кровь, обладают этим свойством.

2282. Экваториальная установка связана с формой тела, а разнообразие формы, представленное в различных веществах приведенного выше списка, было очень велико. Тем не менее был установлен общий вывод, что большая длина в одном направлении достаточна для того, чтобы заставить тела занять экваториальное положение. Было нетрудно понять, что относительно большие массы будут устанавливаться так же легко, как малые, так как в больших массах на тело будет действовать большее количество магнитных силовых линий. Оказалось, что это так и есть на деле. Не потребовалось также много времени для того, чтобы стало ясно, что пластинчатая или кольцевая формы столь же хороши, как цилиндрическая или призматическая; и фактически было установлено, что пластинки или плоские кольца из дерева, спермацета, серы и т. д., будучи подвешены в надлежащем направлении, очень хорошо принимали экваториальное положение. И если бы пластинку или кольцо из тяжелого стекла можно было пустить плавать по воде таким образом, чтобы они могли свободно двигаться в любом направлении, и если бы в этом положении они были подвергнуты действию уменьшающихся по своей интенсивности магнитных сил, то они немедленно расположились бы экваториально; и если бы их центр совпал с осью магнитной силы, то они остались бы на месте. Но если бы их центр оказался вне этой линии, то они, вероятно, постепенно отошли бы от этой оси в экваториальной плоскости и ушли бы из пространства между полюсами.

2283. Я не нахожу, чтобы раздробление вещества на части оказало какое-нибудь заметное влияние на эти явления. Я наблюдал кусок исландского шпата с точки зрения величины той силы, с которой он занимал экваториальное положение, а затем я его разбивал на шесть или восемь частей, вкладывал их

в стеклянную трубку и снова подвергал испытанию. Насколько я мог заметить, действие оказалось прежним. При втором опыте известковый шпат был растолчен в крупные зерна, затем в крупный порошок и, наконец, в мелкий порошок. Каждый раз я подвергал его испытанию в отношении экваториальной установки, но не мог заметить какой-либо разницы в этом явлении вплоть до последнего состояния, при котором, как мне казалось, могло иметь место небольшое ослабление такого стремления; но если оно и наблюдалось, то было едва заметно. Тот же опыт я проделал с кремнеземом и получил тот же результат: никакого ослабления силы не наблюдалось. В связи с этим могу отметить, что крахмал и другие вещества в виде тонкого порошка показывали это явление очень хорошо.

2284. Потребовались бы очень тонкие опыты и большое старание, чтобы определить удельную степень рассматриваемой способности магнитного действия у различных тел, и я очень мало преуспел в этой части вопроса. Тяжелое стекло стоит выше флинтгласа, а последний выше зеркального стекла. Вода стоит ниже их всех, и я думаю, что спирт стоит ниже воды, а эфир ниже спирта. Борат свинца находится, полагаю, на уровне тяжелого стекла, если не выше последнего, а фосфор, вероятно, возглавляет все названные только что вещества. Я наблюдал экваториальное положение фосфора между полюсами обыкновенного магнита (2273).

2285. Я был очень изумлен тем фактом, что кровь оказалась немагнитной (2280), равно как немагнитными оказались испробованные мною образцы красных мышечных волокон говядины и баранины. Это показалось тем более удивительным, что, как будет видно ниже, железо *всегда* и почти *во всех состояниях* является магнитным. Но по отношению к данному вопросу следует отметить, что обычная магнитная способность материи и обсуждаемая здесь *новая способность* по своим действиям друг другу противоположны и что, когда эта последняя способность велика, то она может преодолеть слабую степень

обычной магнитной силы, совершенно так же, как известная величина магнитной способности может оказать противодействию рассматриваемой силе и сделать ее практически незаметной (2422). Именно это обстоятельство создает необходимость быть с самого начала особенно внимательным при проверке магнитного состояния тел (2250). Нижеследующий список немногих веществ, которые были найдены слегка магнитными, пояснит указанное выше положение: бумага, сургуч, китайская тушь, берлинский фарфор, кишки шелковичного червя, асбест, плавиковый шпат, сурик, киноварь, перекись свинца, сульфат цинка, турмалин, графит, древесный уголь. В некоторых из этих случаев магнетизм был распространен по всему телу, в других случаях он ограничивался определенным участком.

2286. Здесь я могу отметить, что мы можем теперь без всяких затруднений допустить, что вышеуказанные явления в полной мере устанавливают существование в материи некоторого магнитного свойства, которое является новым для нашей науки. Из вытекающих отсюда следствий едва ли не главным по своему интересу является то, в каком отношении все изложенное выше находится к высказывавшемуся не раз утверждению, что все тела являются магнитными. Те, кто придерживаются такого воззрения, полагают, что все тела являются магнитными подобно железу, и утверждают, что они устанавливают в направлении от одного полюса к другому. Новые факты содержат в себе не только отрицание этого положения, но еще кое-что сверх того, а именно — утверждение, что во всех обыкновенных телах существуют силы, прямо противоположные тем, какие существуют в магнитных телах, ибо в то время, как последние практически вызывают притяжение, первые вызывают отталкивание; первые приводят тело в аксиальное положение, вторые же заставляют его принять экваториальную установку; и если говорить о всех телах вообще, то эти факты представляют собою нечто прямо противоположное тому, чего требует вышеупомянутое воззрение.

## ГЛАВА IV

*Действие магнитов на металлы вообще*

2287. Металлы как класс, принадлежат к числу тех тел, которые представляют высокий и особый интерес в отношении как магнитных, так и электрических сил; относительно них можно было бы прежде всего ожидать, что в них обнаружатся некоторые особые явления в отношении того поразительного свойства, которое присуще столь большому количеству веществ, и притом столь различных по общему своему характеру. До сих пор не обнаружилось различия, связанного с проводимостью или непроводимостью, с прозрачностью или непрозрачностью, между телами твердыми и жидкими, между телами кристаллическими и аморфными, между телами целыми и разбитыми на части; поэтому для меня представлял очень высокий интерес вопрос о том, войдут ли металлы, при всем их отличии как класса, в это крупное обобщение или же в конце концов обнаружится их обособление.

2288. Что металлы: железо, кобальт и никель — входят в состав особого класса, это представлялось почти несомненным; и я полагаю, что в интересах исследования будет целесообразно, чтобы я рассмотрел их отдельно, в особом разделе. Далее, если бы оказалось, что подобно им магнитными являются еще какие-нибудь другие металлы, то было бы правильно и целесообразно включить их в тот же класс.

2289. Поэтому первой моей задачей было испытать металлы для выявления в них обычного магнетизма. Подобного рода испытание не может быть выполнено с помощью магнитов, уступающих по своей мощности тем, которые будут использованы в дальнейшем исследовании. Это подтверждается тем фактом, что я нашел много образцов металлов, которые у магнитной стрелки или у сильного подковообразного магнита (2157) казались совершенно свободными от магнетизма; тем не менее они дали обильные указания о его наличии, когда я их повесил вблизи одного или обоих полюсов описанных выше (2246) магнитов.

2290. Испытание на магнетизм было мною проведено следующим образом. Если стержень из подлежащего исследованию металла, длиною около двух дюймов, подвешенный (2249) в магнитном поле и поначалу расположенный под углом к аксиальной линии, затем после появления магнитных сил поворачивался в аксиальное положение, а не в экваториальное и не оставался висеть под некоторым углом к аксиальной линии, то я признавал его магнитным. И если, находясь вблизи какого-нибудь магнитного полюса, он притягивался к этому полюсу, а не отталкивался от него, то я отсюда заключал, что он магнитен. Это испытание явно не вполне строго, ибо, как это было указано выше (2285), тело может обладать в некоторой слабой степени магнитной силой, но сила новой способности может оказаться столь большой, что она ее нейтрализует или перевесит. В первом случае может показаться, что тело не обладает ни той, ни другой способностью. Во втором случае можно подумать, что тело свободно от магнетизма и обладает особой способностью в *малой* степени.

2291. Я нашел, что нижеследующие металлы, будучи подвергнуты описанному выше испытанию, не оказались магнитными, а если фактически они были магнитными, то в столь слабой степени, что это не могло уничтожить результатов действия другой силы или задержать ход исследования:

Сурьма.	Свинец.
Висмут.	Ртуть.
Кадмий.	Серебро.
Медь.	Олово.
Золото.	Цинк.

2292. Нижеследующие металлы оказались и до сих пор остаются для меня магнитными; следовательно, они являются спутниками железа, никеля и кобальта:

Платина.	Титан.
Валладий.	

2293. Являются ли все эти металлы магнитными в результате наличия в них небольшого количества железа, никеля или кобальта или же некоторые из них сами по себе являются таковыми, этого в настоящий момент я не возьмусь решить; не могу также утверждать, что металлы предшествующего списка свободны от магнетизма. Я был весьма изумлен тем обстоятельством, что почти все подвергнутые мною испытанию образцы цинка, меди, сурьмы и висмута оказались свободными от железа, и мне представляется весьма вероятным, что некоторые металлы, как мышьяк и др., могут обладать большой способностью преодолевать и подавлять магнитные свойства некоторой доли содержащегося в них железа; другие же металлы, как серебро или платина, может быть обладают в этом отношении лишь малой способностью, а то и вовсе ей не обладают.

2294. Обратимся опять к рассмотрению влияния, оказываемого магнитной силой на те металлы, которые не являются магнитными наподобие железа (2291); я должен отметить, что существует два ряда вызываемых при этом явлений, которые следует тщательно различать. Один из них связан с индукционными магнитоэлектрическими токами; к нему мы вернемся дальше (2309). Другой включает в себе явления того же характера, что и явления, происходящие в тяжелом стекле и многих других телах (2276).

2295. Все немагнитные металлы испытывают на себе действие магнитной силы и дают те же общие явления, что и описанный выше обширный класс тел. Они обладают в неодинаковой степени той силой, которую они при этом проявляют. Сурьма и висмут обнаруживают ее хорошо, причем висмут кажется особенно подходящим для этой цели. Он превосходит в этом отношении тяжелое стекло, борат свинца, а может быть и фосфор. Небольшой стерженек или цилиндр из висмута, около 2 дюймов длиной и от 0.25 до 0.5 дюйма толщиной, годится для показа различных своеобразных явлений, как едва ли какое-нибудь другое тело, которое я до сих пор испытывал.

2296. Говоря точнее, висмутовая палочка, с которой я производил опыты, имела длину в 2 дюйма, ширину в 0.33 дюйма и толщину в 0.2 дюйма. Когда я подвешивал эту палочку в магнитном поле между двумя полюсами и подвергал ее действию магнитной силы, то она легко устанавливалась в экваториальном направлении — подобно тому, как это было с тяжелым стеклом (2253); будучи выведена из этого положения, она легко возвращалась к нему. Хотя это последнее обстоятельство и находится в совершенном согласии с прежними явлениями, оно составляет поразительный контраст с явлениями, которые обнаруживаются медью и некоторыми другими металлами (2309), а потому оно заслуживает быть здесь отмеченным особо.

2297. Сравнительно большая чувствительность висмута приводит к тому, что при различных обстоятельствах происходят некоторые движения, весьма сложные по своей природе; они требуют тщательного анализа и пояснения, и на важнейших из них, а также на их причинах я теперь остановлюсь.

2298. Если цилиндрический электромагнит (2247) установить вертикально, так что один полюс окажется наверху, то этот полюс будет находиться в верхнем конце железного цилиндра, имеющего горизонтальную плоскую поверхность с диаметром в  $2\frac{1}{2}$  дюйма. Небольшой пробный шарик (2266) из висмута, подвешенный над центром этой поверхности и близко к последней, под влиянием магнетизма не приходит в движение. Если передвинуть шарик в сторону, например на половину расстояния между центром и краем поверхности, то магнетизм заставляет его двигаться по направлению внутрь, т. е. по направлению к оси (продолженной) железного цилиндра. Если переместить шарик еще дальше наружу, то под действием магнетизма он продолжает двигаться по направлению внутрь, и так это продолжается до тех пор, пока он окажется как раз над краем верхней плоскости сердечника; здесь он не движется совершенно (известно, что при другой постановке этого опыта шарик стремится здесь двигаться по линии, которая в настоящее время идет от сердечника вверх). Если шарик

передвинуть еще немного дальше, то магнетизм заставляет его стремиться двигаться наружу, т. е. отталкиваться от магнита, и таким же направлением силы остается при любом более отдаленном положении шарика или при его перемещении вниз от края сердечника.

2299. Круглый край, образуемый пересечением конца сердечника с его боковыми сторонами, практически представляет собою для тела, помещенного подобно висмутному шарик у поблизости от него, вершину магнитного полюса; исходящие из него линии магнитной силы как бы расходятся и при расхождении быстро ослабевают во всех направлениях; поэтому шарик тоже стремится уйти по всем направлениям внутрь или вверх или наружу от него; вследствие этого он и выполняет описанные выше движения. Однако на самом деле имеют место не все эти явления, если шарик, висящий на большом расстоянии от железа, находится среди магнитных кривых, имеющих вообще более простое направление. Для того, чтобы устранить действие края, на конце сердечника был установлен железный конус; таким образом плоский конец превратился в конический; тогда пробный шарик был вынужден двигаться вверх только в том случае, когда он находился над самой вершиной конуса; он должен был двигаться вверх и в сторону, когда он находился более или менее в стороне от него; при этом он всегда отталкивался от полюса в таком направлении, которое быстрейшим образом переносило его из точек большей магнитной силы в точки меньшей магнитной силы.

2300. Вернемся теперь к вертикальному плоскому полюсу. Когда концентрически с полюсом и очень близко к последнему была горизонтально подвешена висмутная палочка, то она могла установиться в любом направлении по отношению к оси полюса, проявляя в то же время стремление двигаться вверх, т. е. быть оттолкнутой полюсом. Когда точка ее подвеса была поставлена несколько эксцентрично, то стерженек постепенно поворачивается до тех пор, пока не оказывался параллельным линии, соединяющей точку его подвеса с продолжением оси

полюса; при этом центр тяжести его двигался внутрь. Когда точка подвеса находилась как раз за краем круглого верхнего конца, а стерженок стоял под известным углом к радиальной линии, соединяющей ось сердечника с точкой подвеса, то движения стерженька были неопределенны и изменчивы. Когда угол с радиальной линией был несколько меньше, то стерженок поворачивался до положения, параллельного радиусу, и подвигался внутрь; если же этот угол был больше, то стерженок вращался до положения, перпендикулярного к радиальной линии, и двигался наружу. Все эти осложнения движения легко свести к их простому элементарному началу, если принять во внимание свойства круглого края на конце сердечника, направление магнитных силовых линий, исходящих из него и из других частей полюса, положение различных частей стерженька относительно этих линий, а также руководящий принцип, что каждая частица стремится пройти кратчайшим путем из точек *большой* магнитной силы в точки *меньшей* магнитной силы (2296).

2301. Висмут хорошо устанавливается в определенном направлении и хорошо отталкивается (2296), когда он погружен в воду, спирт, эфир, масло, ртуть и т. д., а также когда он лежит в сосуде из глины, стекла, меди, свинца и т. д. (2272); тоже когда между ним и полюсом поставлены экраны в 0.75 или 1 дюйм толщиной из висмута, меди или свинца. Кубик из висмута (2266) был положен в железный сосуд, имевший диаметр в  $2\frac{1}{2}$  дюйма и толщину в 0.17 дюйма; но даже в этих условиях он хорошо и легко отталкивался магнитным полюсом.

2302. По-видимому, нет никакого различия в характере или степени магнитной способности висмута, когда он взят в виде цельного куска и в виде очень тонкого порошка (2283).

2303. Я произвел много опытов с кусками и стержнями из висмута, которые были подвешены или же находились в других условиях, с тем, чтобы выяснить, не производят ли друг на друга какого-нибудь действия, отталкивания или притяже-

ния, два куска, находящиеся одновременно под влиянием магнитных сил, но не мог найти никакого указания на существование подобного взаимодействия: они, казалось, были совершенно безразличны один по отношению к другому, и каждый из них стремился только перейти из точек большей магнитной силы в точки меньшей магнитной силы.

2304. Висмут в виде очень тонкого порошка был рассыпан на бумаге, лежавшей на горизонтальном круглом верхнем конце вертикального полюса (2246). Когда я постукивал по бумаге, а магнит не был возбужден, то ничего особенного не получалось. Но когда магнитная сила действовала, то порошок отступал в обоих направлениях, внутрь и наружу, от окружности, расположенной в точности над краем сердечника; этот круг оставался чист, что указывало на стремление частиц висмута уходить прочь от этой линии по всем направлениям (2299).

2305. Когда полюс заканчивался конусом (2246), а магнит не действовал, то при перемещении бумаги с рассыпанным на ней висмутовым порошком над острием конуса не получалось никакого особенного результата. Но когда магнетизм начинал действовать, то такое перемещение заставляло порошок уходить с любой точки, которая оказывалась над конусом, так что этим путем как бы наносился или вычерчивался след в виде чистых линий, проходивших по порошку и указывавших все те места бумаги, которые прошли над полюсом.

2306. Было установлено, что стерженьки из висмута и из сурьмы между полюсами обыкновенного подковообразного магнита устанавливаются экваториально.

2307. Нижеследующий список может дать представление о видимом порядке некоторых металлов с точки зрения их способности давать вышеуказанные новые явления. Но я не могу быть уверенным в том, что они совершенно свободны от магнитных металлов. Сверху приведенных выше имеются еще некоторые другие явления, вызываемые действием магнетизма на металлы (2309); эти явления в высокой степени запутывают

результаты, которые обязаны своим происхождением рассматриваемой способности.

Висмут.	Кадмий.
Сурьма.	Ртуть.
Цинк.	Серебро.
Олово.	Медь.

2308. У меня имеется смутное впечатление, что отталкивание висмута магнитом наблюдалось и было опубликовано несколько лет тому назад. Если это так, то ясно, что то, что там должно было рассматривать как частное и единичное явление, было на самом деле следствием общего свойства, которое, как это теперь показано, принадлежит всякой материи.<sup>1</sup>

2309. Я обращаюсь теперь к рассмотрению некоторых своеобразных явлений, обнаруживаемых медью и некоторыми другими металлами, когда они подвергаются действию магнитных сил; эти явления способны чрезвычайно затемнить явления описанного выше вида, а поэтому необходимо, чтобы исследователь знал эти особенности; иначе они могут привести к большой путанице и сомнениям. Я сначала опишу самые явления, а затем перейду к рассмотрению того, откуда они происходят.

2310. Если вместо стерженька из висмута (2296) подвесить между полюсами (2247) такого же размера стерженек

<sup>1</sup> Г-н Де ла Рив (de la Rive) указал мне сегодня на Bibliothèque Universelle за 1829 г., X, стр. 82, где можно усмотреть, что опыт, о котором была речь, принадлежит г-ну Ла Байи (la Baillif) в Париже. Г-н Ла Байи шестнадцать лет тому назад показал, что как висмут, так и сурьма отталкивают магнитную стрелку. Удивительно, что такой опыт столь долгое время оставался без дальнейших последствий. Я рад, что могу сделать здесь эту вставку до того, как настоящая серия настоящих исследований отирается в печать. Те, кто читают мои сообщения, усмотрят в этом, как и во многих других случаях, результаты непрерывно ослабляющейся памяти. И надеюсь только, что мне их извинят и что подобного рода упущения и ошибки будут рассматриваться как невольные. — М. Ф. (30 дек. 1845 г.).

из меди и возбудить магнитную силу, покуда стерженек стоит под углом к аксиальной и экваториальной линиям, то экспериментатор заметит некоторое действие на стерженек; но это действие обнаружится не в виде стремления стерженька двигаться к экваториальной линии; наоборот, он движется по направлению к аксиальному положению, как если бы он был магнитен. Однако он не дойдет до этого положения: соасем не так, как при действии, вызываемом магнетизмом, он остановится на месте и, не совершая никаких колебаний около некоторой определенной точки, здесь и останется, придя сразу в состояние полной неподвижности. И стерженек будет так себя вести, хотя бы до этого под действием кручения или инерции двигался с такой силой, которая должна была бы заставить его совершить несколько колебаний. Это явление составляет поразительный контраст с тем, которое наблюдается при опытах с сурьмой, висмутом, тяжелым стеклом и другими подобными телами; равным образом оно отступает и от обычных магнитных действий.

2311. Завня известное положение, стерженек сохраняет его с большим упорством, если только поддерживать магнитную силу. Если стерженек вытолкнуть из этого положения, то он к нему не возвращается, но совершенно таким же образом занимает новое положение и сохраняет его столь же настойчиво. Но толчок, который при отсутствии магнетизма заставил бы его совершить несколько оборотов, теперь смещает его не больше, чем на  $20^\circ$  или  $30^\circ$ . Не так обстоит дело с висмутом или тяжелым стеклом: последние в магнитном поле свободно колеблются и всегда возвращаются в экваториальное положение.

2312. Стерженек может так остановиться в любом положении. В момент возникновения магнетизма стерженек немного подается, но при некоторой предусмотрительности можно в конце концов остановить стерженек в любом положении, какое мы пожелаем. Даже в том случае, когда он сильно колеблется под влиянием кручения или инерции, его легко

можно захватить и задержать в любом месте, где этого пожелает экспериментатор.

2313. Существует два положения, в которые стерженек можно поместить в начале опыта и из которых магнетизм его не выводит: это — положение экваториальное и аксиальное. Когда стерженек находится приблизительно в среднем между ними положениями, то первое действие магнита обычно сказывается на нем наиболее сильно; впрочем, это положение наибольшего действия варьирует с формой и размерами магнитных полюсов и стерженька.

2314. Когда центр подвеса стерженька находится на аксиальной линии, но ближе к одному из полюсов, то указанные движения протекают чисто: они ясны и определены по своему направлению. Если же центр подвеса находится на экваториальной линии, но в какую-либо сторону от аксиальной линии, то эти движения изменяют свой вид; характер этого изменения будет легко понять из дальнейшего.

2315. Итак, мы изложили, что происходит при возникновении магнитной силы; посмотрим теперь, что происходит в момент ее прекращения, ибо за время, когда она находится на одном уровне, никаких изменений не происходит. Если магнетизм поддерживать в течение двух-трех секунд, а потом ток выключить, то сразу наблюдается сильное действие на стерженек; оно имеет вид отвлечения (*revulsion*) (так как стерженек вновь следует тому пути, по которому он шел короткое время до момента включения электрического тока), но с очень большой силой; в самом деле, если продвижение стерженька прежде составляло, скажем,  $15^\circ$  или  $20^\circ$ , то отвлеченно заставляет его совершить иногда два или три оборота.

2316. Тяжелое стекло или висмут не дают таких явлений.

2317. Пусть стерженек вращается под действием нового отвлеченности; возобновим в это время в магните электрический ток, тогда стерженек сразу останавливается, причем повторяются все прежние явления и следствия (2310); а если затем устранить магнитную силу, то стерженек вновь испытывает на

себе указанное выше действие, но теперь, конечно, в направлении, противоположном прежнему отвлечению.

2318. Когда стерженек задерживается магнитной силой в аксиальном или экваториальном положении, то не получается отвлечения: Когда стерженек стоит под углом к этим положениям, то происходит отвлечение. Наиболее интенсивными в этом отношении являются, по-видимому, те места, которые наиболее благоприятны для первого короткого продвижения стерженька (2313). Если стерженек находится в таком положении, при котором должно было бы получиться сильное отвлечение, и если, оставляя магнитную силу в действии, переставить стерженек рукою в экваториальное или аксиальное положение, то в этом случае при прекращении магнитной силы не получается никакого отвлечения.

2319. Если электрический ток, а значит и магнетизм, поддерживать только одно мгновение, то отвлечение очень слабо, и чем меньше то время, в течение которого поддерживается магнитная сила, тем слабее бывает это отвлечение. Если магнитную силу поддерживать в течение двух или трех секунд, затем ее прекратить, а после этого мгновенно заставить действовать вновь, то стерженек освобождается и затем снова задерживается этой силой раньше, чем заметно изменит свое положение. В этом случае можно видеть, что с *восстановлением* силы он не продвигается так, как это было бы, если бы в данном месте на него подействовать первым включением тока (2310); другими словами, когда стерженек стоит в определенном месте под углом к аксиальному положению, то первое появление магнитной силы заставляет его двинуться по направлению к аксиальному положению; но если стерженек находится там же, а действие магнитной силы прекращают, а затем *мгновенно* возобновляют, то вторичное появление силы не приводит стерженек в такое же движение, в какое приводило первое появление силы.

2320. Если погрузить медный стерженек в воду, спирт или даже в ртуть, то получаются те же явления, что и в воз-

духе, но движения не достигают, конечно, прежнего размаха.

2321. Если между полюсами и медным стерженьком поставить пластины из меди или висмута толщиной в дюйм, то получаются те же результаты.

2322. Если пользоваться только одним магнитным полюсом, то вблизи него явления протекают так же хорошо, как и раньше, при том условии, что плоскость, образующая конец железного сердечника, велика по сравнению с стерженьком (2246). Но если полюс заострить с помощью конического наконечника или если стерженек повесить против края конца сердечника, эти явления очень ослабевают или же совершенно исчезают; остается лишь общее явление отталкивания (2295).

2323. Описанные только что своеобразные явления обнаруживаются, пожалуй, еще более удивительным образом, если медный стерженек подвесить вертикально и затем установить его против большой поверхности магнитного полюса и вблизи от него; полюс пусть будет один; если же полюс, как это было описано выше (2246, 2263), поставлен вертикально, установить стерженек где-нибудь поблизости сбоку. Нужно помнить, что стерженек имеет длину в 2 дюйма, ширину в 0.33 дюйма и толщину в 0.2 дюйма, и так как теперь он будет вращаться около оси, параллельной его длине, то могут свободно переходить в новые положения даа меньших ее измерения. В этом случае возникновение магнитной силы заставляет стерженек, в соответствии с описанными выше явлениями, сделать небольшой поворот, а прекращение магнитной силы вызывает отвлечение, в результате которого стерженек несколько раз вращается вокруг своей оси. Но в любой момент стерженек, как и раньше, можно схватить и задержать в каком-нибудь положении. При замыкании батареек стерженек стремится расположиться своим более длинным подвижным измерением, т. е. своей шириной, параллельно линии, соединяющей центр действия магнита со стержнем.

2324. Стерженек, как и раньше (2311), крайне медлителен, и в отношении вращения вокруг своей собственной оси ведет себя так, как будто он был погружен в очень густую жидкость. Но эта медлительность не распространяется на стерженек, как на целое, ибо если он совершает какое-либо маятникообразное движение, то последнее продолжается без изменения. Чрезвычайно любопытно наблюдать за стерженьком, когда он колеблется около своей точки подвеса (2249) и одновременно вращается около своей оси; как только он попадает под действие магнитной силы, последнее движение мгновенно прекращается, а первое продолжается с неуменьшающейся силой.

2325. То же самое явление медлительности, как и у стерженька, наблюдается у медного кубика или шарика, но явления первоначального вращения и отвлечения здесь отпадают (2310, 2315).

2326. Стержни из висмута и тяжелого стекла не дают такого рода явлений. Свообразные явления, производимые медью, так же отличны от действия вышеперечисленных веществ, как они отличны от обыкновенных магнитных действий.

2327. Пытаясь объяснить причину вышеописанных явлений, я склонен думать, что они связаны с превосходной проводимостью меди для электрических токов, с *постепенным* приобретением и утратой магнитной силы железным сердечником электромагнита и с возникновением тех магнитоэлектрических и индукционных токов, которые я описал в первой серии настоящих Экспериментальных исследований (55, 109).

2328. Препятствие, чинимое движению около собственной оси, когда стерженек находится под действием магнитных сил, в равной мере свойственно шарообразной и кубической форме. Но оно свойственно этим телам только тогда, когда их ось вращения перпендикулярна или наклонна к линиям магнитной силы, но не свойственно, когда она им параллельна, ибо горизонтальный стержень и вертикальный стержень, и куб, и шар вращаются с полной легкостью, когда они подвешены над вертикальным полюсом (2246). В этом случае вращение

и колебание протекают одинаково свободно; они тождественны с соответствующими движениями висмута и тяжелого стекла. Препятствие движению наиболее сильно, когда ось вращения перпендикулярна к линиям магнитной силы и когда стержень, куб и т. п. находятся поблизости от магнита.

2329. Не входя в подробное рассмотрение отдельных обстоятельств, я могу сказать, что рассматриваемое явление полностью объясняется электрическими токами, индуцируемыми в массе медного тела. Если обратиться ко второй серии настоящих Исследований (160)<sup>1</sup>, то можно увидеть, что когда шар, находящийся под действием магнитных силовых линий, вращается около оси, перпендикулярной к этим линиям, то по этому шару в плоскости, параллельной оси вращения и магнитным линиям, пробегает электрический ток, который, естественно, создает в шаре магнитную ось, направленную перпендикулярно к магнитным кривым индуцирующего магнита. Поэтому магнитные полюсы этой оси направлены таким образом, что они совместно с основным магнитным полюсом стремятся увлечь шар назад, обратно тому направлению, в котором он вращается. Будем вращать кусок меди перед северным магнитным полюсом таким образом, что ближайшая к полюсу часть его будет двигаться направо; ясно, что правая сторона этой меди будет тогда иметь южно-магнитное состояние, а левая сторона — северно-магнитное; эти состояния будут стремиться противодействовать движению меди направо. Если же кусок меди будет вращаться в противоположном направлении, то правая сторона его будет иметь южно-магнитное состояние, а левая сторона — северно-магнитное состояние. Таким образом, в каком бы направлении медь ни стремилась вращаться вокруг собственной оси, в тот самый момент, когда она приходит в движение, возникает сила, имеющая такое направление, что она стремится остановить движение меди и привести ее в неподвижное состояние. Когда

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1832, стр. 168.

медь недвижима в данном направлении, то не существует никакого остаточного или иного действия, которое стремилось бы это неподвижное состояние нарушить, и она здесь и остается.

2330. Когда вся масса меди перемещается параллельно самой себе и при этом мала по сравнению с плоскостью на конце магнитного полюса, против которого она находится, то она, правда, проходит через магнитные силовые линии и, следовательно, имеет склонность к образованию в ней магнито-электрических токов. Но так как все части этой массы движутся с одинаковой скоростью, в одном и том же направлении и через одинаковые магнитные силовые линии, то склонность к образованию тока оказывается одинаковой во всех ее частях и ток фактически не создается; как следствие, не происходит ничего такого, что могло бы каким-либо образом нарушить свободу движения меди. Этим и объясняется то обстоятельство, что вращение стержня или куба (2324, 2328) вокруг собственной оси сразу останавливается, но когда они колеблются как маятник, это движение не испытывает никакого препятствия.

2331. Мы видели, что ни то, ни другое движение не испытывает на себе никакой задержки, когда стержень или куб находятся над вертикальным полюсом (2328); это объясняется просто тем, что в обоих этих случаях [при указанных (относительных) размерах полюса и движущегося металла] линии частиц, по которым стремятся двигаться индуцированные ток, должны быть параллельны друг другу по всей массе; а потому не существует такого места, по которому мог бы проходить обратный ток; вследствие этого никакого тока не может создаться.

2332. Раньше, чем перейти к объяснению других явлений, необходимо указать на общеизвестный и, как я полагаю, общепризнанный факт, что для развития магнетизма в железном сердечнике с помощью электрического тока требуется время; оно нужно точно также для исчезновения магнетизма, когда ток прерывают. Об одном действии постепенного нарастания силы было доложено в последней серии настоящих

Исследований (2170). Для плохо отожженного железа это время, вероятно, больше, чем для очень хорошо и вполне отожженного. Последние доли магнетизма, который данным током можно развить в определенном железном сердечнике, получаются, по-видимому, медленнее, чем первые его доли; и эти доли (или то состояние железа, которому они обязаны своим существованием) тоже, по-видимому, исчезают медленнее других долей силы. Когда электрический ток включают только на мгновение, то вызванный ток магнетизм исчезает так же быстро при выключении тока, как он возникал при его появлении; но если держать ток включенным в течение трех или четырех секунд, то при его выключении магнетизм ни в коем случае не исчезает столь же быстро.

2333. Для того, чтобы шаг за шагом выяснить своеобразные явления с медью и их причину, рассмотрим условия, в которых находится горизонтальный стержень (2310, 2313), когда он висит в экваториальном положении между двумя магнитными полюсами или перед единственным полюсом, когда другого нет; пусть при этом точка подвеса лежит на одной линии с осью полюса и возбуждающей его проволочной катушки. Когда через катушку пропускают электрический ток, то и катушка и возбуждаемый ею магнит способствуют образованию в меди токов противоположного направления. Последнее явствует из моих прежних исследований (26) и можно доказать опытом; для этого нужно взять короткий или длинный провод, согнуть его в виде катушки (если это требуется) по форме стержня и отвести образующиеся в нем токи с помощью проводов к находящемуся на некотором расстоянии гальванометру. Подобные токи, возбуждаемые в меди, продолжают лишь в течение того времени, когда магнетизм в сердечнике нарастает, а затем они исчезают (18, 39); но *покуда* они продолжают, они сообщают настоящую магнитную полярность той поверхности медного стержня, которая противолежит определенному полюсу; эта полярность оказывается той же, что у полюса, к которому поверхность направлена. Таким образом, на той стороне

стержня, которая обращена к северному полюсу магнита, образуется северная полярность, а на стороне, обращенной к южному полюсу, возникает южная полярность.

2334. Легко видеть, что если в течение этого времени медь находится против одного только полюса или же, находясь между двумя полюсами, стоит ближе к одному полюсу, чем к другому, то указанное выше явление должно вызвать отталкивание меди. Однако оно не может объяснить всю величину отталкивания, которое наблюдалось как у меди, так и у висмута (2295). Дело в том, что эти токи длятся лишь мгновение, и вызываемое ими отталкивание должно прекратиться вместе с ними. Но они вызывают короткое отталкивательное усилие, чем главным образом и вызывается первая часть этого своеобразного действия.

2335. В самом деле, пусть стерженек будет направлен не параллельно поверхности магнитного полюса и, стало быть, будет стоять не под прямым углом к результирующей магнитной силе. Пусть угол, который он образует с ней, будет, например,  $45^\circ$ ; тогда индукционные токи будут двигаться вообще в плоскости, более или менее соответствующей указанному углу, подобно тому, как это они делают в пробной катушке (2333), если ее установить под таким же углом. Вследствие этого полярная ось медного стержня отклоняется в сторону, так что северная полярность теперь находится не прямо против северного полюса индуцирующего магнита; вследствие этого действие этого полюса, как и другого магнитного полюса, на обе полярности магнита будет клониться к тому, чтобы еще больше повернуть стержень и поставить его боком к полюсам, т. е. так, чтобы ширина его была параллельна проходящей через стержень магнитной равнодействующей (2323). Таким образом, стержень получает импульс, и создается впечатление, что ближайший к магниту конец стерженька получает толчок по направлению к магниту. Это действие, конечно, прекращается тотчас же, как только прекращается нарастание магнетизма сердечника катушки; тогда прекращается вызываемое

этой причиной движение, и медь подпадает под одно то действие, которое было описано выше (2295). В то же самое время, как происходит этот вращательный сдвиг, т. е. проделывается весьма малая часть оборота вокруг точки подвеса, центр тяжести всей массы отталкивается; таким образом, полагаю, объясняются все действия, происходящие в рассмотренных до сих пор условиях.

2336. Теперь скажем о отвлечении, которое наблюдается при прекращении электрического тока и спаде магнетизма в сердечнике. Согласно закону магнитоэлектрической индукции при исчезновении магнитной силы в медном стерженьке индуцируются кратковременные токи (28), но в направлении, противоположном тем токам, которые индуцировались в первом случае. Поэтому в той части меди, которая расположена ближе всего к северному полюсу, будет возникать южный полюс, а в той части ее, которая расположена дальше всего от того же полюса, образуется северный полюс. Вследствие этого проявится действующая на стерженек сила, которая будет стремиться повернуть его вокруг точки подвеса в направлении, противоположном предшествующему, и отсюда наблюдается отвлечение, ибо ближайший к магнитному полюсу угол стержня от него отступит, широкая поверхность (2323) или длина (2315) стержня повернется лицом к магниту, и произойдет действие, во всех отношениях противоположное первому действию, за исключением одного обстоятельства: в то время, как тогда движение составляло лишь немного градусов, в настоящем случае оно может дойти до двух или трех оборотов.

2337. Причина этого различия вполне очевидна. В первом случае медный стерженек двигался под действием влияний, которые сильно стремились его замедлить и остановить (2329); во втором случае этих влияний не стало, и стержень свободно вращается с силой, пропорциональной той силе, с которой магнит действует на токи, которые он сам индуцирует.

2338. Медь может иметь такую форму, что не дает направленной под углом составляющей магнитного действия инду-

цированных в ней токов, например, когда она представляет собою куб или шар; но и в этом случае вышеописанное действие все-таки проявляется (2325). Я взял медную пластину толщиной около трех четвертей дюйма и весом в два фунта, положил ее на несколько свободных деревянных колодок и заставил ее висеть на расстоянии около 0.2 дюйма от поверхности магнитного полюса; тогда при включении батареи она отталкивалась и удерживалась в некотором отдалении, пока батарея была замкнута; когда же я размыкал ток батареи, пластина возвращалась обратно к полюсу. Но это возвращение происходило с гораздо большей силой, чем когда оно вызывалось только тяжестью (как это было установлено с помощью опыта): пластина в этот момент действительно *притягивалась* к магниту и вместе с тем стремилась к нему благодаря тяготению, в результате чего сильно ударяла по магниту.

2339. Таково, полагаю, объяснение тех своеобразных явлений, которые медь дает в магнитном поле. А причину того, что эти явления обнаруживаются с этим металлом, но не обнаруживаются с висмутом или тяжелым стеклом, можно почти наверняка найти в его высокой электропроводности, что создает возможность возникновения в нем токов под действием индуктирующих сил, чего последние не могут произвести в соответствующей степени в висмуте и, конечно, совершенно не могут произвести в тяжелом стекле.

2340. Обычный магнетизм, свойственный металлам благодаря присущей им способности, или же наличие в них небольших долей магнитных металлов, должны противодействовать развитию тех явлений, которые я описал выше. Поэтому металлы, не обладающие абсолютной чистотой, нельзя в этом отношении сравнивать друг с другом. Тем не менее я наблюдал эти же явления и у других металлов; что же касается медлительности при вращательном движении, то я замечал ее даже у висмута. Нижеследующие металлы в большей или меньшей степени дали эти явления:

Медь.	Ртуть.
Серебро.	Платина.
Золото.	Палладий.
Цинк.	Свинец.
Кадмий.	Сурьма.
Олово.	Висмут.

2341. Согласие этих явлений с прекрасным открытием Араго (Arago),<sup>1</sup> с результатами опытов Гершеля (Herschel) и Бабеджа (Babbage)<sup>2</sup> и с моими собственными прежними изысканиями (81)<sup>3</sup> вполне очевидно. Таковым ли было по своей природе то явление, которое получил Ампер со своим медным цилиндром и катушкой,<sup>4</sup> об этом я не могу судить, поскольку не было приведено достаточно данных об условиях этого опыта и о мощности прибора, но, вероятно, оно было именно таким.

2342. Так как в силу других моих обязанностей может пройти три или четыре недели раньше, чем я окажусь в состоянии закончить проверку некоторых опытов и заключений, я сейчас представляю вниманию Королевского общества настоящие результаты, а в скором времени в другой серии настоящих Исследований я представлю доклад о действии магнитов на магнитные металлы, о действии их на газы и пары, а также представлю общие соображения по этим вопросам.

*Королевский институт,  
27 ноября 1845 г.*

<sup>1</sup> Annales de Chimie, XXVII, 363; XXVIII, 325; XXXII, 213. И очень рад указать здесь на номер Comptes Rendus от 9 июня 1845, на котором видно, что г. Араго первый получил свои своеобразные результаты как с помощью электромагнита, так и с помощью обыкновенного магнита

<sup>2</sup> Philosophical Transactions, 1825, стр. 467.

<sup>3</sup> Там же, 1832, стр. 146.

<sup>4</sup> Bibliothèque Universelle, XXI, стр. 48.

---

---

# ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ СЕРИЯ<sup>1</sup>

---

*Раздел 27. О новых магнитных действиях и о магнитном состоянии всякого вещества (продолжение).* Глава V. Действие магнитов на магнитные металлы и их соединения. Глава VI. Действие магнитов на воздух и газы. Глава VII. Общие соображения.

—Поступило 24 декабря 1845 г. Доложено 8 января 1846 г.

## РАЗДЕЛ 27

### О НОВЫХ МАГНИТНЫХ ДЕЙСТВИЯХ, И О МАГНИТНОМ СОСТОЯНИИ ВСЯКОГО ВЕЩЕСТВА

#### ГЛАВА V

##### *Действие магнитов на магнитные металлы и их соединения*

2343. Хорошо известны магнитные свойства железа, никеля кобальта. Известен также тот факт, что при определенных температурах они свои обычные свойства теряют и при обычном испытании и наблюдении становятся немагнитными; они попадают таким образом в список диамагнитных тел и ведут себя подобно последним. Однако более близкое исследование показало мне, что они все-таки очень отличаются от других тел, что хотя в накаленном состоянии они представляются неактивными с обычными магнитами при обычных испытаниях, они являются таковыми не абсолютно, сохраняют известную величину магнитной силы при любой температуре и что эта

---

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1846, стр. 41.

сила по своим свойствам тождественна с той, какой они обладают при обычных условиях.

2344. Кусочек железной проволоки, около дюйма длины и 0.05 дюйма в диаметре, был тщательно очищен, а затем подвешен за свою середину к тонкой платиновой проволоке; последняя была присоединена к подвесной нити (2249); таким образом кусочек висел между полюсами электромагнита. Он был нагрет с помощью спиртовой лампы и скоро достиг такой температуры, что стал совершенно нечувствительным к присутствию хорошего обыкновенного магнита, как бы близко последний ни подносили к накалившему железу. После этого путем регулировки лампы температура железа значительно повышалась и вводился в действие электромагнит. Накаленное железо тотчас же становилось магнитным и располагалось от полюса к полюсу. Магнитная сила его была невелика, и в этом отношении состояние железа находилось в разительном контрасте с тем состоянием, в каком оно находилось, когда оно было холодным; но характер силы был совершенно тот же.

2345. После этого я давал железу возможность постепенно охладиться — так, чтобы можно было проследить за усилением его магнитного состояния. Интенсивность силы, по-видимому, не повышалась, пока температура не приближалась к определенной точке; а когда затем тепло продолжало убывать, то железо быстро, но не мгновенно, приобретало свою высокую магнитную способность. Тогда его нельзя было удерживать на расстоянии от магнита; оно летело к нему, причем изгибало подвесной провод, и, пристав к одному из концов сердечника, дрожало, как бы от своей магнитной энергии.

2346. Подобным же образом был подвергнут экспериментальному испытанию небольшой стерженек из никеля. Этот металл, как я показал,<sup>1</sup> теряет свой магнетизм, если об этом судить на основании обычного испытания, несколько ниже

---

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1836, VIII, стр. 179, или Experimental Researches, т. II, стр. 219; [Эксперимент. иссл., т. II, стр. 305].

теплоты кипящего масла, вследствие чего он весьма пригоден для того, чтобы выяснить, полностью ли магнитные металлы теряют под влиянием теплоты свою способность, или нет, а также, как происходит утрата всей или большей части их силы: сразу или же постепенно. Малый размер массы, над которой предстояло произвести этот опыт, очень благоприятствовал выяснению последнего вопроса. Будучи нагрет, никель скоро становился безразличным по отношению к обыкновенным магнитам; но даже при высокой температуре он все же принимал определенное положение в электромагните и притягивался к нему. Сила его была весьма незначительна, но несомненна. Ее было едва достаточно для того, чтобы держать никель на весу одним лишь магнитным действием, но она в полной мере выяснилась, когда металл был подвешен вышеуказанным способом (2344).

2347. Осторожно понижая температуру никеля, снова можно было установить, что переход от одной степени магнитной силы к другой происходит постепенно, а не мгновенно. При опытах с железом как при нагревании его, так и при охлаждении, трудно поддерживать все части его при достаточно близкой температуре, а потому не было уверенности в том, что в данном случае видимость средней степени магнетизма получается не благодаря соединению более горячих и более холодных участков. Но с никелем этого достичь не так трудно, так как при нем это изменение происходит более постепенно, и когда при охлаждении сила начинала нарастать, можно было затянуть охлаждение на некоторое время, прежде чем сила достигала полной своей величины. В течение этого срока можно было температуру слегка повысить, и хотя сила должна была тогда немного понизиться, ее можно было все-таки поддерживать на уровне, превышающем наиболее слабую силу. Было действительно нетрудно *поддерживать* никель на многих промежуточных степенях силы и таким образом устранить всякое сомнение в том, что полная величина силы достигается постепенно.

2348. Я высказывал когда-то мнение, причем основывался на различии температур, при которых магнитные металлы, по-видимому, теряют свои особые свойства,<sup>1</sup> что все металлы, по всей вероятности, оказались бы обладающими одинаковыми магнитными свойствами, если бы можно было достаточно понизить их температуру. Мне кажется, что описанные только что факты решительно говорят против этого мнения. Те металлы, которые являются магнитными, сохраняют часть своих магнитных свойств и после того, как произведено вышеописанное большое изменение, т. е. и в том состоянии, которое можно было бы назвать их диамагнитным состоянием. Другие же металлы, как висмут, олово и т. д., не обнаруживают ни следа их свойства; состояние, в котором они находятся, не есть состояние накаливаемого железа, никеля или кобальта. Действительно, последние располагаются по оси и притягиваются; остальные располагаются экваториально и отталкиваются. Поэтому я прошу разрешить мне взять обратно это мнение, высказанное мною ранее.

2349. Затем я исследовал разные виды перекиси железа и в согласии с наблюдениями Беккереля<sup>2</sup> и других нашел, что обе они, — как естественная, так и искусственная, — обладают при обычных температурах магнитной способностью. Я нагревал их в трубках, но нашел, что они остаются все же магнитными и не испытывают ослабления этого свойства при тех температурах, которым я мог их подвергнуть.

2350. Было установлено, что различные образцы окиси никеля обнаруживают те же явления. Они были магнитными как в горячем, так и в холодном состоянии. То обстоятельство, что теплота в данном случае не вызывает никаких изменений, является тем более поразительным, что температура, сообщен-

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1836, VIII, стр. 177; там же, 1839, XIV, стр. 161, или Experimental Researches, т. II, стр. 217, 225. [Эксперимент. иссл., т. II, стр. 305 и 312].

<sup>2</sup> Annales de Chimie, 1827, стр. 337. Comptes Rendus, 1845, XX, стр. 1708.

ная окиси, была гораздо выше той, какая необходима, чтобы произвести большое магнитное изменение в самом металле (2346).

2351. Окись кобальта тоже оказалась магнитной, и притом одинаково магнитной в горячем и холодном состоянии. Стекло, окрашенное кобальтом в синий цвет, является, в результате присутствия в нем окиси названного металла, магнитным как в горячем, так и в холодном состоянии. Во всех этих случаях величина сохраняющихся магнитных свойств оказалась очень незначительной по сравнению со свойствами чистого металла.

2352. Перейдя затем к *солям* железа, я нашел, что и они магнитны. Чистые кристаллы протосульфата железа притягивались и очень хорошо устанавливались по оси. Так же обстояло дело и с сухой солью. Продолжая это исследование, я нашел, что всякая соль и соединение, содержащие в основной своей части железо, оказываются магнитными. Было бы утомительно перечислять все вещества, которые были подвергнуты испытанию. Нижеследующие вещества приведены для того, чтобы дать понятие о разнообразии их видов:

Протохлорид.	Протофосфат.
Перхлорид.	Перфосфат.
Иодид.	Нитрат.
Протосульфат.	Карбонат.
Персульфат.	Берлинская лазурь.

2353. Из естественных соединений:

Бурый железняк.	Железный колчедан.
Гематит.	Мышьяковый колчедан.
Хромат железа.	Медный колчедан.

Много других также оказались магнитными.

2354. Зеленое бутылочное стекло благодаря содержащемуся в нем железу сравнительно весьма магнитно; им нельзя пользоваться в виде трубок для исследования в них других веществ.

По той же причине магнитен и кронглас. Флинтглас не магнитен и устанавливается экваториально.

2355. Кристаллы желтой кровяной соли оказались немагнитными; они отталкивались и устанавливались экваториально; так же обстоит дело с красной кровяной солью.

2356. Согласно моим ожиданиям, растворы железных солей как водные, так и спиртовые оказались магнитными. Трубка, наполненная прозрачным раствором прото- или персульфата, а также прото- или перхлорид железа или растворов муриата железа притягивалась полюсами и очень хорошо устанавливалась между ними в осевом направлении.

2357. Эти растворы представляют собою очень важное средство для дальнейшего развития магнитных исследований, так как они дают нам возможность устроить магнит, который является одновременно жидким и прозрачным и в известных пределах дает возможность довести себя до любой степени силы. Отсюда получается возможность оптического исследования магнита. Отсюда получается также возможность помещать одни порции магнитного вещества внутри других и таким образом наблюдать динамические и иные явления в магнитных средах. В самом деле, можно не только помещать эти вещества в магнитном поле как магниты, но можно вообще заполнить ими поле и тогда испытывать другие тела и другие магниты с точки зрения их совместного или отдельного действия в этом поле (2361 и т. д.).

2358. Что касается солей никеля и кобальта, то чистые кристаллы сульфата никеля оказались отчетливо магнитными, таким же образом и чистые кристаллы сульфата кобальта. Растворы сульфата никеля, хлорида никеля и хлорида кобальта точно также оказались магнитными. Для того, чтобы быть вполне уверенным в этом, я обратился к м-ру Аскину в Бирмингеме, который хорошо известен своим умением отделять никель и кобальт друг от друга и от других металлов; известен и масштаб, в каком он производит эти операции; он любезно прислал мне раствор хлорида никеля, а также совершенно чистый рас-

твор хлорида кобальта. Между полюсами моего магнита оба они оказались определенно магнитными.

2359. Нагревание любого из этих магнитных растворов не уменьшало их магнитных свойств и вообще на них не влияло.

2360. Эти результаты, полученные с солями магнитных металлов, вместе с изложенными выше доказывают, по-видимому, что никаким изменением температуры нельзя немагнитные материалы сделать магнитными (2398) и что они представляют собою класс, отличный от железа, никеля и кобальта; ибо ни одно из соединений немагнитных металлов до сих пор не обнаружило какого-либо следа обычной магнитной силы, между тем как все соединения названных трех металлов ею обладают.

2361. Чтобы дать представление о силе, которую железные и другие подобные соединения обнаруживают при исследовании магнитных явлений (2357), а также ввиду тех общих выводов, которые предстоит сделать из всех описанных в настоящем сообщении фактов, я перейду к описанию некоторых наперед ожидавшихся результатов, которые были получены при работе с этими соединениями в магнитном поле.

2362. Был изготовлен прозрачный раствор протосульфата железа, в котором одна унция жидкости содержала в себе семьдесят четыре грана гидратированных кристаллов. Был изготовлен второй раствор, содержащий в себе один объем вышеуказанного раствора и три объема воды. Был сделан третий раствор из одного объема крепкого раствора и пятнадцати объемов воды. Я обозначу эти растворы номерами 1, 2 и 3; отношение кристаллов сульфата железа в них составляло соответственно около 16, 4 и 1 процента. Таким образом, можно считать, что именно эти числа определяют [только приблизительно (2423)] силу магнитной части этих жидкостей.

2363. Были изготовлены трубки вроде тех, какие были описаны выше (2279); они были наполнены указанными выше растворами и затем герметически запечатаны; при этом в них было оставлено возможно меньше воздуха. Были также изго-

товлены стеклянные сосуды для этих жидкостей; они были достаточно велики для того, чтобы в них свободно могли двигаться трубки, но в то же время такого размера и формы, чтобы их можно было установить между магнитными полюсами. Этим путем можно было исследовать и наблюдать действие магнитных сил на вещество внутри трубок: с одной стороны, когда трубки находились в диамагнитных средах, как воздух, вода, спирт и д. т., с другой — когда они находились в магнитных средах, а последние могли обладать либо большей, либо меньшей магнитной силой, чем вещества в трубках.

2364. Когда эти трубки были подвешены в воздухе между полюсами, то все они располагались аксиально, т. е. по направлению магнитной силы, как этого и можно было ожидать; притом сила была, видимо, пропорциональна крепости раствора. Когда они были погружены в спирт или в воду, то они тоже устанавливались в этом же направлении: наиболее крепкий раствор — очень хорошо, точно также и второй, но наиболее слабый раствор действовал слабо, хотя характер действия был вполне отчетлив (2422).

2365. Когда эти действия производились над трубками, погруженными в различные жидкости, содержавшие в себе железо, то результаты оказались весьма интересными. Трубка № 1 (наиболее сильная в магнитном отношении), находясь в растворе № 1, не проявила стремления завять под влиянием магнитной силы каков-нибудь особое положение, а оставалась в любом месте, куда бы она ни попала. Когда она находилась в растворе № 2, она хорошо устанавливалась в аксиальном направлении; в растворе № 3 она занимала то же положение, но еще с большей силой.

2366. Трубка № 2, находясь в растворе № 1, располагалась экваториально, т. е. подобно тяжелому стеклу, висмуту, или вообще диамагнитному телу, находящемуся в воздухе. В растворе № 2 она была безразлична и не устанавливалась ни в каком определенном положении, а в растворе № 3 устанавливалась в аксиальном направлении, т. е. подобно магнитному телу.

Трубка № 3, содержащая в себе наиболее слабый раствор, устанавливалась экваториально в растворах №№ 1 и 2 и не принимала никакого определенного направления в растворе № 3.

2367. Были приготовлены другие содержащие в себе железо растворы различной крепости; как общий и постоянный результат, было установлено, что каждая трубка устанавливалась в аксиальном направлении, когда раствор в ней был крепче окружающего ее раствора, и экваториально, когда раствор в трубке был из этих двух растворов слабейшим.

2368. Теперь трубки подвешивались вертикально, так что, находясь в различных растворах, они могли быть поднесены близко к одному из магнитных полюсов; тогда с ними можно было производить такие же опыты, как с пробным кубиком или шариком из висмута или из тяжелого стекла (2266). При этом получался постоянный результат, а именно: когда трубка содержала в себе более крепкий раствор, чем тот, который ее окружал, то она притягивалась к полюсу, а когда раствор в ней был слабее, то она отталкивалась. Последние явления были по своему внешнему виду во всех отношениях тождественны тем, какие наблюдались при отталкивании в воздухе тяжелого стекла, висмута и любого другого диамагнитного тела.

2369. Описав эти явления, я отложу дальнейшее их рассмотрение до последнего раздела настоящего доклада, а сейчас перейду к некоторым наблюдениям, которые имеют более близкое отношение к данной части настоящих исследований.

2370. Так как магнитные металлы — железо, никель и кобальт — дают в своих соединениях вещества, которые точно так же, в отличие от других, обладают магнитными свойствами (2360), то представлялось весьма вероятным, что этим путем может быть испытана магнитная природа других металлов, о магнитных свойствах которых были высказаны сомнения ввиду возможного присутствия в исследованных образцах железа; ибо представлялось вероятным, рассуждая по аналогии, что каждый металл, который сам по себе является магнит-

ным, будет магнитным и в своих соединениях и что, судя по общим свойствам большого класса диамагнитных тел (2275), нельзя будет получить магнитных соединений от такого металла, который сам по себе не является магнитным. В соответствии с этим я воспользовался указанным способом испытания в отношении к соединениям многих металлов и получил следующие результаты.

2371. **Т и т а н.** Воуластон описал магнитные явления с кристаллами титана и высказал в то же время мнение, что эти явления обязаны своим происхождением железу.<sup>1</sup> Я взял образец окиси титана, который, как я полагаю, был совершенно свободен от железа, и, заключив его в трубку (2279), подверг действию электромагнита (2246, 2247). Он оказался вполне магнитным. Другой образец, полученный от м-ра Джонсона, который считал его совершенно свободным от железа, оказался тоже магнитным. Отсюда я заключаю, что титан действительно является магнитным металлом.

2372. **М а р г а н е ц.** Насколько мне известно, Бертье первый указал, что этот металл при низких температурах является магнитным.<sup>2</sup> Я подвергал образцы различных кислородных соединений, которые считались чистыми, действию магнитной силы, и все они оказались магнитными, в особенности протоксида. Магнитными оказались следующие марганцевые соединения в чистом, сухом или кристаллическом состоянии: хлорид, сульфат, аммонийный сульфат, фосфат, карбонат, борат, равно как растворы хлорида, нитрата сульфата и аммонийного сульфата. Образец последней соли я подщелачивал, для чего прибавлял небольшое количество карбоната аммония; затем подвергал соль кипячению и, наконец, трижды тщательно перекристаллизовал. После этого кристаллы и раствор очищенной соли оказались вполне и отчет-

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1823, стр. 400.

<sup>2</sup> Traité des Essais par la Voie Sèche, I, стр. 532; Philosophical Magazine, 1845, XXVII, стр. 2.

ливо магнитными. Поэтому у меня нет никаких сомнений в том, что марганец, как это высказал Бертье, является магнитным металлом. Если можно позволить себе составить мнение о магнитной силе металла на основании степени магнетизма его соединений, то я полагал бы, что марганец должен обладать значительной магнитной силой, когда находится при достаточно низкой температуре.<sup>1</sup>

2373. Ц е р и й. Мне неизвестно, чтобы церий до сих пор относили к числу магнитных металлов. Прюделав опыты с гидратным протоксидом, карбонатом и хлоридом этого металла, а также с двойным сульфатом окиси церия и калия, которые были приготовлены с большою тщательностью, я нашел, что все они магнитны, а те из них, которые растворимы, магнитны в растворенном состоянии. Поэтому, поскольку соединения являются несомненно магнитными, имеются все основания полагать, что церий представляет собою магнитный металл (2370).

2374. Х р о м. Магнитные явления у соединений хрома очень интересны. Некоторые количества хромата и бихромата калия были очищены каждый путем трехкратной тщательной перекристаллизации; часть бихромата нагревалась в платиновом тигле до тех пор, пока второй эквивалент хромовой кислоты не превратился в кристаллический оксид, который и был отмыт и высушен; он оказался явно магнитным. Таковы же были и все другие образцы оксида хрома, которые были подвергнуты испытанию.

Образчик Уаррингтоновской (Warrington) хромовой кислоты оказался очень слабо магнитным.

2375. Хромат свинца, будучи подвергнут действию магнита, устанавливался экваториально и отталкивался. Так же обстояло дело с кристаллами хромата калия. Однако кристаллы бихромата калия вели себя иначе, а именно, когда их подвергали каким-либо образом магнитному действию, то они ока-

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1845, XXVII, стр. 2.

ывались весьма слабо магнитными, обнаруживая этим влияние возросшей доли хромовой кислоты. Растворы обеих солей устанавливались экваториально и отталкивались, обнаруживая этим диамагнитное влияние присутствующей воды (2422).

2376. Как было только что указано, раствор бихромата, находившийся в трубке, располагался экваториально и отталкивался. Но затем к этому же раствору прибавлялось немного спирта или же небольшое количество чистой соляной или серной кислоты, и раствор в течение нескольких минут подогревался для восстановления хромовой кислоты до степени оксида или хлорида; если теперь влить его снова в трубку и подвергнуть влиянию магнита, то он оказывается сильно магнитным.

2377. Помнится, уже раньше высказывалось мнение, что хром является магнитным металлом. Так как указанные выше результаты были получены с его чистыми соединениями, то теперь для меня не остается никаких сомнений в том, что дело обстоит именно таким образом.

2378. С в и н е ц. Соединения свинца устанавливаются экваториально и отталкиваются. Испытанию были подвергнуты хлорид, иодид, сульфид, нитрат, сульфат, фосфат, карбонат, плавленный протоксид и ацетат. Небольшое количество тщательно перекристаллизованного нитрата было растворено и затем осаждено чистым цинком; полученный таким образом свинец был промыт разбавленной азотной кислотой для удаления неполных солей. Полученный таким образом свинец оказался свободным от магнетизма, вследствие чего этот металл как сам, так и при посредстве своих соединений попадает в разряд диамагнитных тел.

2379. П л а т и н а. Из образцов этого металла в деле я до сих пор не нашел таких, которые были бы свободны от магнетизма, даже из тех, которые были изготовлены лично м-ром Волластоном и пожертвованы им Королевскому обществу. Образцы чистой платины, полученные от м-ра Джонсона, тоже оказались слабо магнитными.

2380. Фольга и опилки чистой платины были растворены в чистой царской водке, и раствор был выпарен досуха. Как раствор, так и сухой хлорид устанавливались экваториально и отталкивались магнитом. Часть хлорида была растворена, подкислена и осаждена кислым раствором хлорида аммония; хлороплатинат аммония был отмыт и высушен. Он точно так же устанавливался в магните экваториально и отталкивался последним. Часть этого хлороплатината была разложена действием тепла в трубке из флинтгласа и превратилась в губчатую платину, которая, будучи спрессована в плитку, устанавливалась *аксиально* и притягивалась к магнитному полюсу, оказавшись таким образом магнитной.

2381. В настоящее время я полагаю, что платина как металл магнитна, хотя и в очень слабой степени. А в соединениях платины изменения ее состояния и присутствия других веществ, имеющих диамагнитную природу, достаточны для того, чтобы перекрыть указанное ее свойство и сделать все соединение диамагнитным (2422).

2382. П а л л а д и й. Весь находящийся в распоряжении Королевского общества палладий, приготовленный д-ром Волластоном, в общей сложности десять слитков и прокатанных листов, оказался магнитным. Поступившие от м-ра Джонсона образцы этого металла, которые признавались чистыми, оказались тоже слегка магнитными. Хлорид палладия, двойная двуххлористая соль с аммонием и цианид палладия устанавливались экваториально и отталкивались магнитом. Тот же цианид палладия, восстановленный нагреванием в открытом платиновом сосуде или в закрытой стеклянной трубке, дал палладий, обладающий в незначительной степени магнитными свойствами. Некоторое количество Волластонова палладия было растворено в чистой царской водке, и на этот раствор медленно действовали чистым цинком, свободным от железа и не магнитным. Было собрано последовательно пять порций осажденного металла, и все они оказались *магнитными*. На того же раствора с помощью чистого кислого хлорида ам-

мония была приготовлена двойная двухлористая соль аммония и палладия, которая была растворена в царской водке. Соль сама по себе отталкивалась, будучи диамагнитной. Но когда она была восстановлена нагреванием в стеклянной трубке или фарфоровом тигле, то полученный при этом палладий оказался магнитным. На основании результатов всех этих опытов я полагаю, что рассматриваемый металл является слабо, но определенно магнитным.

2383. Мышьяк. Этот металл потребовал совершенно особого исследования, и даже после двух- или трехкратной последовательной вогонки он вел себя таким образом, что иногда я должен был относить его к магнитным, а иногда — к диамагнитным телам. В общем, я склонен думать, что он принадлежит к последней группе веществ, причем он лишь на малую ступень отступает от нулевой или средней точки. Чистый белый мышьяк легко устанавливается в экваториальном направлении и отталкивается магнитным полюсом.

2384. По поводу установки коротких стержней между магнитными полюсами с большими плоскими поверхностями я должен заметить, что такие стержни принимают иногда аксиальное положение и кажутся магнитными, хотя они не принадлежат к этому классу, и отдельным полюсом отталкиваются. Причина этого явления была изложена выше (2298, 2299); ее можно устранить; для этого полюсы, которые служат для опытов, должны иметь клинообразные или конусообразные концы.

2385. Осмий. Осмиевая кислота от м-ра Джонсона в тонких прозрачных кристаллах была явно диамагнитной, так как она отталкивалась. Образцы этого металла и его протоксида были слегка магнитны. Протоксид был получен действием спирта на раствор осмиевой кислоты, которая была дважды перегнана с водой; металл можно было считать совершенно свободным от других веществ. Таким образом, возможно, что осмий принадлежит к разряду магнитных тел.

2386. И р и д и й. М-р Джонсон снабдил меня несколькими предаратами иридия. Оксид, хлорид и двойная хлористая соль с аммонием оказались магнитными; таковым же оказался один образец самого металла. Другой образец его, который казался очень чистым, был вряд ли магнитным. В общем я склонен думать, что иридий не допадает в разряд магнитных тел.

2387. Р о д и й. Хорошо отлитый образец этого металла, изготовленный д-ром Волластоном, оказался магнитным, но кристаллы хлорида и двойной хлористой соли натрия и родия, изготовленные тем же ученым, а равно другие кристаллы, полученные от м-ра Джонсона, оказались немагнитными, и прекрасно устанавливались в экваториальном направлении. Поэтому я считаю, что рассматриваемый металл, по всей вероятности, не магнитен, а если магнитен, то лишь немного отступает от нулевой точки.

2388. У р а н. Пероксид урана оказался немагнитным; протоксид его — очень слабо магнитным. Этот металл я отнес пока к диамагнитному разряду.

2389. В о л ь ф р а м. Был исследован оксид этого металла, а также его кислота; было найдено, что они определенно устанавливаются экваториально. Кислота отчетливо отталкивалась отдельным магнитным полюсом; оксид казался почти нейтральным. Поэтому пока я признаю вольфрам диамагнитным металлом.

2390. С е р е б р о немагнитно (2291); немагнитны и его соединения.

2391. С у р ь м а немагнитна (2291) так же, как и ее соединения.

2392. В и с м у т немагнитен (2291) так же, как его соединения.

Я подверг испытанию большое число соединений каждого из этих трех металлов и считал бы уместным отметить согласие, существующее между данными для этих соединений и их металлических оснований (2370).

2393. Натрий. Прекрасный крупный шарик, объемом в пол кубического дюйма, ясно отталкивался; следовательно, он являлся диамагнитным.

2394. Магний. Ни одно из соединений или солей этого основания не является магнитным.

2395.	Кальций.	Натрий.
	Стронций.	Калий.
	Барий.	Аммоний.

Ни одно из соединений или солей этих веществ не является магнитным.

2396. Таким образом, из свойств соединений, равно как из прямых указаний, касающихся некоторых металлов, по-видимому, следует, что кроме железа, никеля и кобальта магнитными являются также следующие металлы: титан, марганец, церий, хром, палладий, платина. Весьма вероятно, однако, что могут существовать металлы, которые обладают определенными магнитными свойствами, но в столь слабой степени, что подобно платине и палладию они не проявляют в своих соединениях никакого ее следа. Так может обстоять дело с вольфрамом, ураном, родием и др.

2397. Некоторые из диамагнитных металлов я нагрел и доводил даже до точки их плавления, но не мог заметить никакого изменения ни в характере, ни в степени их магнитных свойств.

2398. Возможно, что охлаждение некоторых из тех металлов, соединения которых, подобно соединениям железа, никели и кобальта, являются магнитными, могло бы вызвать в них силу более высокой степени, чем та, какой они обладают по нашим нынешним сведениям. С этой точки зрения очень большой интерес представляют марганец, хром, церий, титан. Осмий, иридий, родий и уран заслуживают того, чтобы подвергнуть их тому же испытанию.

2399. В нижеследующем я делаю попытку расположить некоторые из металлов в ряд с точки зрения их отношения к маг-

нитной силе. При этом предполагается, что  $0^\circ$  или средняя точка представляет собою состояние металла или вещества, безразличного к магнитной силе в смысле их притяжения или отталкивания в воздухе или в пустом пространстве. Чем дальше от этой точки стоит вещество, тем яснее оно проявляет способность притягиваться или отталкиваться магнитом. Тем не менее несма возможно, что при более тщательном исследовании этот порядок окажется неточным:

Д и а м а г н и т н ы е

	Висмут.
	Сурьма.
	Цинк.
	Олово.
	Кадмий.
М а г н и т н ы е	Натрий.
Железо.	Ртуть.
Никель.	Свинец.
Кобальт.	Серебро.
Марганец.	Медь.
Хром.	Золото.
Церий.	Мышьяк.
Титан.	Уран.
Палладий.	Родий.
Платина.	Иридий.
Осмий.	Вольфрам.
	
$0^\circ$	

Г Л А В А VI

*Действие магнитов на воздух и газы*

2400. При экспериментальном исследовании, подобном тому, которое было только что описано, можно было добиться какого-либо успеха только одним способом: руководствоваться какими-нибудь теоретическими предположениями о способе

действия тел, вызывающих эти явления. Когда я бегло разбирался в этих предположениях, наибольший интерес, казалось мне, представляло то, по-видимости, среднее состояние, которое среди магнитных и диамагнитных веществ занимает в е в д у х; это привело меня ко многим опытам над его возможным влиянием; эти опыты я теперь вкратце опишу.

2401. Тонкая трубка из флинтгласа, в которую герметически был заключен обыкновенный воздух, подвешивалась в воздухе между магнитными полюсами (2249), и наблюдалось действие на нее магнитной силы. При этом выявилось некоторое очень слабое стремление трубки занимать экваториальное положение; оно было обязано своим происхождением веществу трубки, в которой был заключен воздух.

4202. После этого воздух вокруг трубки был в большей или меньшей степени удален, а под конец — выкачан до того максимального предела, какого можно было достичь с помощью хорошего воздушного насоса. Но какова бы ни была степень разрежения, наблюдение показывало, что действие, которое испытывала трубка с воздухом, совершенно таково же, как если бы она была окружена воздухом его естественной плотности.

2403. Тогда я окружал трубку последовательно водородом и углекислотой. Однако и в первом и во втором газе, равно как при различных степенях разрежения этих газов, трубка с воздухом оставалась столь же безразличной, как раньше.

2404. Отсюда, по-видимому, следует, что не существует никакой заметной разницы между плотным и разреженным воздухом или, поскольку это можно заключить из настоящих опытов, между одним газом или паром и каким-нибудь другим.

2405. Нельзя было считать совершенно невероятным, что экваториальное и аксиальное положение тел или их отталкивание и притяжение могут быть связаны с противоположными действиями окружающей их среды (2361); поэтому я перешел к изучению того, что может произойти с диамагнитным веществом, если изменить плотность или природу окружающего его

воздуха или газа, и что может случиться с самим воздухом, если его окружить этими веществами.

2406. Трубка с воздухом (2401) подвешивалась горизонтально в воде (под поверхностью воды она удерживалась висмутным кубиком, укрепленным на ней как раз под точкой подвеса, так что он не мог повлиять на ее направление). Затем она подвергалась действию магнитных сил и при этом немедленно устанавливалась явно в аксиальном направлении, т. е. так, как это произошло бы с магнитом. Если она была ближе к какому-нибудь полюсу, то при возникновении магнитной силы она приходила в движение, как если бы она притягивалась наподобие магнитного тела; так это происходило все время, пока оставалась в действии магнитная сила.

2407. Трубка с воздухом подвергалась действию магнитной силы таким же образом, но погружалась при этом в спирт и в терпентинное масло; результаты оказались те же, что и в воде. Во всех этих случаях действие воздуха в жидкостях было в точности таким же, как действие магнитного тела в воздухе. Трубка с воздухом подвергалась действию магнита даже под поверхностью ртути, но и здесь она устанавливалась в аксиальном направлении.

2408. Для того, чтобы расширить экспериментальные данные о воздухе и газах, я стал помещать в них вещества из разряда диамагнитных. Так, внутри сосуда с воздухом был подвешен стержень из тяжелого стекла (2253), а затем воздух около него был более или менее разрежен; однако, как и раньше, при опытах с трубкой, наполненной воздухом (2402), изменения такого рода не производили никакого действия. Все равно, каков был воздух, в котором находился стержень: при обычном давлении, или разрежен до предела, какого можно было достичь с помощью насоса, он всегда устанавливался экваториально и, по-видимому, эта сила все время была одинакова.

2409. Внутри сосуда подвешивался стерженец из висмута (2296), и плотность воздуха подвергалась тем же изменениям,

что и раньше, но это не вызвало никакой перемены в действии на висмут — ни по роду этого действия, ни по его величине. После этого в сосуд вводились последовательно углекислый и водородный газы; они точно так же находились внутри сосуда при различных разрежениях, но результаты оставались прежними: в действии на висмут не произошло никаких изменений.

2410. Кубик из висмута подвешивался в воздухе и в газах при обыкновенном давлении, а также в газах, разреженных до пределов возможного; при этих различных условиях я подводил его к магнитному полюсу и наблюдал его отталкивание. Действие его во всех этих случаях было совершенно таким же, как в воздухе.

2411. Медная палочка (2323) вертикально подвешивалась в *вакууме* ближе к одному магнитному полюсу, но ее положение, замедлительные движения и отвлечение (*revulsion*) оказались совершенно теми же, что и раньше в воздухе (2324).

2412. Трубки (2401) с вакуумом, воздухом, водородом, углекислым газом, сернистым газом и парами эфира были погружены в воду и затем подвергнуты действию магнитной силы. Все они устанавливались в аксиальном направлении и — насколько я мог заметить — с одинаковой силой. Когда они были погружены в спирт, имело место то же явление.

2413. Те же трубки, когда они были окружены воздухом или углекислым газом, все устанавливались в экваториальном направлении.

2414. Аксиальное положение трубок в жидкости (2412) связано, без сомнения, с отношением содержимого трубки к окружающей среде, ибо поскольку установка зависит от плотности трубки, то последнее стремилось бы сообщить ей экваториальное положение. В последовавших опытах (2413), при которых трубки с газами были окружены газами, экваториальное положение вызывалось именно этим действием стекла трубки; а если оно каждый раз вызывает свое слабое действие, остающееся неизменным при всех изменениях газов и паров,

то это доказывает только, насколько последние схожи друг с другом и не представляют различий.

2415. Я подвешивал трубку с жидкой серной кислотой в газообразной серной кислоте. Под действием магнита жидкость сейчас же устанавливалась экваториально. Я окружал жидкую азотную кислоту газообразной азотной кислотой; жидкость отчетливо устанавливалась экваториально. Я помещал жидкий эфир в парах эфира; первый устанавливался экваториально. Когда трубка с парами эфира была подвешена в жидком эфире, то пар устанавливался в аксиальном направлении.

2416. Таким образом, при всех видах испытания и при любой форме опыта газы и пары неизменно занимают положение, среднее между магнитным и диамагнитным разрядами веществ. Далее, каковы бы ни были химические и другие свойства этих веществ, как бы ни был различен их удельный вес и как бы ни изменялась степень их разрежения, все они оказываются одинаковыми по своему отношению к магнетизму и, видимо, не отличаются от совершенного вакуума. Тела с весьма заметными диамагнитными свойствами тотчас же теряют всякие следы этих свойств, как только приходят в газообразное состояние (2415). Было бы чрезвычайно интересно знать, испытало ли бы такое же изменение тело из разряда магнитных, например хлорид железа.

## Г Л А В А VII

### *Общие соображения*

2417. Таковы те факты, которые вместе с фактами, подчеркнутыми из световых явлений, обнаруживают новое для нас магнитное действие или состояние материи. Под этим действием стерженек диамагнитного вещества обычно (2253, 2384) устанавливается перпендикулярно к магнитным силовым линиям; этот результат можно свести к более простому действию отталкивания вещества обоими магнитными полюсами. Указан-

ная ориентация стерженька диамагнитного вещества и отталкивание всей его массы существуют все время, в течение которого поддерживается магнитная сила; они прекращаются с ее прекращением.

2418. Под действием этого нового состояния силы движущееся тело может перемещаться либо *вдоль* магнитных линий, либо *поперек* их, причем оно может двигаться и вдоль и поперек в обоих направлениях. Таким образом, две массы вещества, находящиеся одновременно под действием этой силы, можно заставить приблизиться друг к другу, как если бы они взаимно притягивались, или же разойтись, как если бы они взаимно отталкивались. Все эти явления можно свести к тому, что масса такого вещества, находясь под магнитным действием, стремится двигаться из мест или точек большей силы в места или точки меньшей силы. Когда вещество окружено линиями магнитной силы одинаковой со всех сторон интенсивности, то оно не стремится двигаться и представляет собою тогда явный контраст с линейным током электричества, находящимся в тех же условиях.

2419. Это состояние и явление ново не *только* с точки зрения проявления действия магнита на тела, которые ранее считались безразличными к его влиянию, но *ново* и как магнитное действие, дающее нам другой способ, которым магнитная сила может проявить свое влияние. Эти два способа находятся в том же общем отношении противоположности друг с другом, как положительное и отрицательное в электричестве, как северное и южное в (магнитной) полярности, или как линии электрической и магнитной силы в магнито-электричестве; при этом диамагнитные явления оказываются более важными, так как они широко и в новом направлении распространяют то свойство двойственности, которым, как это было уже до некоторой степени ранее известно, магнитная сила обладает.

2420. Всякое вещество, по-видимому, подвержено действию магнитной силы; это — столь же универсальное явление, как то, что оно подвержено тяготению, силам электрической, хими-

ческой и сцеплению; ибо та материя, которая не подвержена ее влиянию способом обычного магнитного действия, подвержена ему тем способом, который я теперь описал, если только материя находится в это время в твердом или жидком состоянии. Таким образом, вещества рвспадаются, по-видимому, на два больших раздела: на разряд магнитных веществ и на разряд тел, которые я назвал диамагнитными; контраст между этими разрядами оказывается весьма большим и полным, хотя он и варьирует по величине, так что, когда вещество из одного разряда притягивается, то тело из другого разряда отталкивается, и где стержень из вещества одного разряда принимает некоторое определенное направление, там стержень из вещества другого разряда принимает направление, перпендикулярное к первому.

2421. До сих пор я не нашел еще ни одного твердого или жидкого тела, — если это только не смесь, — которое оказалось бы совершенно нейтральным по отношению к приведенным выше двум перечням тел, т. е. которое не притягивалось бы или не отталкивалось бы в воздухе. Для рассмотрения магнитного действия было бы, вероятно, важно знать, существует ли в природе простое вещество, обладающее таким свойством в твердом или жидком состоянии. Среди сложных или смешанных тел их может быть множество; и так как это может оказаться важным для прогресса экспериментального исследования, то я опишу те принципы, на основе которых было изготовлено такое вещество, когда понадобилось иметь его в качестве окружающей среды.

2422. Очевидно, что свойство магнитных и диамагнитных тел в отношении их динамических действий противоположны друг другу, и, стало быть, при надлежащем смешении тел из этих двух разрядов можно получить вещество, обладающее промежуточной степенью свойств каждого из них. Протосульфат железа принадлежит к магнитному разряду, а вода — к диамагнитному. Пользуясь этими веществами, я легко изготовил раствор, который, находясь в воздухе, не притяги-

вался и не отталкивался и не принимал определенного направления. Будучи окружен водою, этого растаор устанавливался по оси. Когда его несколько ослабляли в смысле содержания железа, то он в воде располагался в аксиальном направлении, а в воздухе — в экваториальном. Его можно было переводить все дальше в магнитный или в диамагнитный класс, прибавляя железный купорос или воду.

2423. Таким образом, была получена *жидкая* среда, которая практически, поскольку я это мог заметить, обладала всеми магнитными свойствами и действиями газа или даже вакуума; а так как у нас имеется как магнитное, так и диамагнитное стекло (2354), то, очевидно, можно изготовить *твердое* вещество, которое обладало бы такими же нейтральными магнитными свойствами.

2424. При нынешнем несовершенном состоянии нашего знания попытка составить общий список веществ была бы весьма преждевременной. Поэтому нижеприведенный список дан только для того, чтобы составить себе представление о своеобразном порядке, в каком тела располагаются по отношению к магнитной силе, а также для того, чтобы быть некоторой общей основой в дальнейшем:

Железо.	Эфир.
Никель.	Спирт.
Кобальт.	Золото.
Марганец.	Вода.
Палладий.	Груть.
Кронглас.	Флинтглас.
Платина.	Олово.
Осмий.	Тяжелое стекло.
Воздух при 0°	Сурьма.
и вакуум.	Фосфор.
Мышьяк.	Висмут.

2425. Весьма интересно заметить, что веществами, стоящими на концах этого списка, являются металлы, так что среди по-

следних находятся тела, наиболее сильно отличающиеся друг от друга по своим магнитным свойствам. Весьма достопримечательным является и то обстоятельство, что эти различия и отступления от среднего состояния имеют место в двух крайних металлах, железе и висмуте, совмещаясь с малой электропроводностью их обоих. В то же время, когда обдумываешь возможное состояние их молекул при действии на них магнитной силы, приходит в голову *контраст* между этими металлами в отношении их волокнистого и зернистого состояния, их ковкости и хрупкости.

2426. Раз высказывалось мнение, что все тела магнитны, подобно железу, то желательно, чтобы возражение на это мнение [поскольку дело касается металлов и других диамагнитных тел (2286), не принадлежащих к классу металлов] не сводилось к простому отрицанию такого утверждения и чтобы при этом были приведены доказательства того, что эти тела находятся в другом, прямо противоположном, состоянии и способны оказать противодействие значительной магнитной силе (2448).

2427. Как уже было указано, действие магнитной силы на тела магнитного и диамагнитного класса резко различно: когда она вызывает притяжение одних, она производит отталкивание других; и хотим мы или не хотим, мы вынуждены как-то сводить явление к влиянию на молекулы или на массы подвергнутых действию вещества; это влияние должно приводить их при этом в различные состояния и соответственно различно на них действовать. С этой точки зрения является весьма поразительным сопоставление настоящих результатов с теми, которые были получены нами с помощью поляризованного луча, в особенности потому, что при этом выявляется и замечательное различие между ними. Действительно, если взять прозрачные тела из обоих классов, например тяжелое стекло или воду из диамагнитного класса и кусок зеленого стекла или раствор зеленого купороса из магнитного класса, то данная магнитная силовая линия вызовет отталкивание одного из них и притяжение другого. Но та же силовая линия, которая столь различно дейст-

вует на частицы, действует на проходящий через них поляризованный луч в обоих случаях совершенно одинаково, ибо оба эти тела вызывают вращение луча в *одном и том же* направлении (2160, 2199, 2224).

2428. Это соображение становится еще более важным, если связать его с диамагнитными и оптическими свойствами тел, вращающих поляризованный луч. Так, раствор железа и кусок кварца, обладающие способностью вращать луч, устанавливаются под влиянием *одной и той же* магнитной силовой линии — один аксиально, а другой экваториально; вращение же, вызываемое в лучах света этими двумя телами, если они находятся под влиянием одной и той же магнитной силы, оказывается у них *обоих одинаковым*. Далее, это вращение совершенно независимо и совершенно отлично от вращения кварца в наиболее важном пункте. В самом деле, кварц сам по себе способен вращать луч только в одном направлении, но под влиянием магнитной силы он может вращать его как вправо, так и влево, в соответствии с ходом луча (2231, 2232). Далее, если взять два куска кварца (или две трубки с терпентинным маслом), которые способны вращать луч в *различных* направлениях, то добавочная вращательная сила, обнаруживаемая ими, когда они находятся под действием магнетизма, имеет всегда *одно и то же* направление, и это направление можно сделать правым или левым в обоих кристаллах кварца. В то же время *контраст* между кварцем, как диамагнитным телом, и раствором железа, как магнитным телом, остается неизменным. У меня не выходят из головы некоторые основанные на указанных выше контрастах соображения о природе луча; если у меня найдется время подвергнуть их дальнейшему опытному исследованию, то и надеюсь представить их Обществу.

2429. Теоретически движения диамагнитных тел и все динамические явления, вытекающие из действий на них магнитов, можно объяснить, если допустить, что состояние, которое вызывает в них магнитная индукция, противоположно тому, какое она вызывает в магнитных телах; т. е. если в магнитном поле

поместить по частице вещества того и другого рода, то обе они станут магнитными и в каждой из них ось будет параллельна проходящей через нее равнодействующей магнитной силы; но у частиц магнитного вещества положение, которое займут северный и южный полюсы, будет противоположно полюсам индуцирующего магнита, т. е. они будут обращены к его противоположным полюсам; у диамагнитных частиц, наоборот, будет иметь место противоположное явление. Отсюда в одном веществе получится приближение, в другом удаление.

2430. С точки зрения теории Ампера это представление эквивалентно следующему допущению: в железе и в магнитных веществах возбуждаются токи, параллельные токам в индуцирующем магните или в батарейном проводе; наоборот, токи, индуцируемые в висмуте, тяжелом стекле и (вообще) в диамагнитных телах, имеют противоположное направление. Это значит, что в диамагнитных телах токи имеют то же направление, какое имеют токи, индуцируемые в диамагнитных проводниках при *возникновении* индуцирующего тока, а в магнитных телах — то же направление, какое имеют токи, возникающие при *прекращении* того же индуцирующего тока. При этом не возникает никаких затруднений в отношении непроводящих магнитных и диамагнитных тел, так как гипотетические токи, согласно предположению, проходят не в массе, а вокруг частиц материи.

2431. Если опыт до сих пор и приводит к такому воззрению, то мы должны, с другой стороны, отметить, что известные нам индукционные действия на *массы* магнитных и диамагнитных металлов *тождественны*. Если прямолинейный железный стержень переносить поперек магнитных силовых линий или же если держать этот стержень или катушку из железных стержней или из проволоки вблизи магнита, когда сила последнего возрастает, то возбуждаются электрические токи, которые проходят по стержням или по катушке в некоторых определенных направлениях (38, 114 и др.). Если при тех же обстоятельствах стержень или катушка, взятые для опыта, будут из висмута, то индуцируются токи и теперь — в том же самом направлении,

что и в железе; здесь, значит, не получается никакого различия в направлении индуцируемого тока; не очень большое различие наблюдается и в его силе; во всяком случае, оно не больше, чем различие между током, индуцируемым в одном из этих двух металлов и в каком-либо металле, взятом вблизи нейтральной точки (2399). Но между условиями этого опыта и тем, что, по гипотезе, происходит в случае намагничения, остается то различие, что при первом индукция обнаруживается с помощью токов в массах, а при последнем, т. е. при особых магнитных и диамагнитных действиях, токи, если они существуют, идут, по всей вероятности, вокруг частиц материи.

2432. Чрезвычайно интересно отношение к магнетизму газообразных тел. Кислород или азот занимают промежуточное положение между магнитным и диамагнитным классами; они занимают такое место, какого не может занять ни один твердый или жидкий элемент; они не обнаруживают никакого изменения при разрежении до возможного предела, даже когда занимаемое ими пространство переходит в вакуум; в магнитном отношении они тождественны со всяким другим газом или паром; они занимают место не в конце, а в самой середине большого ряда тел, и все газы и пары, от наиболее разреженного состояния водорода и до наиболее сгущенного состояния углекислоты, серной кислоты или паров эфира, одинаковы; все эти обстоятельства, конечно, поразительны, и сразу создается уверенность в том, что воздух должен играть большую и, быть может, активную роль в физическом и земном расположении магнитных сил.

2433. Я когда-то думал, что воздух и газы, как тела, допускающие утоньшение их вещества без прибавления чего-либо другого, дадут возможность наблюдать соответствующие изменения в их магнитных свойствах; но теперь, по-видимому, всякая возможность добиться этого путем разрежения отпадает; и хотя легко приготовить жидкую среду, которая будет действовать на другие тела подобно воздуху (2422), она все же не будет

находиться в совершенно таком же отношении к этим телам: она не допускает разбавления, так как прибавление к ней воды или другого подобного вещества приводит к повышению диамагнитной способности этой жидкости; а если бы было возможно превратить ее в пар и таким образом разделить с помощью теплоты, то она перешла бы в класс газов и ее нельзя было бы в магнитном отношении отличить от прочих газов.

2434. Чрезвычайно интересно также наблюдать видимое исчезновение магнитного состояния и действия, когда тела приходят в парообразное или газообразное состояние, и сопоставить его одновременно с аналогичным отношением их к свету; ибо до сих пор не удалось добиться того, чтобы какой-либо газ или пар обнаружил магнитное влияние на поляризованный луч, если даже пустить в дело такие силы, которых было бы более чем достаточно для того, чтобы свободно обнаружить подобное действие в жидких и твердых телах.

2435. Связаны ли отрицательные результаты, получаемые при пользовании газами и парами, с меньшим количеством вещества в данном объеме, или же они являются прямым следствием изменившегося физического состояния материи, этот вопрос имеет весьма большое значение в теории магнетизма. Для освещения этого вопроса я задумал опыт с одной из трубок г-на Каньяр де ла Тура с эфиром, но ожидаю встретить большие затруднения при его осуществлении, главным образом в связи с той прочностью и, стало быть, с массой трубки, которая необходима для предотвращения расширения заключенного в ней нагретого эфира.

2436. Замечательное свойство воздуха и его отношение к телам, взятым из магнитного и диамагнитного классов, приводит к тому, что он устанавливается экваториально в первых и аксиально во вторых. А если мы ищем у опыта ответа в виде притяжения или отталкивания, то воздух движется таким образом, как если бы в магнитной среде он отталкивался, а в среде из диамагнитного класса притягивался. Отсюда создается впечатление, как будто воздух является магнитным по сравнению

с диамагнитными телами, но принадлежит к последнему классу по сравнению с магнитными телами.

2437. Я полагал, что этот результат можно объяснить, если сделать допущение, что висмут и родственные ему вещества безусловно отталкиваются магнитными полюсами, и что если в данном явлении не участвует никаких других тел, помимо магнита и висмута, то последний равным образом отталкивается. Я предполагаю, далее, что притяжение железа и сходных с ним веществ также является непосредственным результатом взаимодействия между ними и магнитом. Наконец, я допускал, что эти действия удовлетворительно объясняют как аксиальное, так и экваториальное расположение воздуха, а также видимое его притяжение и отталкивание. Я считал, что в этих случаях действие вызывается переходом воздуха в то место, которое стремится оставить магнитные и диамагнитные тела.

2438. Но явления с воздухом в этих опытах совершенно тождественны с теми явлениями, которые получаются с растворами железа различной крепости (2365), а здесь все тела принадлежат к магнитному классу, и явление вызывается, очевидно, большей или меньшей величиной магнитной силы у растворов. Если слабый раствор в более сильном устанавливается, подобно диамагнитному телу, экваториально и если он отталкивается, то не потому, что он не стремится, благодаря притяжению, к аксиальному положению, а потому, что стремится к этому положению с меньшей силой, чем окружающее его вещество. Таким образом, встает вопрос, почему отталкиваются и стремятся к экваториальному положению диамагнитные тела, находясь в воздухе: не вследствие ли того, что воздух является более магнитным, чем они, и стремится занять аксиальное пространство? Легко понять, что если все тела магнитны в различной степени и образуют единый большой ряд от одного конца до другого, с воздухом по середине этого ряда, то явления должны протекать именно так, как они протекают на самом деле. Любое тело из средней части ряда будет устанавливаться экваториально в телах, находящихся ниже его. Ибо если вещество

подобно висмуту переходит из точки сильного действия в точку слабого действия, то оно может это делать только потому, что вещество, находящееся уже в месте слабого действия, стремится перейти в то место, где действие сильно, совершенно так же, как при электрической индукции тела, обладающие наибольшей способностью проводить силу, увлекаются в кратчайшую линию действия. Таким же образом воздух в воде или даже под ртутью увлекается — или кажется увлекающимся — по направлению к магнитному полюсу.

2439. Но если это воззрение правильно, и воздух действительно обладает среди других тел такой силой, что занимает место посередине между ними, то можно было бы ожидать, что разрежение воздуха повлияет на его место и сделает его, быть может, более диамагнитным или во всяком случае изменит его положение в списке тел. Если бы это было так, то тела, занимающие в воздухе экваториальное положение при некоторой его плотности, должны были бы с изменением его плотности изменять свое положение и в конце концов установиться аксиально. Но этого они не делают; и когда мы сравниваем разреженный воздух с телом магнитного или диамагнитного класса или даже со сгущенным воздухом, все равно он остается на своем месте.

2440. При подобном воззрении должно было быть магнитным и чистое пространство, и притом — в такой же степени, как воздух и газы. Хотя весьма возможно, что пустота, воздух и газы вообще относятся к магнитной силе одинаково, но предположение, что все они являются абсолютно магнитными и находятся посередине ряда тел, кажется мне большим добавочным допущением: ведь возможно также предположить, что они находятся в нормальном или нулевом состоянии. Поэтому в настоящее время я склоняюсь к последнему воззрению и, стало быть, к тому мнению, что диамагнитные тела обладают особым действием, прямо противоположным обычному магнитному действию, и что таким образом они представляют нам новое для нашего познания магнитное свойство.

2441. Размер этой силы в диамагнитных телах, если его оценивать по динамическому действию, кажется очень малым, но движение, которое она способна производить, является, быть может, не самой показательной мерой ее силы. Весьма вероятно, что когда мы ближе ознакомимся с ее природой, то мы узнаем и о других вызываемых ею явлениях, овладеем новыми указателями и мерами ее мощности, вместо тех столь несовершенных способов, которые публикуются в настоящем докладе; может статься, что для ее выявления и для показа ее действий будут даже служить явления каких-нибудь новых видов. В самом деле, разве не удивительно бывает наблюдать, как слаба катушка, когда она действует одна, и какую поразительную силу она обнаруживает и воспринимает, если соединить ее с куском мягкого железа. Так вот и здесь мы можем надеяться обнаружить какой-нибудь новый способ выявления рассматриваемого элемента силы, столь новой до сих пор для нашего опыта. Нельзя даже на мгновение допустить, что хотя она и сообщена телам природы, она является излишней или недостаточной, или ненужной. Нет сомнения в том, что она имеет свое назначение, и притом такое, которое связано со всей массой земного шара; и, может быть, именно благодаря ее связи со всей Землей величина ее в тех порциях вещества, с которыми мы имеем дело и над которыми мы производим опыты, по необходимости (так сказать) столь незначительна. Но как бы ни была мала эта сила, насколько огромнее она, даже в динамических своих проявлениях, чем, например, мощная сила тяготения, связывающая воедино весь мир, когда она обнаруживается в массах материи одинаковой величины!

2442. В полной уверенности, что в дальнейшем значение этой силы в природе выявится и что, подобно действиям других естественных сил, ее действия окажутся не только важными, но и существенными, я позволю себе сделать несколько беглых замечаний.

2443. Когда вещество подвергается действию магнитных сил, оно со своей стороны не может не принять участия в явле-

нии и не оказать в свою очередь должную долю влияния на магнитную силу. Достаточно только взглянуть, чтобы убедиться в том, что когда магнит действует на кусок мягкого железа, то железо со своей стороны, благодаря тому состоянию, которое поспринимают его частицы, передает силу отдаленным точкам, сообщает ей направление и сосредоточивает ее самым удивительным образом. Таким образом, и здесь состояние, в которое приходят частицы промежуточных диамагнитных веществ, может оказаться именно тем состоянием, которое передает силу и вызывает перенос ее через эти вещества. В прежних работах (1161 и др.)<sup>1</sup> я предложил теорию электрической индукции, основанную на действии смежных частиц, которой в настоящее время я даже более удовлетворен, чем в то время, когда я ее высказал; там я рискнул предположить, что, возможно, боковое действие электрических токов, которое эквивалентно электродинамическому или *магнитному* действию, тоже передается аналогичным образом (1663, 1710, 1729, 1735). В то время я еще не открывал какого-либо особого состояния промежуточной или диамагнитной материи; но теперь мы научились распознавать такого рода действие, и оно оказалось столь *сложим* по своей природе в столь *несложим* по природе телах и благодаря этому столь *сложим* по своим свойствам с магнетизмом по способу, каким оно проникает в тела всех видов; оно присутствует всюду и в этом смысле является универсальным, и столь же универсально оно по своему действию; теперь доказано, что диамагнитные тела не являются безразличными телами. И вот я с еще большей уверенностью повторяю это предположение и задаю вопрос: не происходит ли передача магнитной силы посредством действия смежных или следующих непосредственно друг за другом частиц? И то особое состояние, которое приобретает диамагнитными телами, когда они находятся под действием магнитных сил, — не есть ли это то состояние, посредством которого осуществляется такое распространение силы?

---

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1838, часть I.

2444. Какого бы воззрения мы ни придерживались на твердые и жидкие тела, будем ли мы считать, что они образуют два класса или же один большой магнитный класс (2424, 2437), это, насколько я понимаю, не изменяет данного вопроса. Все они подчиняются влиянию проходящих через них магнитных силовых линий, и возможное различие в свойствах и характере между двумя какими-нибудь веществами, взятыми из различных мест перечня (2424), остается неизменным, ибо их взаимные действия управляются разностным отношением между этими двумя веществами.

2445. Некоторую трудность для понимания представляет группа, в которую входят воздух, газы, пары и даже вакуум; но здесь имеет место чудесное изменение физического строения тел, и последние в некоторых отношениях сохраняют высокую силу; в то же время другие силы у них, по-видимому, исчезают; поэтому мы можем с достаточным правом ожидать, что они приходят в некоторое особое состояние в отношении столь универсальной силы, как магнетизм. Электрическая индукция, являющаяся действием на расстоянии, в твердых и жидких телах значительно изменяется, но когда она проявляется в воздухе и в газах, где она наиболее заметна, то во всех них она по своей величине одинакова (1292); она не изменяется по своей величине, как бы воздух ни был разрежен или сгущен (1284). Но магнитное действие можно рассматривать как простую функцию электрической силы, и меня несколько не удивило бы, если бы оказалось, что магнитное действие соответствует электрической силе в ее особом отношении к воздуху, газам и пр.

2446. Относительно способа, каким электрическая сила, статическая или динамическая, может переноситься от частицы к частице, когда они отделены друг от друга известным расстоянием, или через вакуум, я не имею ничего прибавить к тому, что сказал ранее (1614 и сл.). Допущение, что подобный перенос возможен, не может представлять собою ничего поразительного для тех, кто старался подвести излучение и теплопроводность под единый принцип действия.

2447. Положим, что мы рассматриваем магнитные свойства Земли в целом, не принимая во внимание ее возможного отношения к Солнцу. Представим себе огромное количество диамагнитного вещества, образующего, как мы знаем, ее кору; вспомним, что через эти вещества проходят магнитные кривые определенной мощности и распространенные повсюду; что они поддерживают их постоянно в том состоянии напряжения и, стало быть, действия, которое, надеюсь, мне удалось раскрыть. Тогда мы не можем усумниться в том, что этим для системы и для нас, ее обитателей, достигается некая великая полезная цель, и я буду иметь удовольствие попытаться ее выявить.

2448. Среди веществ, составляющих земную кору, подавляющая часть приходится на долю веществ диамагнитного класса; и хотя вещества, содержащие железо, а также другие магнитные вещества, обладающие более энергичным действием, и по тому самому более поражают нас проявлениями, тем не менее с нашей стороны было бы слишком поспешно заключить отсюда, что они полностью пересиливают действие первых тел. Что касается океанов, озер, рек и атмосферы, то они оказывают свое особое действие, почти не испытывая на себе влияния со стороны какого-либо заключающегося в них магнитного вещества, а что касается скал и гор, то их диамагнитное влияние, может быть, больше, чем можно было бы предположить. Я упоминал, что, подобрав смесь воды с солью железа, я получил раствор, который в воздухе оказался неактивным (2422). Это значит, что при надлежащем сочетании сил веществ, взятых из обоих классов, т. е. воды и соли железа, магнитная сила последней была уравновешена магнитной силой первой, и их смесь не притягивалась и не отталкивалась. Для того, чтобы добиться такого результата, потребовалось к 10 кубическим дюймам воды прибавить более 48.6 гран кристаллического протосульфата железа (так как при этой пропорции раствор все еще устанавливался экваториально), т. е. столь большое количество, что я был весьма изумлен, когда увидел, что вода может его преодолеть. Поэтому вполне

вероятно, что многие из масс, образующих кору нашего земного шара, обладают избытком диамагнитных свойств и действуют соответственно.

2449. Хотя общее расположение магнитных кривых, пронизывающих и окружающих наш земной шар, весьма напоминает их расположение у очень короткого магнита и потому дает силовые линии, которые вообще быстро расходятся, однако большие размеры этой системы лишают нас возможности заметить какое-либо уменьшение их силы на небольших протяжениях, так что всякая попытка наблюдать на поверхности земли стремление материя переместиться из более сильных мест действия в более слабые оказалась бы, вероятно, неудачной. Однако теоретически на первый взгляд мне представляется, что фунт висмута или воды, взвешенный на экваторе, где магнитная стрелка не дает наклона, должен показать меньший вес, если его перенести в широты, где наклонение значительно; наоборот, фунт железа, никеля или кобальта должен при том же изменении условий показать больший вес. Если бы в действительности это оказалось так, то, если на концы чувствительного коромысла весов подвесить два шара, железный и висмутный, то коромысло показало бы различный наклон в различных местах земной поверхности, и представляется не вполне исключенной возможность того, чтобы на этом начале был устроен прибор для измерения одного из свойств земной магнитной силы.

2450. Если мысленно представить себе действие всей системы кривых на очень большие массы, и эти массы имели бы пластинчатую или кольцеобразную форму, то, по аналогии с магнитным полем, они устанавливались бы экваториально. Если бы Сатурн был, подобно Земле, магнитом и если бы его кольцо состояло из диамагнитных веществ, то магнитные силы стремились бы придать кольцу то положение, которое оно занимает на самом деле.

2451. Любопытно наблюдать, как кусок дерева, мяса или яблоко, или бутылка с водой, отталкиваются магнитом, или,

если взять лист с дерева и подвесить его между полюсами магнита, наблюдать, как он принимает экваториальное положение. Происходят ли подобные явления в природе среди мириадов видов, которые во всех местах земной поверхности окружены воздухом и находятся под действием линий магнитной силы, это вопрос, на который ответ можно дать лишь в результате будущих наблюдений.

2452. Мы ничего не знаем о внутренности Земли, но имеется много оснований полагать, что она находится при высокой температуре. Исходя из этого предположения, я недавно указал, что на некотором расстоянии под поверхностью магнитные вещества должны быть совершенно лишены способности сохранять магнетизм или намагничиваться индукцией от токов в земной коре или от других причин.<sup>1</sup> Это, очевидно, ошибка. Что железо и другие сами по себе не могут сохранить магнитное состояние, это, вероятно, правильно, но что магнитные металлы и все их соединения сохраняют некоторую способность становиться магнитными под влиянием индукции, при какой бы температуре они ни находились, это теперь доказано (2344 и сл.). Таким образом, хотя массы, залегающие глубоко в Земле, сами по себе, вероятно, не образуют центрального магнита, они находятся как раз в таком состоянии, что по отношению к окружающим токам и другим индуцирующим действиям они ведут себя как очень слабый железный сердечник и, весьма вероятно, представляют в этом отношении большой интерес. Каким будет действие диамагнитной части под влиянием подобных индуцирующих сил, этого мы не в состоянии еще сказать, но поскольку можно судить по моим наблюдениям, свойства этих тел не испытывают ослабления под влиянием теплоты (2397).

2453. Если Солнце имеет какое-нибудь отношение к магнетизму земного шара, то возможно, что часть действия магне-

---

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1845, XXVII, стр. 3. [Настоящий том, стр. 615].

тизма обязана происхождением влиянию света, приходящего к нам от солнца. С этой последней точки зрения кажется, что воздух расположен вокруг Земли наиболее поразительным образом, облекая последнюю прозрачным диамагнитным веществом, которое таким образом оказывается проницаемо для солнечных лучей и в то же время с большой скоростью движется поперек этих лучей. Эти условия позволяют, по-видимому, предположить, что при этом возможно возбуждение магнетизма. Но я лучше воздержусь от изложения подобных туманных мыслей (хотя они не выходят у меня из головы) и подвергну их сначала строгому экспериментальному исследованию и уже затем, если окажется, что они того заслуживают, доложу их Королевскому обществу.

*Королевский институт.*

*22 декабря 1845 г.*

2 февр. 1846. Прилагаю к настоящим Исследованиям нижеследующие примечания и указания:

Бругманс первый наблюдал отталкивание висмута магнитом в 1778 г.: Antonii Brugmans Magnetismus seu de affinitatibus magneticis observationes magneticae. Lugd. Batav. 1778, § 41.

Г-н де Байи об отталкивании магнита висмутом и сурьмой, Bulletin Universel, 1827, VII, стр. 371; VIII, стр. 87, 91, 94.

Сэней (Saigey) о магнетизме некоторых естественных соединений железа и о взаимном отталкивании тел вообще. Там же, 1828, IX, стр. 89, 167, 239.

Зеебек (Seebeck) о магнитной полярности различных металлов, сплавов и окисей. Там же, 1828, IX, стр. 175.

# ДВАДЦАТЬ ВТОРАЯ СЕРИЯ <sup>1</sup>

*Раздел 28. О кристаллической полярности висмута и других тел и ее отношении к магнитной форме силы.* Глава I. Кристаллическая полярность висмута. Глава II. Кристаллическая полярность сурьмы. Глава III. Кристаллическая полярность мышьяка. Глава IV. Кристаллическое состояние различных тел. Глава V. Природа магнекристаллической силы и общие сообщения. Глава VI. О положении кристалла сульфата железа в магнитном поле.

Поступило 4 октября. Доложено 7 декабря 1848 г.

## РАЗДЕЛ 28

### О кристаллической полярности висмута и других тел и ее отношении к магнитной форме силы

2454. Уже неоднократно меня смущали многие результаты, которые я получал, подвергая висмут действию магнита, и я либо довольствовался несовершенным их объяснением, либо откладывал их до будущего исследования. Это именно исследование я теперь предпринял, и оно привело меня к нижеследующим открытиям. Я не могу, однако, начать изложение этого вопроса лучше, чем кратким описанием тех аномалий, которые мне встретились и которые легко наблюдать вновь когда угодно.

2455. Возьмем узкую открытую стеклянную трубку с выдутым в средней ее части шариком, поместим в этом шарике некоторое количество хорошо очищенного висмута и распла-

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1849, стр. 1. Чтение памяти Бэкера.

вим его на спиртовой лампе; если тогда перевести этот металл в трубчатую часть прибора, то легко отлить его в виде длинных цилиндров. Последние оказываются очень чистыми и при изломе имеют кристаллический вид; плоскости кливажа обычно идут в поперечном направлении. Я изготовляю их диаметром от 0.05 до 0.1 дюйма, и если стекло тонкое, то я обычно отламываю его вместе с висмутом и получаю таким образом небольшие цилиндры в стеклянной оболочке.

2456. Я брал наудачу несколько этих цилиндров и подвешивал их между полюсами электромагнита (2247); при этом они обнаруживали следующие явления. Первый из них устанавливался аксиально; второй — экваториально; третий — экваториально при одном положении и под углом к экватору, если его повернуть около его оси на 50 или 60°; четвертый, при тех же условиях, экваториально и аксиально. А когда они были подвешены вертикально, то каждый принимал определенное положение и колебался около определенного конечного положения; последнее, по-видимому, несколько не было связано с формой цилиндров. Во всех этих случаях висмут был сильно диамагнитным (2295 и др.); он отталкивался от отдельного магнитного полюса, а когда я ставил его между двумя полюсами, он отклонялся в ту или другую сторону от аксиальной линии. На подобный же кусок мелкозернистого (зерненого) висмута, при тех же обстоятельствах и в то же самое время, магнит действовал совершенно правильным образом: цилиндр принимал экваториальное положение (2253), как это должно быть с обыкновенным диамагнитным телом. Причина вышеуказанных отступлений в конце концов была найдена в правильном кристаллическом строении металлических цилиндров.

## Г Л А В А I

### *Кристаллическая полярность висмута*

2457. Некоторое количество висмута было кристаллизовано обычным образом, а именно, висмут расплавлялся в чистой железной ложке, после чего ему была предоставлена возмож-

ность частью затвердеть; затем жидкая внутренняя часть его была вылита. Полученные таким образом куски были затем разбиты с помощью медного молотка и медного долота; были отобраны группы кристаллов, которые имели симметрическое строение и относительно которых можно было поэтому думать, что они будут, вероятно, действовать в одном направлении. Если какая-либо часть куска находилась в соприкосновении с железной ложкой, то она подвергалась очистке посредством оселка или шкурки. Указанным путем были легко получены куски весом от 18 до 100 гранов.

2458. Для первых опытов был взят описанный выше (2247) электромагнит со съёмными концами, благодаря чему он мог иметь конические, круглые или плоские полюсы. Для того, чтобы подвешивание висмута было легко произвести и не возбуждало подозрений со стороны магнитного влияния, обычно служило следующее приспособление. Отдельное шелковое волокно длиной от 12 до 24 дюймов было наверху привязано к удобному выступу, а внизу прочно прикреплено к концу куска тонкой прямой хорошо очищенной медной проволоки длиной около 2 дюймов. Нижний конец этой проволоки был свернут в виде маленькой шляпки, и на нее посажен шарик из замазки; замазка готовилась из чистого белого воска, который сплавлялся с канадским бальзамом (примерно четвертая часть веса воска). Эта замазка была достаточно мягка, чтобы пристать к любому сухому телу, если ее к нему прижать, но достаточно тверда, чтобы держать грузы до 300 гранов и даже больше. После изготовления этот подвес один был подвергнут действию магнита с тем, чтобы удостовериться, что он сам по себе не проявляет никакого стремления принять какое-либо определенное положение и не испытывает никакого влияния. Без этой предосторожности нельзя было бы отнестись с доверием к результатам этих опытов.

2459. Кусок отобранного висмута (2457) весом в 25 гран подвешивался между полюсами магнита; он двигался там весьма свободно. Образующие его нубики соединялись друг

с другом обычным образом — преимущественно по линии, соединяющей два противоположных телесных его угла, и эта линия проходила по наибольшей длине куска. Как только возникала магнитная сила, висмут начинал сильно колебаться около определенной линии, на которой в конце концов и останавливался; а когда его выводили из этого положения, то, будучи отпущен, он к нему возвращался; он устанавливался в этом положении со значительной силой; его наибольшая длина направлялась *аксиально*.

2460. После этого был выбран другой кусок, имевший более плоскую форму; будучи подвергнут действию магнитной силы, он принимал определенную установку с той же легкостью и силой, причем наибольшая длина его располагалась экваториально; но линия, по которой кубики стремились соединиться диаметрально, шла, как и раньше, по *аксиальному* направлению. Затем брались другие куски различных форм, или же им придавалась различная форма шлифовкой на камне; все они принимали ясно выраженное положение, но их конечное положение не имело никакой связи с их формой и было явно связано с кристаллическим строением вещества.

2461. Во всех этих случаях висмут был диамагнитен и сильно отталкивался от обоих полюсов или от *аксиальной* линии. Действие наблюдалось только в то время, когда присутствовала магнитная сила. Он устанавливался в некотором постоянном и вполне определенном положении; будучи из него выведен, он всегда возвращался к нему; только когда размах движения превышал  $90^\circ$ , кусок висмута продолжал свое круговое движение и занимал новое положение, диаметрально противоположное первому; его он сохранял с такой же силой и таким же образом. Это явление оказывается общим для всех тех опытов, о которых я имею доложить; я обозначу его термином «диаметральный»: диаметрально установка или положение.

2462. Указанное явление имеет место и при одном магнитном полюсе; в этом случае бывает удивительно наблюдать,

как удлиненный кусок столь диамагнитного вещества, каким является висмут, отталкивается и тем не менее одновременно с силой поворачивается в аксиальное положение, т. е. концом к полюсу, как это было бы с куском магнитного вещества.

2463. Безразлично, какой вид имеют магнитные полюсы (2458), которыми мы пользуемся: остроконечный, закругленный или плоский: действие их на висмут оказывается все же одинаковым. Тем не менее форма полюсов оказывает значительное влияние второстепенного характера, и некоторые формы полюсов удобнее для этих исследований, чем другие. Когда полюсы имеют остроконечную форму, то магнитные силовые линии (2149) быстро расходятся, и интенсивность силы с приближением к середине расстояния между полюсами уменьшается. Когда же форма полюсов плоская, то хотя силовые линии искривляются и изменяются по своей интенсивности у краев плоских поверхностей и по направлению к последним, но посередине магнитного поля существует пространство, где их можно считать параллельными магнитной оси и всюду одинаковыми по силе. Если плоские поверхности имеют квадратную или круговую форму и расстояние между ними составляет примерно треть их диаметра, то пространство, в котором сила однородна, имеет значительное протяжение. При моих опытах центральная или аксиальная часть магнитного поля заметно слабее, чем прилегающие части, но дело в том, что посередине каждой полюсной поверхности имеется небольшое завинтованное отверстие, служащее для прикрепления полюсных наконечников других видов.

2464. Итак, закон действия висмута, как *диамагнитного* тела, заключается в том, что висмут стремится перейти из мест большей магнитной силы в места меньшей силы (2267, 2418), но как *магнекристаллическое* тело он никакого подобного действия не испытывает, и линии равной силы действуют на него так же сильно, как и всякие другие. И вот, когда кусок аморфного висмута подвешен в магнитном поле однородной силы, кажется, что он совершенно утратил свою диамагнитную

силу и не стремится приходить в какое-либо движение, помимо того, которое вызывается кручением подвесной нити или воздушными течениями; но кусок правильно кристаллизованного висмута при тех же условиях испытывает очень сильное воздействие благодаря своим магнекристаллическим свойствам.

2465. Отсюда — большая ценность магнитного поля однородной силы; и если впоследствии настоящие исследования будут распространены на тела с очень малой величиной кристаллических свойств и для них потребуется иметь совершенно однородное поле, то его легко будет создать, для чего нужно будет сообщить поверхности полюса несколько выпуклую форму и более или менее закруглить ее на краях. Требуемую форму можно будет определить вычислением или, быть может, еще лучше опытом с помощью пробного цилиндрика из висмута в зернистом или аморфном состоянии, либо из фосфора.

2466. В дополнение к настоящим соображениям можно заметить, что небольшие кристаллы и кристаллические массы, близкие по общему своему виду к кубической или шарообразной форме, будут лучше, чем большие и удлиненные куски; если в силе магнитного поля будут иметься некоторые неправильности, то такие куски будут, по всей вероятности, меньше чувствовать их влияние.

2467. Когда кристалл висмута находится в магнитном поле одинаковой интенсивности, то он испытывает на себе одинаковое действие, независимо от того, где он находится: посередине поля или же ближе к тому или другому полюсу; т. е. число его колебаний в равные промежутки времени остается, по-видимому, одинаковым. Однако при оценке его подобными средствами требуется большая осторожность, так как в экваториальном направлении имеются два положения неустойчивого равновесия, и колебания по большим дугам происходят гораздо медленнее, чем по малым дугам; между тем трудно добиться того, чтобы размах колебаний в различных случаях был одинаков.

2468. Не имеет значения, какова величина магнитной силы, в поле которой находится висмут — велика она или мала; как расположены магнитные полюсы: в тесной близости от куска висмута или же раздвинуты настолько, что расстояние между ними составляет пять или шесть дюймов или даже фут; где находится висмут: на линии максимальной силы или он поднят выше этой линии, или опущен ниже ее; каков электрический ток: силен или слаб, и соответственно какова магнитная сила: велика или мала; если висмут вообще испытывает какое-нибудь действие, последнее всегда одинаково.

2469. Эти результаты, во всей их совокупности, резко отличаются от результатов, вызываемых диамагнитным действием (2418). Равным образом они отличны от результатов, полученных Плюккером и описанных им в его прекрасных исследованиях об отношении оптической оси к магнитному действию, ибо там сила имеет экваториальное направление, а здесь она направлена аксиально. Таким образом, они представляют нам, по-видимому, новую силу, или новую форму силы, в молекулах материи; этой силе я для удобства условно дам новое название: *магнекристаллическая сила*.

2470. Направление этой силы по отношению к магнитному полю является *аксиальным*, а не *экваториальным*, что доказывается многими опытами. Так, например, когда кусок правильно кристаллизованного висмута подвешен в магнитном поле, то он устанавливается в определенном направлении. Он удерживался в этом положении, а точка привеса (на куске) была перемещена на  $90^\circ$  в экваториальной плоскости (2252), так что когда кристалл снова свободно повис, то проходящая через кристалл линия, которая раньше была горизонтальной в экваториальной плоскости, теперь стала вертикальной. Кусок снова устанавливался в определенном направлении, и притом вообще с большей силой, чем раньше. Проходящую через кристалл линию, совпадающую с магнитной осью, можно теперь принять за силовую линию, и сколько раз ни повторять процесс поворота на четверть круга в экваториальной плос-

кости, кристалл не перестает устанавливаться линией, принятой за силовую, по магнитной оси, и притом с очень большой силой. Теперь точку прикрепления переместим на  $90^\circ$  в плоскости оси, т. е. к концу линии, принятой за силовую, и снова подвесим кристалл; тогда эта линия станет вертикальной, и кристалл будет обнаруживать свое особое действие в минимальной степени; он почти, а то и совсем потеряет свою способность устанавливаться в определенном направлении и будет проявлять по отношению к магниту лишь обычную диамагнитную силу (2418).

2471. Если бы эта сила была экваториальной и полярной, то максимум ее действия проявлялся бы при перемещении точки прикрепления на  $90^\circ$  не в экваториальной плоскости, а в аксиальной, и такое же перемещение после этого в аксиальной плоскости не нарушало бы максимальной силы; наоборот, однократное перемещение точки прикрепления на  $90^\circ$  в экваториальной плоскости привело бы силовую линию в вертикальное положение (как в Плюккеровском опыте с исландским шпатом) и свело бы действие к минимуму или к нулю.

2472. Таким образом, направляющая сила и положение, принимаемое кристаллом, имеют *аксиальное* направление. Начало этой силы, несомненно, в частицах кристалла. Она такова, что кристалл может с равной легкостью и постоянством устанавливаться в двух диаметрально противоположных направлениях, а между ними имеется два положения экваториального равновесия, которые, конечно, являются по своей природе неустойчивыми. Один конец массы или ее молекул и в рассматриваемых явлениях, как и вообще в свойствах кристаллов, ничем не отличается от другого конца, и потому по многих случаях слова *аксиально* и *аксиальность* выражают их свойства лучше, чем слова *полярно* и *полярность*. Когда я обдумал все эти явления, я пришел к заключению, что смысл, присущий первым словам, является здесь более подходящим.

2473. Если *металл* поставлен в другое положение и, значит, приведен в вынужденное состояние, то сила магнита, как бы

она ни была велика и сколь бы долго она ни действовала, не вызывает никакого изменения в силе висмута — ни в ее величине, ни в ее направлении.

2474. Трудно просто описать направление этой силы по отношению к кристаллу, хотя его весьма легко определить опытом. Кристаллы висмута имеют, как утверждают, форму куба, а его первичные частицы — форму правильного октаэдра. Мне лично кажется, что эти кристаллы представляют собой не кубы, а ромбоиды или ромбические призмы, которые очень приближаются к кубам. Мои измерения были весьма несовершенны, а кристаллы были неправильны, но в среднем из многих наблюдений получилось, что плоскости кристалла наклонены друг к другу под углами  $91\frac{1}{2}^\circ$  и  $88\frac{1}{2}^\circ$ , а ребра в гранях под  $87\frac{1}{2}^\circ$  и  $92\frac{1}{2}^\circ$ . Но какова бы ни была действительная их форма, из осмотра кристаллов явствует, что агрегатная сила (*aggregating force*) стремится создавать кристаллы, имеющие более или менее ромбоидальную форму и ромбические грани, и что эти кристаллы соединяются в симметрические группы, обычно в направлении их наибольших диаметров. И вот, линия *магнекристаллической* силы почти всегда совпадает с этим направлением, когда последнее можно определить.

2475. *Скалывание* кристаллов висмута уничтожает их телесные углы и замещает их гранями, так что имеется четыре направления, которые образуют октаэдр. Эта скалываемость (согласно моему опыту) происходит не с одинаковой легкостью; получающиеся грани не одинаково блестящи и совершенны. Две или чаще одна из этих плоскостей оказывается более совершенной, чем остальные; этой наиболее совершенной является та плоскость, которая получается у наиболее острого телесного угла (2474); обычно ее бывает легко узнать. Когда у кристалла висмута получено много плоскостей скола и он подвешен в магнитном поле, то одна из этих плоскостей поворачивается в сторону одного из магнитных полюсов, а соответствующая ей другая плоскость, если таковая имеется, — в сторону другого полюса, так что линия *магнекристаллической* силы оказывается

перпендикулярной к этой плоскости. Эта плоскость соответствует той, о которой я выше сказал, что она обычно бывает наиболее совершенной и что она срезает острый угол кристалла.

2476. Был выбран отдельный кристалл висмута; он был вырезан из всей массы с помощью медных резаков, а места, где он срабатывался, были обтерты шкуркой; таким образом получился кубообразный осколок с шестью гранями; четыре из этих граней были естественные. Один из телесных углов, который предположительно представлял собой упомянутый выше концевой угол, т. е. лежал в направлении магнекристаллической линии, был сколот, так что образовалась небольшая плоскость скола, которая, как это и ожидалось, была блестящей и совершенной. Когда этот кристалл был подвешен в магнитном поле и указанная выше плоскость была вертикальна, то кристалл сейчас же со значительной силой установился в определенном направлении, повернувшись этой плоскостью к одному из магнитных полюсов; таким образом, магнекристаллическая ось теперь, видимо, лежала горизонтально и действовала с наибольшей силой. Когда эта аксиальная линия была направлена по вертикали, а упомянутая плоскость, значит, расположилась горизонтально (это положение было подогнано с большой тщательностью), то кристалл совершенно перестал устанавливаться в каком-нибудь определенном направлении. После этого я его подвешивал раз за разом за все углы и грани куба; каждый раз он с большей или меньшей силой устанавливался в определенном направлении, но при этом всегда так, что линия, проведенная перпендикулярно к показательной плоскости скола (эта линия представляла собой, значит, силовую линию), всегда лежала в той же вертикальной плоскости, в которой находилась магнитная ось. Если, наконец, блестящая поверхность разлома была расположена горизонтально, а линия направляющей силы шла вертикально, то незначительным наклоном последней в заданном направлении можно было достичь того, что любая часть кристалла становилась по направлению к магнитным полюсам.

2477. Те же результаты были получены с *группной* кристаллов висмута, конец которой совпадал с единственной малой гранью разлома.

2478. Иногда попадались такие группы кристаллов (2457), что для них, казалось, нельзя было найти такого положения, при котором они совершенно теряли свою направляющую силу, у них некоторый минимум этой силы оставался. Однако весьма невероятно, чтобы все группы были совершенно симметричными по расположению своих частей. Удивительно скорее то обстоятельство, что поведение кристаллов оказывается столь отчетливым. Представляется вероятным, что по отношению к висмуту и многим другим телам магнитная сила даст более важное указание о существенной и действительной структуре их массы, чем это можно сделать по их форме.

2479. Я указал выше, что *магнеткристаллическая* сила не обнаруживается путем притяжения или отталкивания и что во всяком случае она не вызывает приближения или удаления; она определяет только *направление*. Закон ее действия заключается, по-видимому, в том, что *линия или ось магнеткристаллической силы* (являющаяся результирующей действия всех молекул) *стремится расположиться параллельно или касательно к магнитной кривой, или магнитной силовой линии, проходящей через то место, где находится кристалл.*

2480. Далее, я брал некоторое количество висмута, плавил его, давал затвердеть обычным способом и разбивал его на куски. Я отбирал несколько таких кусков, которые показались мне наиболее правильно кристаллическими, и подвергал их испытанию. Оказалось почти невозможным найти кусочек, который не подчинялся бы действию магнита и не принимал бы с большей или меньшей легкостью определенного направления. Я отбирал тонкие пластинки с совершенными плоскостями разлома и легко получил образцы, которые вели себя во всех отношениях одинаково с кристаллами. Однако более толстые пластинки, а также куски от углов зачастую давали

очень сложные явления, хотя на вид они представлялись простыми и правильными по форме. В некоторых случаях оказалось, что та плоскость *разлома*, которую я раньше принимал за перпендикулярную к силовой линии (2475), на самом деле такой не была; однако, установив опытным путем направление магнекристаллической силы, я во всех случаях либо отыскивал, либо путем скалывания получал такую плоскость, которая имела описанный выше (2475) вид и свойства. Если разламывать висмутовые пластинки толщиной от одной двадцатой до одной десятой части дюйма, ограниченные параллельными и схожими плоскостями, то зачастую оказывалось при разглядывании, что они имеют сложное и неправильное строение.

2481. Если хорошо отобранную висмутовую пластинку (мои пластинки имели длину и ширину около 0.3 дюйма и толщину примерно 0.05 дюйма) подвесить за край в магнитном поле, то она колеблется и затем устанавливается таким образом, что ее плоскости обращены к магнитным полюсам; она может занимать и диаметрально-противоположное положение (2461). За какую бы точку края ее ни подвесить, результат получается прежний. Но если пластинку подвесить горизонтально, так что плоскости скола куска и магнитная ось будут параллельны плоскости движения пластинки, то она остается совершенно безразличной, ибо в этом случае линия магнекристаллической силы перпендикулярна к магнитной силовой линии при любом положении, которое может занять пластинка.

2482. Но если пластинку хоть сколько-нибудь наклонить из указанного выше положения, то она начинает устанавливаться в определенном направлении, и притом сила, с которой это происходит, тем больше, чем больше пластинка приближается к вертикальному положению (2475), и те явления, которые были описаны выше для кристалла (2476), могут быть также получены с нашими осколками; и любую точку края пластинки можно заставить принять аксиальное направление,

если ее поднять выше или опустить ниже горизонтальной плоскости.

2483. Если с помощью магнита отобрать несколько таких пластинок, то можно затем взять немного хорошей замазки (2458) и соединить их в один кусок, и он будет обладать совершенно правильным магнекристаллическим действием; в этом отношении он будет вполне сходен с кристаллом, о котором была речь выше (2459, 2468, 2476). Этим путем можно также нейтрализовать *диамагнитное* действие висмута; ибо легко устроить призму, у которой ширина и толщина будут одинаковы; и если ее подвесить длиною по вертикали, то она будет хорошо устанавливаться в определенном направлении, не встречая при этом никакого препятствия со стороны диамагнитного действия.

2484. Если три одинаковые пластинки расположить взаимно перпендикулярно, то получится система, которая потеряла всякую способность устанавливаться в определенном положении под действием магнита, так как в любом направлении сила оказывается нейтрализованной. То же самое имеет место в случае мелко кристаллического, или аморфного висмута, и тот же результат (имеющий ту же природу) можно получить, если взять отобранную однородную массу кристаллов (2457), расплавить ее в стеклянной трубке и предоставить ей затвердеть; если только кристаллы не крупны и не видны на глаз, что случается редко, то получающийся при этом кусок висмута кажется лишенным магнекристаллической силы. Подобный же результат получается, если кристалл разбить, мелкие обломки его или пыль насыпать в трубку и все вместе подвергнуть действию магнита.

2485. Указанные выше опыты с висмутом нетрудно повторить, так как за исключением тех опытов, которые требуют внезапного возникновения или исчезновения магнитной силы, все остальные можно произвести с помощью обычного подковообразного магнита. Магнит, с которым я довольно ус-

пешно работал, состоял из семи поставленных рядом стержней; они были заделаны в коробку, а полюсы выпущены наружу; два колена магнита были друг от друга на расстоянии дюйма с четвертью; между полюсами образуется магнитное поле с силовыми линиями горизонтального направления. Полюсы магнита следует покрывать, каждый в отдельности; бумагой, дабы избежать прилипания к ним частиц железа или ржаачины. Наилучшим местом для кусков висмута служит, конечно, пространство между полюсами, но не на одном уровне с верхними концами двух колен, а на расстоянии от 0.4 до 1.0 дюйма ниже этого уровня (2463), дабы можно было получить действие плоских полюсов. Если желательно усилить магнитные силовые линии, то этого можно достигнуть введением куска железа между полюсами магнита; таким образом, благодаря как бы сближению последних, протяженность магнитного поля между ними уменьшается.

2486. Магнит, которым я пользовался, удерживает на своем якоря 30 фунтов; но если делать опыты с небольшими кусочками висмута, можно легко получать все явления при помощи магнитов, которые сами весят не более 7 унций и которые в состоянии держать на весу лишь 22 унции. Таким образом, эти опыты доступны каждому.

2487. Пока кристалл висмута находится в магнитном поле, на него очень заметно и даже сильно действует приближение мягкого железа или магнитов, причем это происходит ниже-следующим образом. Пусть рис. 180 представляет положение двух главных магнитных полюсов и находящегося между ними куска кристаллического висмута, который благодаря своему магнекристаллическому свойству принимает аксиальное направление. Если теперь на лицевую поверхность полюса, например в *e*, положить кусок мягкого железа близко к висмуту, например к его точке *a*, то это окажет действие на последний и заставит его приблизиться к железу. Если подобным же образом железо поместить в *f*, *g* или *h*, то это приведет к та-

кому же результату и вызовет движение висмута: части висмута, обозначенные буквами  $b$ ,  $c$  и  $d$ , будут соответственно приближаться к нему, как бы притягиваясь им. Если не давать мягкому железу соприкасаться с магнитным полюсом, а держать его между полюсом и висмутом, так что каждый раз их относительное положение будет прежнее, то получаются те же явления, но в более слабой степени.

2488. Хотя эти движения обнаруживают как будто притягательное действие, я все-таки думаю, что они вызываются

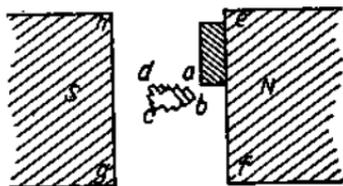


Рис. 180

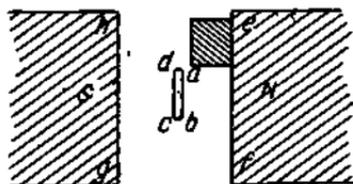


Рис. 181

вовсе не этой причиной, а действием указанного ранее закона (2479). Состояние магнитного поля, бывшего ранее однородным, благодаря присутствию железа шарушается. Из угла  $a$  железа в представленном на рисунке положении или из соответствующих углов в других положениях исходят магнитные силовые линии большей интенсивности, чем прочие (ибо теперь форма полюса более или менее приближается к конусу или острiu); поэтому кристалл висмута поворачивается около оси подвеса так, что получается возможность установления линии магнекристаллической силы параллельно или касательно к результирующей магнитных сил, которые проходят через его массу.

2489. Если вместо группы кристаллов взять кристаллическую пластинку висмута (2481), то явления, происходящие при подобных же условиях, производят впечатление *отталкивания*; в самом деле, пусть рис. 181 представляет рассматриваемое положение вещей; тогда, если приложить кусок железа в  $e$ , это заставит пластинку отойти от него в точке  $a$ , а если его

приложить в  $f$ ,  $g$  или  $h$ , то он вызывает отход висмута от него в точках  $b$ ,  $c$  и  $d$ . Но хотя эти явления имеют вид отталкивания, тем не менее, как я полагаю, они представляют собою не более, как последствия того стремления, которое, согласно изложенному выше закону (2479), висмут проявляет: расположить линии магнетокристаллической силы параллельно или по касательной к результирующей магнитной силы, проходящей через висмут.

2490. Я помещал кусок железной проволоки длиной около  $1\frac{1}{2}$  дюймов и толщиной от 0.1 до 0.2 дюйма в экваториальной

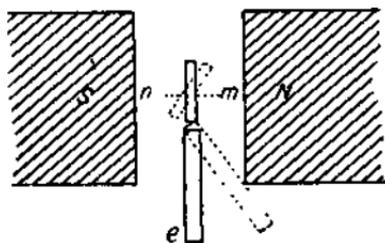


Рис. 182.

плоскости около края пластинки (рис. 182); тогда последняя не изменяла своего положения; но если отклонить конец проволоки  $e$  к одному из полюсов, то пластинка приходит в движение и движется сильнее всего, если железо прикасается к полюсу, как это показано на рисунке. Когда этот кусок про-

волоки приближался или прикасался к полюсу  $N$ , то кристаллическая пластинка висмута наклонялась так, как это показано на рисунке пунктиром. Когда он прикасался к полюсу  $S$ , то пластинка отклонялась в противоположную сторону. Когда конец  $e$  стерженька из мягкого железа приводится в соприкосновение с полюсом  $N$ , а другой конец его стоял в положении  $m$ , то висмут не испытывал на себе никакого действия. Но когда затем этот вспомогательный полюс передвигался в ту или другую сторону по направлению к краю пластинки, то последняя начинала вращаться вместе с движением полюса, причем она стремилась все время стать к нему своей плоской стороной, очевидно, вследствие стремления магнетокристаллической оси установиться параллельно к результирующей магнитной силе, проходящей через висмут. Те же результаты были при подобных условиях получены с кристаллом (2487); соответствующ-

щие результаты были получены, когда стержень мягкого железа был помещен между стороной S магнита и висмутом. Подобные же явления были получены и с пластинками мышьяка и сурьмы.

2491. Если вместо мягкого железа взять магнит, получаются соответствующие явления. Следует только помнить, что если основной магнит очень силен, то он зачастую может нейтрализовать или же переменить магнетизм небольшого поднесенного к нему магнита, и это может случиться с последним (в смысле его внешнего влияния) в то время, когда он находится в магнитном поле, хотя бы даже будучи выведен оттуда, он казался не изменившимся.

2492. Так, например, я подвесил пластинку висмута между полюсами подковообразного магнита (2485) (рис. 181) и в *a* или *b* поместил северный полюс небольшого магнетика (клинок карманного ножа); это вызвало отход от него ближайших точек висмута и по тем же самым причинам, какие действовали, когда там находилось мягкое железо. Когда я поместил этот вспомогательный полюс в *c* или *d*, то действие оказалось более слабым, чем в первом случае; оно теперь заключалось в том, что этот участок висмута приблизился к полюсу. Так как это положение вспомогательного полюса ограничивает и нейтрализует некоторые из магнитных силовых линий, исходящих из южного полюса подковообразного магнита, то результирующая силовых линий, проходящих через висмут, изменяет свое направление и становится наклонной по отношению к своему прежнему ходу совершенно так же, как это показывает движение висмута в его стремлении установить свою силовую линию параллельно силовым линиям в их новом положении.

2493. Если приблизить южный полюс, то он вызывает движение в противоположном направлении.

2494. Когда я помещал вспомогательный полюс у края пластинки, а меньший магнетик находился в экваториальном положении (рис. 182), то он не вел себя нейтрально, как же-

лезо, а заставляя пластинку двигаться в касательном направлении вправо или влево, в зависимости от того, какой это был полюс: южный или северный — совершенно так, как это делало железо, когда при его наклоне приближившийся конец его становился полюсом (2490). Это явление обнаруживалось а еще более поразительной степени с кристаллом висмута (2487), так как благодаря его форме и положению наиболее подвергавшиеся действию добавочного полюса магнитные кривые захватывались висмутом в большей мере, чем в том случае, когда опыты производились с пластинкой.

2495. Можно получать бесчисленные вариации этих движений, а также, по желанию, явления притяжения или отталкивания или действия по касательной, пользуясь кристаллами, у которых магнекристаллическая ось совпадает с их длиной, или пластинками, в которых она совпадает с их толщиной, и привлекая к делу постоянные или временные вспомогательные магнитные полюсы. Если подвижной полюс медленно перемещать вокруг висмута из нейтральной точки  $m$  в другую нейтральную точку  $n$  (рис. 182), то можно при этом воспроизвести все эти явления; при этом окажется, что все они сводятся к ранее изложенному общему закону (2479), согласно которому магнекристаллическая ось и результирующая магнитной силы, проходящей через висмут, стремятся стать параллельными.

2496. В силу этого кристаллик (или пластинка) висмута (или мышьяка) (2532) может оказаться очень полезным и важным в качестве прибора, указывающего направление силовых линий в магнитном поле, ибо, занимая положение, показывающее ход последних, они собственным своим действием не нарушают его в заметной степени.

2497. Многие из этих движений схожи и связаны с теми движениями, которые были описаны Пюжкером, Рейхом и другими и которые были получены при действии железа и магнитов на висмут в его простом диамагнитном состоянии. По мнению вышеназванных и других лиц, эти явления указывают

на то, что висмут, как первоначально и я это предполагал (2429 и др.), в диамагнитном своем состоянии фактически обладает магнитными свойствами, противоположными свойствам железа. Я не знаком со всеми полученными ими результатами и с их соображениями по поводу этих результатов (так как последние опубликованы на немецком языке), но поскольку они мне известны и были мною вновь получены, мне кажется, что они представляют собою простые следствия того закона, который я изложил выше (2267, 2418), а именно, что диамагнитные тела стремятся переходить из мест большей магнитной силы в места меньшей силы; мне кажется, что они не дают какого-либо нового или добавочного доказательства в пользу предполагаемой обратной полнрности висмута, как не дают его и приведенные мною примеры действия, подходящие под действие указанного выше закона.

2498. Предполагая, что промежуточное или окружающее вещество может каким-либо образом повлиять на магнекристаллическое действие висмута и других тел, и установил магнитные полюсы на определенном друг от друга расстоянии (приблизительно два дюйма), подвесив посередине магнитного поля кристалл висмута, и наблюдал его колебания и окончательное расположение. Затем, не производя никаких других изменений, я вводил в промежуток между полюсами и кристаллом экраны из висмута, представлявшие собою пластинки величиною около двух дюймов в квадрате и толщиной в 0.75 дюйма, но не мог заметить, чтобы их появление вызвало какие-либо изменения в явлениях.

2499. Кристалл висмута (2459) был подвешен в воде между магнитными полюсами подковообразного магнита. Он хорошо устанавливался в соответствии с общим законом (2479), и потребовалось пять оборотов указателя кручения на верхнем конце подвесной шелковой нити, чтобы сдвинуть его с места и заставить повернуться в диаметрально противоположное направление. Насколько я мог заметить, это — та же вели-

чина силы кручения, какая требовалась для того, чтобы вызвать смещение этого кристалла, когда он был помещен в том же положении, но окружен только воздухом.

2500. Тот же висмут был затем подвешен в насыщенном растворе протосульфата железа (служившего магнитной средой), но он устанавливался в прежнее направление без какого-либо заметного отличия; а когда я применял силу кручения, то опять, как и раньше, потребовалось пять оборотов указателя, чтобы вызвать смещение кристалла и его переход в диаметрально противоположное направление.

2501. Таким образом, независимо от того, куда погружают кристаллы висмута: в воздух, в воду или в раствор железного купороса, или помещают их между толстыми кусками висмута, если магнитная сила, действию которой они подвергаются, одна и та же, то проявляемая ими магнекристаллическая сила остается неизменной как по своей природе, так и по направлению и по величине.

2502. Представлялось возможным и вероятным, что магнитная сила повлияет на кристаллизацию если не других тел, то висмута. В самом деле, эта сила действует на массу кристалла благодаря тому свойству, которым обладают ее частицы, и которую она сообщают кристаллу как целому благодаря своему полярному [или аксиальному (2472)] и симметрическому состоянию; далее, окончательное положение кристаллической массы в магнитном поле можно рассматривать как состояние наименьшего принуждения; поэтому казалось достаточно вероятным, что если висмут в жидком состоянии поставить под действие магнетизма, то отдельные частицы его будут стремиться занять одно и то же аксиальное положение, и таким образом можно будет до известной степени определить заранее и направлять по своей воле расположение кристалликов и всей массы при ее отвердевании.

2503. Итак, в стеклянной трубке было расплавлено некоторое количество висмута; он стоял неподвижно в сильном

магнитном поле до тех пор, пока висмут не отвердел. Затем он был вынут из стеклянной трубки и подвешен; таким образом он мог под влиянием магнита установиться в прежнем направлении; однако никаких признаков *магнетокристаллической* силы при этом обнаружено не было. Я не ожидал, чтобы оказалась правильно кристаллизованной вся масса, но полагал, что выявится некоторое *различие* между тем или иным направлением. Ничего подобного однако не получилось, каково бы ни было направление, в котором был подвешен кусок висмута; а когда я его разломал, то обнаружил, что кристаллизация внутри него была мелкая, беспорядочная и во всех возможных направлениях. Возможно, что если бы этому делу посвятить больше времени и работать с постоянным магнитом, то результат был бы лучше. Я возлагал на этот процесс много надежд, связывая его с кристаллическим строением золота, серебра, платины и вообще металлов, а также других тел.

2504. Я не мог обнаружить, чтобы кристаллы висмута приобретали какую-нибудь силу, временную или постоянную, которую они могли бы *унести с собою* из магнитного поля. Я держал кристаллы в различных положениях в поле интенсивного действия сильного электромагнита с очень близкими друг к другу ковшескими полюсами; спустя некоторое время я вынимал их оттуда и тотчас же подносил к очень чувствительной аstaticеской магнитной стрелке, но не заметил, чтобы они оказали на нее хотя бы малейшее добавочное действие, проявляющееся после такой обработки.

2505. Так как кристалл висмута чувствителен к действию магнитных силовых линий (2479) и подчиняется их влиянию, то отсюда следует, что он должен подчиняться и действию Земли и должен устанавливаться в определенном направлении, хотя и с очень слабой силой. Я подвешивал хороший кристалл на длинном коконовом волокне и защитил его как мог от воздушных течений посредством концентрических стеклянных трубок. Мне кажется, я наблюдал признаки того, что кри-

сталл принимал определенное положение или направление. Кристалл был подвешен таким образом, что магнекристаллическая ось образовала с горизонтальной плоскостью тот же угол (около  $70^\circ$ ), какой дает стрелке магнитноеклонение; мне казалось, что ось и наклоненне стремятся совпасть. Однако эти опыты требуют тщательного повторения.

2506. Более важным делом с точки зрения природы полярных и аксиальных сил висмута представляется ответ на вопрос, могут ли два кристалла или две однородно кристаллизованные массы висмута действовать друг на друга, и если это так, то какова природа этих взаимодействий, каково соотношение между экваториальными и концевыми участками и каково направление сил. Я произвел в связи с этим вопросом много опытов как в магнитном поле, так и вне его, но получил лишь отрицательные результаты. Но эти опыты производились лишь с небольшими массами висмута, и я ставлю себе целью в более подходящее время года повторить эти опыты с большими массами, подготовив эти массы, если понадобится, описанным выше способом (2483).

2507. Едва ли мне нужно говорить о том, что в кольце или в катушке, по которым проходит электрический ток, кристалл висмута должен принимать определенное направление, и притом такое, что его магнекристаллическая ось окажется параллельной оси кольца или катушки. Опыт показал мне, что дело обстоит именно таким образом.

## Г Л А В А II

### *Кристаллическая полнрность сурьмы*

2508. С у р ь м а является магнекристаллическим телом. Приготовленные вышеописанным способом (2457) куски кристаллов сурьмы были разбиты медным долотом, и таким образом было получено некоторое количество превосходных групп кристаллов, весом каждая от десяти до двадцати гран; в этих группах все составляющие их кристаллы представлялись рас-

положенными однородно. Отдельные кристаллы были в целом очень хороши и гораздо чаще, чем кристаллы висмута, имели завершенные и полные грани. Они были очень блестящие, серо-стального или серебряного оттенка, и на глаз более походили на куб, чем кристаллы висмута, хотя то здесь, то там попадались явно ромбоидальные грани. Телесные углы у них можно срезать плоскостями *разлома* и, как у висмута, здесь тоже имеется одна грань, вообще более блестящая и совершенная, чем остальные.

2509. Прежде всего было установлено, что все кристаллы диамагнитны и притом в высокой степени.

2510. Затем было установлено, что, как и у висмута, все они со значительной силой обнаруживают магнекристаллические явления, указывая этим на существование силовой линии (2470); при вертикальном положении этой линии она давала кристаллу возможность свободно устанавливаться в любом направлении (2476), но при горизонтальном положении она заставляла кристалл устанавливаться в определенном направлении; при этом сама она принимала направление, параллельное результирующей магнитной силе, проходящей через кристалл (2479). Эта линия, как и у висмута, проходила от одного из телесных углов до противоположного и была направлена перпендикулярно к упомянутой только что блестящей плоскости *разлома* (2508).

2511. Таким образом, действие магнита на эти кристаллы оказалось в общем таким же, как на кристаллы висмута; но здесь имеются и некоторые пункты расхождения, которые требуют более подробного изложения и рассмотрения.

2512. Прежде всего, когда магнекристаллическая ось была расположена горизонтально, то выбранный для опытов кристалл при возникновении магнитной силы медленно направился к своему окончательному положению и установился в нем сразу неподвижно. Если этот кристалл вывести из указанного положения в ту или другую сторону, он сразу к нему возвращается; при этом не происходило никаких колебаний.

Другие кристаллы двигались так же, но не совсем, а иные проделывали одно или, может быть, два колебания; но при всех кристаллах получалось впечатление, будто они движутся в густой жидкости, и в этом отношении они были совершенно не похожи на висмут, который совершал колебания свободно и легко (2459).

2513. Далее, когда кристаллы висели таким образом, что их магнекристаллическая ось была направлена вертикально, то не было заметно никакого стремления занять определенное направление и никаких других признаков магнекристаллической силы; но при этом обнаруживались некоторые другие явления. А именно, когда кристаллическая масса вращалась, а в это время возбуждалась магнитная сила, то масса внезапно останавливалась и задерживалась в некотором положении; как было установлено опытом, это могло иметь место в любом положении. Но когда наибольшая длина массы находилась вне аксиального или экваториального положения, то при прекращении электрического тока наблюдалось явление отвлечения (2315). Это отвлечение (revulsion) никогда не было особенно сильно и достигало наибольшей величины; когда длина массы образовала с осью магнитного поля угол примерно в  $45^\circ$ .

2514. При дальнейшем исследовании выяснилось, что эта задержка и вторичное действие были по своему характеру совершенно тождественны с теми, какие наблюдались раньше у меди и у других металлов (2309), и что они зависели от той же причины, а именно от возникновения в металлах круговых электрических токов под влиянием индуцирующей силы магнита. Тогда стало понятно, почему в приведенном выше случае кристаллы сурьмы не совершали колебательных движений (2512), а также почему они подходили к своему положению равновесия сразу; в самом деле ток, возбуждаемый движением, как раз таков, что стремится остановить движение (2329),<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Если кто пожелает составить себе достаточное представление о задерживающих силах этих индукционных токов, пусть возьмет кусок массивной меди, приближающийся к кубической или шарообразной форме,

и хотя магнекристаллическая сила была достаточна для того, чтобы заставить кристалл двигаться и установиться в определенном направлении, но как раз вызываемое этим движение создавало ток, который противодействовал стремлению к движению и таким образом был причиной того, что масса продвигалась к своему положению равновесия так, как будто она двигалась в густой жидкости.

2515. Раз мы знаем о задержке и отвлечении сурьмы (явления эти связаны с более высокой по сравнению с висмутом проводящей способностью сурьмы в этом плотном кристаллическом состоянии), нетрудно установить тождество магнекристаллической силы этого металла с той же силой висмута и показать соответствие явлений во всех существенных чертах и деталях. В большинстве кусков кристаллов сурьмы эта сила, казалось, была меньше, чем в висмуте, но фактически это, может быть, и не так, ибо описанное только что действие индукционных токов склонно скрывать магнекристаллические явления.

2516. Различные куски сурьмы также отличаются на вид друг от друга по своей способности устанавливаться в определенном направлении, а также по своей склонности давать явления отвлечения; однако эти различия либо только кажутся такими, либо легко объяснимы. Действия задержки и отвлечения в значительной мере связаны с непрерывностью строения куска, так что один большой кусок обладает им в гораздо большей мере, чем несколько малых кусков, а последние, в свою очередь, в большей мере, чем вещество, растолченное в пыль. Даже у меди можно совершенно уничтожить действие отвлечения, если большой кусок ее превратить в опилки. Таким

---

весом от четверти до половины фунта, подвесит его на длинной нити, сообщит ему быстрое вращательное движение и затем внесет его, покуда он вращается, в магнитное поле электромагнита; он увидит, что движение куска меди моментально прекратится; а когда он затем попытается вновь привести этот кусок, покуда он в поле, во вращательное движение, то убедится в том, что это неосуществимо.

образом, легко понять, что из двух групп кристаллов сурьмы, имеющих симметрическое внутреннее строение, одна может содержать в себе крупные кристаллы, хорошо связанные друг с другом, поскольку дело идет об индукции токов во всей массе, а в другой кристаллы могут быть мельче и соединены друг с другом не столь благоприятно. Явления, которые будут давать эти группы, различаются по силе, с какой в них будут проявляться задержка движения и последующее отвлечение; по той же причине они будут различаться по тому, с какой легкостью в них будут обнаруживаться магнекристаллические явления, хотя в действительности величина этой силы в них совершенно одинакова.

2517. Когда я перешел к опытам с пластинками из сурьмы, я получил дальнейшие примеры явлений, вызываемых только что описанными причинами, то одновременно обнаружилось многочисленное доказательство существования в этом металле магнекристаллического состояния. Пластинки были, как и в случае висмута (2480), отобраны из обломков разбитых кусков. Скоро было найдено несколько пластинок, которые действовали просто, мгновенно и хорошо; их большие грани представляли собою блестящие плоскости *разлома*. Будучи подвешены за какую-нибудь точку края, эти плоскости поворачивались к магнитным полюсам, и пластинка совершала колебания в обе стороны от своего окончательного положения, постепенно подходя к своему состоянию равновесия.

2518. Когда эти пластинки были подвешены так, что их плоские грани стали горизонтальными, то они не проявляли никакой способности устанавливаться в определенном направлении в магнитном поле. Когда же грани были наклонены, то те их точки, которые стояли выше всех над горизонтальной плоскостью или ниже всех под этой плоскостью, располагалась ближе всего к магнитным полюсам (2482).

2519. Когда несколько пластинок было соединено в плотный пакет (2483), то *диамагнитное* действие исчезло, а магнекристаллическое колебание и стремление занять определенное

направление стало обнаруживаться весьма легко и характерно.

2520. Таким образом, ясно, что во всех этих случаях существовала линия магнекристаллической силы, перпендикулярная к плоскости пластинок, вполне тождественная по своему положению и действию с силой, найденной ранее в объемистых кристаллах сурьмы.

2521. Но затем была отобрана другая пластинка сурьмы; ее вид позволял думать, что она окажется способна воспроизвести все явления, полученные с прежними пластинками; и тем не менее, когда она была подвешена за край, то она не обнаружила никаких признаков магнекристаллической силы. А именно сначала она подалась немного вперед (2310), затем задержалась и остановилась на месте: когда она так стояла в некотором положении между аксиальным и экваториальным направлениями, был выключен батарейный ток, и она испытала рывок, обнаруживая, таким образом, явления, подобные тем, какие дает медь (2315). Было испробовано много других пластинок и с тем же самым результатом.

2522. Когда я поместил эту пластинку (2521) в поле интенсивной силы между двумя коническими магнитными полюсами, то она обнаружила те же явления; однако, несмотря на задерживающее действие, она продолжала медленно продвигаться, пока не установилась в экваториальном направлении, результат, который, по всей вероятности, получился благодаря совместному действию как *магнекристаллической*, так и *диамагнитной* силы. Когда эта пластинка была подвешена таким образом, что ее плоские грани стали горизонтальными, то явления задержки и отвлечения исчезли, так как вызывавшие их раньше индукционные токи не могли уже теперь существовать за отсутствием надлежащей вертикальной плоскости. Далее, она не обладала и способностью устававливаться в определенном направлении, из чего было ясно, что ни вдоль длины, ни вдоль ширины пластинок не существовало оси магнекристаллической силы.

2523. Затем были найдены другие пластинки, которые могли давать смешанные явления, и притом — в различной степени. Так, некоторые из них, подобно первой, свободно совершали колебания, хорошо устанавливались в определенном направлении и не проявляли никаких признаков явлений задержки и отвлечения. Другие колебались вяло, хорошо устанавливались в определенном направлении и проявляли известное стремление задерживаться. Третьи хорошо устанавливались в определенном направлении и, подойдя к своему месту, останавливались неподвижно, но все это так, как если бы они двигались в жидкости; а если я прекращал магнитную силу раньше, чем пластинка дошла до своего окончательного положения, то она получала слабое отвлечение. Наконец, некоторые пластинки сразу же останавливались, не шли к определенному направлению (за все время моего наблюдения) и испытывали сильное отвлечение.

2524. В конце концов, тщательное исследование, проведенное как с помощью подковообразного магнита (2485), так и с помощью большого электромагнита (2247), выяснило причину этих различий в явлениях.

2525. Следует прежде всего отметить, что по временам попадалась такая пластинка сурьмы (2517), которая имела очень блестящие и совершенные по своему виду грани и которая давала, таким образом, основание думать, что она будет хорошо устанавливаться в магнитном поле; однако, когда она была подвергнута действию подковообразного магнита, ничего подобного не наблюдалось: пластинка устанавливалась вкось, неохотно и в двух направлениях, которые, может быть, не были диаметрально противоположны. Я несколько не сомневаюсь, что все это происходит вследствие того, что в данном случае кристаллизация была сложной и беспорядочной. Если такую пластинку, и притом достаточной ширины и длины (т. е. не меньше четверти или трети дюйма), подвергнуть действию электромагнита, она очень хорошо покажет явление задержки (2310) и отвлечения (2315).

2526. Далее, нам следует помнить, что для развития индукционных токов, вызывающих явления задержки и отвлечения, пластинка должна иметь достаточно большие размеры в вертикальной плоскости (2329). Токи образуются в массе, а не вокруг отдельных частиц (2329), и результирующая магнитных силовых линий, проходящих через вещество, является осью, вокруг которой возбуждаются эти токи. Вот почему рассматриваемое явление не наблюдается у пластинок, подвешенных в горизонтальном положении, между тем как при вертикальном положении они его показывают прекрасно; та же картина прекрасно видна, если взять диск диаметром в полдюйма из токой фольги или листа меди, серебра, золота, олова и почти каждого ковкого металла, хотя больше всего для этого пригодны хорошие проводники (электричества). Но это условие не имеет никакого значения для *магнекристаллического* действия, и узкая пластинка обладает такой же силой, как и широкая, имеющая равную с ней массу. Первая пластинка, которую я случайно отобрал (2517), была правильно кристаллическая, толстая и узкая. Потому то она оказалась благоприятной для магнекристаллического действия, неблагоприятной для действия задержки и отвлечения; она почти и не обнаруживала признаков последнего вида действия.

2527. Если имеется широкая и правильная кристаллическая пластинка, то обнаруживаются оба ряда явлений. Так, если эта пластинка вращается, то при возбуждении магнитной силы скорость пластинки на мгновение увеличивается, а затем пластинка останавливается; а когда магнитная сила сразу прекращается, то пластинка получает отвлечение, точно так, как это произошло бы с куском меди (2315). Но если магнитная сила не перестает действовать, то можно заметить, что остановка является лишь кажущейся, ибо пластинка движется, хотя и с весьма уменьшившейся скоростью, и продолжает двигаться до тех пор, пока она не примет своего магнекристаллического направления. Она движется, как в густой жидкости. Таким образом, здесь налицо магнекристаллическая сила, и

она оказывает свое действие полностью; а причина того, что явления имеют несколько иной вид, заключается в том, что то самое движение, которое сила стремится сообщить и сообщаст массе, порождает те магнитоэлектрические токи (2329), которые благодаря взаимодействию с магнитом стремятся приостановить движение. Отсюда — медленность последнего и, наконец, полная остановка в определенном направлении (2512, 2323).

2528. Более слабый магнит [например, описанный выше подковообразный прибор (2485)] в гораздо меньшей степени возбуждает токи путем индукции; зато такой магнит хорошо выявляет магнекристаллическую силу; поэтому при некоторых условиях он больше подходит для подобного рода исследований, поскольку он помогает отличить одно действие от другого.

2529. Легко видеть, что нельзя производить даже грубого сравнения магнекристаллической силы пластинок — все равно, из одного и того же металла или из различных металлов — на основании колебаний этих пластинок: под влиянием указанных выше индукционных токов пластинки с одинаковой магнекристаллической силой колеблются совершенно различным образом. Я взял пластинку и оклеил (2458) ее плоские грани особо подобранной бумагой, а затем наблюдал, как она ведет себя в магнитном поле. Она медленно устанавливалась в определенном направлении и обнаруживала явления задержки и отвлечения (2521). После этого я раздавил ее в ступке и таким образом разбил ее на много частей, которые, однако, остались на своих прежних местах. Тогда пластинка стала двигаться свободнее и быстрее и обнаруживала явления отвлечения в очень слабой степени.

2530. Хотя, таким образом, суждение на основании колебания оказывается ненадежным, тем не менее сила кручения, как я полагаю, остается для нас весьма точным мерилем силы, с которой тело устанавливается в определенном направлении (2500), и стало быть — величины магнекристаллической силы; быть может, подвес из коконового волокна несколько смещается,

по стеклянная нить, рекомендуемая Ритчи, должна вполне отвечать своей цели.

2531. Сурьма должна быть хорошим проводником электричества в направлении пластинок кристалла; в противном случае она не показывала бы столь ясно явлений отвлечения. Группы кристаллов сурьмы (2508) обнаруживали это явление в очень высокой степени, и это дало мне основание думать, что кубики, из которых они состоят, обладают этой способностью почти в одинаковой мере во всех направлениях. Но кусок мелко кристаллической или зернистой сурьмы не обнаруживает этой способности в такой же степени, вследствие чего можно было бы думать, что в месте соприкосновения двух несоответствующих друг другу кристаллов или же между смежными пластинками кристаллов существуют какие-то условия, очень похожие на те, которые создаются при раздроблении; по-видимому, они и влияют на проводящую способность в указанных направлениях.

### ГЛАВА III

#### *Кристаллическая полярность мышьяка*

2532. Кусок металлического мышьяка, проявившего кристаллическое строение (2480), был разбит, и из обломков было отобрано несколько пластинок, имевших хорошие плоские поверхности разлома, около 0.3 дюйма длиной, 0.1 дюйма шириной и 0.03 дюйма толщиной. Когда они были подвешены против конусообразного полюса, то оказались совершенно диамагнитными; когда же они висели несколько далее перед этим полюсом или между двумя полюсами, то оказались в высокой степени *магнесталлическими*. У меня имеется пара полюсов с плоскими поверхностями, в центре которых устроены отверстия для винтов; эти отверстия настолько ослабляют интенсивность магнитных силовых линий около середины поля, что когда полюсы находятся друг от друга на расстоянии полдюйма, то цилиндр из зернистого висмута длиной в 0.3 дюйма

устанавливается *аксиально*, т. е. от полюса к полюсу (2384). Но когда между этими же полюсами подвешена пластинка из мышьяка, то она такого стремления не проявляет: настолько магнекристаллическая сила превышала диамагнитную силу этого вещества.

2533. Когда пластинки мышьяка были подвешены так, что их плоскости были горизонтальны, то между плоскими полюсами они совершенно не стремились встать в какое-либо определенное направление. Если такую плоскость наклонить к горизонтальной линии, у нее возникает стремление занять определенное направление, причем это происходит с большей или меньшей силой в зависимости от того, насколько плоскость ближе или дальше от вертикального положения, точно так же, как это было ранее описано относительно висмута и сурьмы (2482, 2518).

2534. Таким образом, установлено, что мышьяк вместе с висмутом и сурьмой обладает магнекристаллической силой или свойством.

*Королевский институт.*

*23 сентября 1848 г.*

#### ГЛАВА IV

##### *Кристаллическое состояние различных тел*

Поступило 31 октября. Доложено 7 декабря 1848 г.

2535. Ц и н к. Явления, которые наблюдались с пластинками цинка, выломанными из кристаллической массы, были нерегулярны, а так как пластинки были магнитными вследствие имевшихся в них примесей, то указанные явления могли полностью зависеть от этих обстоятельств. Чистый цинк был осажден электрохимическим путем на платине из растворов хлорида и сульфата цинка. Из первого он получался в форме разветвленных древовидных групп небольших кристаллов, из второго — в сплошной плотной форме. И тот и другой оказались свободными от магнитного действия и сильно диамагнитными, но ни тот, ни другой не обнаружили никакого следа магнекристаллического действия.

2536. Т и т а н.<sup>1</sup> Некоторое количество хороших кристаллов, полученных со дна печи для плавки железа, было очищено последовательной обработкой кислотами и флюсами, пока железо было очищено настолько, насколько я мог этого добиться. Кристаллы были блестящие, хорошей формы и магнитные (2371) и, как я полагаю, содержали в себе железо, рассеянное по всей их массе, так как царская водка при продолжительном кипячении непрерывно выделяла из них титан и железо. Эти кристаллы обладали некоторым магнитным свойством, которое я склонен отнести за счет их кристаллической структуры. Будучи помещены между полюсами электромагнита, они принимали определенное направление, а когда электрический ток прерывался, то они продолжали занимать то же положение между полюсами ослабленного теперь магнита, как раньше. Будучи предоставлен самому себе, кристалл всегда устанавливался в *одном и том же* направлении: отсюда видно, что он приобрел постоянный магнетизм в этом самом направлении. Но если кристалл, подвешенный между магнитными полюсами, поддержать в другом направлении при включенном электрическом токе, а затем ток выключить и предоставить кристаллу свободу, то он устанавливается между полюсами ослабленного магнита в этом новом направлении; из этого видно, что теперь магнетизм действует в массе кристалла в другом направлении, а не в том, в каком он действовал раньше. Если затем магнит с помощью электрического тока снова усилить, то кристалл сейчас же начинает кружиться, и его магнетизм получает первое, т. е. первоначальное направление. Фактически эти кристаллы можно было намагнитить в любом направлении, но существовало одно направление, по которому они могли намагнититься с большей легкостью и силой, чем в каком-либо другом. Судя по внешней картине явления, я склонен отнести его за счет кристаллической структуры,

---

<sup>1</sup> Этим и многими другими кристаллами я обязан любезности сэра Генри Т. Де ла Бич и м-ра Геннапта.

но возможно также, что оно вызывается неправильным распределением железа в массе титана. Кристаллы были слишком мелки, чтобы я мог разобраться в этом вопросе до конца.

2537. М е д ь. Я отобрал несколько хороших кристаллов природной меди и, тщательно отделив их от массы, исследовал их в отношении их магнекристаллической силы. С подковообразным магнитом (2486) они не проявили признаков подобной силы, в каком бы направлении их ни подвешивали, и оставались неподвижными в любом положении; при всяком самом малом закручивании верхнего конца подвесной нити кристалл внизу тотчас же поворачивался, и притом в точности на тот же угол. Когда эти кристаллы подвергались действию электромагнита, то получались явления задержки и отвлечения (2513, 2310), как этого и следовало ожидать. Если после задержки магнитная сила продолжала действовать, то при этом не происходило медленного движения кристалла к какому-нибудь определенному направлению (2512); он оставался совершенно неподвижным в любом положении. Таким образом, в данном случае нет никакого указания на существование магнекристаллического действия.

2538. О л о в о. Из кускового и из зернистого олова я отобрал несколько кусков, которые, судя по их внешней форме, а также по виду поверхности, которая получалась при действии кислот, казались имеющими правильное кристаллическое строение. Вырезав из них небольшие куски, я тщательно исследовал их с помощью магнитов, но в них не обнаружилось никаких признаков магнекристаллической силы. Получались указания на существование явления задержки и отвлечения, а также диамагнитной силы, но ничего другого. Я исследовал также несколько кристаллов олова, полученных электрохимическим осаждением. Они оказались чистыми и диамагнитными; они задерживались и испытывали отвлечение, но не обнаруживали никаких признаков магнекристаллического действия.

2539. С в и н е ц. Для кристаллизации свинца он был расплавлен и частью превращен в твердое состояние; оставшаяся

жидкость была слита (2457); таким путем было получено несколько очень хороших кристаллов, имевших вообще форму октаэдров. При исследовании их с помощью магнитов они обнаруживали слабые явления задержки и отвлечения, но не давали магнекристаллических явлений. С помощью магнита было исследовано несколько кристаллических пластинок, помученных электрохимически, путем разложения ацетата цинком. Они оказались чистыми, диамагнитными, задерживались и испытывали рыбок, но не обнаружили никакого признака магнекристаллического действия.

2540. З о л о т о. Было исследовано три прекрасных крупных кристалла золота. Они оказались диамагнитными и легко задерживались (2310, 2340). Отвлечения не было вследствие их октаэдрической или округлой формы. Они не дали никаких магнекристаллических явлений.

2541. Т е л л у р. Было исследовано два обломка этого вещества, имевших большие и параллельные плоскости *разлома*. Оба они стремились принять определенное направление, и наибольшее их протяжение устанавливалось между плоскими полюсами (2463), поперек аксиальной линии. Я думаю, что эти явления отчасти, если не полностью, вызывались магнекристаллическим состоянием этого вещества, но не думаю, чтобы это можно было считать вполне доказанным.

2542. С п л а в и р и д и я и о с м и я. Природные зерна иридия и осмия зачастую оказываются плоскими; две их плоскости имеют вид граней кристаллов и параллельны друг другу даже в тех случаях, когда зерна толсты. Из них было отобрано несколько крупнейших и наиболее кристаллических; они были прокалены с флюсом и прокипячены в царской водке, а затем были исследованы с помощью магнита. Некоторые из них оказались более магнитными, чем другие, и притягивались; другие оказались очень слабо магнитными. Последние были отобраны и подвергнуты более тщательному исследованию. Все они стремились занять определенное направление и делали это сравнительно очень легко и с большой силой; в самом

деле, они были длиною не более одной пятнадцатой дюйма и все-таки легко устанавливались в определенном направлении, когда магнитные полюсы находились друг от друга на расстоянии 3 или 4 дюймов. Плоские грани кристаллических частиц были *всегда* обращены в сторону полюсов и, значит, их длина располагалась не *вдоль*, а *поперек* аксиальной линии, причем это происходило независимо от того, каково было расстояние между полюсами: большое или малое, и какие полюсы были у магнита: плоские или конусообразные. Я полагаю, что эти кристаллы были магнекристаллическими.

2543. Легкоплавкий металл. Кристаллы легкоплавкого металла (2457) стремились занять определенное направление; они имели вид четырехугольных пластинок или призм, но были нехороши, и результаты опытов с ними были неясны и неотчетливы.

2544. Проволоки. Я считаю возможным, что в тонких проволоках, которые при действии на них кислоты обнаруживали волокнистое строение, частицы находятся в некотором состоянии, приближающемся к кристаллическому, и поэтому подверг действию магнита мотки платиновой, медной и оловянной проволоки; однако при этом не выявилось никаких указаний на магнекристаллическое действие.

2545. Я подвергал действию магнита ряд металлических соединений и при этом располагал их так, чтобы уловить какие-нибудь признаки магнекристаллических явлений. Гален, натуральная киноварь, окись олова, сернистое олово, натуральная красная окись меди, брукит или окись титана, железный колчедан, а также алмаз, плавиковый шпат, каменная соль и борацит — все они были правильно кристаллические и оказались диамагнитными, но не обнаружили признаков магнекристаллической силы. Натуральная и правильно кристаллическая сернистая медь, сернистый цинк, кобальтовый блеск и лойцит оказались магнитными. Мышьяковистое железо, железный блеск и магнитная окись железа оказались еще более

магнитными. Ни у одного из этих веществ я не мог установить каких-либо магнитных явлений, которые вызывались бы кристаллическим состоянием.

2546. При исследовании магнитных солей некоторые из них показали весьма замечательные магнекристаллические явления. Так, при исследовании сульфата железа первый исследованный мною кристалл был подвешен вертикально магнекристаллической осью и не обнаружил никаких особых явлений; лишь наиболее протяженное горизонтальное его направление установилось с небольшой силой вдоль магнитной оси. Но когда этот кристалл был повернут на  $90^\circ$  (2470), то он тотчас же с большой силой устремился занять определенное направление, и наибольшее его протяжение установилось экваториально. Этот кристалл состоял из расположенных друг над другом плоских кристаллов или пластинок, и магнекристаллическая ось была направлена прямо поперек них. Поэтому было легко после одного-двух испытаний сказать наперед, как следует этот кристалл подвесить и в каком направлении он установится. Все равно, какие это были кристаллы: длинные, косые, неправильные — во всех случаях магнекристаллическая сила пересиливала и определяла положение кристалла; это происходило независимо от того, какими полюсами я пользовался: остроконечными или плоскими, и на каком расстоянии друг от друга они находились: близко или далеко. Магнекристаллическая сила направлена перпендикулярно или почти перпендикулярно к двум сторонам ромбидальной приамы. У меня имеется несколько небольших призматических кристаллов, у которых длина призмы почти в три раза больше ее ширины, но когда и длина и магнекристаллическая ось направлены горизонтально, то никакая сила магнита, никакая форма или положение его полюсов не в состоянии заставить длину занять аксиальное направление, так как это направление всегда занимает магнекристаллическая ось: до такой степени сила ее преобладает над простой магнитной силой кристалла. А между тем последняя настолько значи-

тельна, что рывывает иногда подвешенную нить, когда кристалл висит выше полюсов (2615).

2547. Сульфат никеля. Когда в магнитном поле был подвешен кристалл сульфата никеля, то его длина установилась аксиально. Это могло вызываться либо просто магнитной силой, либо отчасти и магнекристаллической силой. Поэтому я вырезал из кристалла кубик, две грани которого были перпендикулярны к длине первоначальной призмы. Этот кубик принимал некоторое вполне определенное направление в магнитном поле, причем линия, совпадающая с длиной призмы, оказалась той самой линией, которая стремилась занять аксиальное направление; она представляла собой магнекристаллическую ось. Кубик был затем укорочен в указанном направлении и превращен в квадратную пластинку, толщина которой совпадала с магнекристаллической осью; но и тогда она принимала столь же определенное направление, как раньше, хотя теперь аксиальными были ее кратчайшие измерения.

2548. Персульфат аммония-железа и сульфат марганца не обнаружили никаких признаков магнекристаллических явлений; сульфат аммония-марганца, как мне кажется, их обнаруживает, но кристаллы были нехороши. Сульфаты калия и никеля оказались магнекристаллическими. Все три соли были магнитны.

2549. Отсюда видно, что помимо висмута, сурьмы и мышьяка некоторые другие тела тоже обнаруживают магнекристаллические явления. К их числу относятся соли иридия и осмия, возможно — теллур и титан и наверняка — сульфаты железа и никеля. В заключение я позволю себе отметить, что, вероятно, это свойство вводило меня иногда раньше в заблуждение (2290). Отсюда очень легко могла получиться также ошибка с мышьяком (2383).

## ГЛАВА V

*О природе магнекристаллической силы и общие соображения*<sup>1</sup>

2550. Магнекристаллическую силу следует, по-видимому, определенно отличать как от магнитной, так и от диамагнитной силы, поскольку она не вызывает ни приближения, ни удаления. Она состоит не в притяжении или отталкивании, а сообщает находящейся под ее влиянием массе некоторое определенное направление, т. е. она приводит некоторую данную относительно массы линию в некоторое данное отношение к направлению внешней магнитной силы.

2551. Я считал необходимым подвергнуть особо тщательной проверке и доказательству тот вывод, что эта сила несколько не связана ни с притягательными, ни с отталкивательными влияниями. Для этой цели я устроил крутильные весы с бифилярным подвесом из коконовой нити, состоящей из двух пучков по семи волокон в каждом, длиною в 4 дюйма и на расстоянии одной двенадцатой дюйма друг от друга. На одном конце рычага я подвесил кристалл висмута (2457) таким образом, чтобы его можно было установить и держать в любом положении. Эти весы были защищены стеклянным футляром, вне которого был установлен конический конец одного полюса большого электромагнита (2247); полюс имел горизонтальное направление, перпендикулярное к коромыслу крутильных весов, и находился в таком положении, что кристалл висмута приходился на продолжении оси полюса и был в состоянии равновесия приблизительно на расстоянии половины дюйма от его конца. Другой полюс, стоявший на расстоянии 4 дюймов от первого, был оставлен широким — для того, чтобы магнитные силовые линии сильно расходились от конца конического полюса и быстро убывали по своей интенсивности. Задача заключалась в том, чтобы наблюдать величину отталкивания висмута, как диамагнитного тела, магнитом; оценивать эту

<sup>1</sup> См. ниже 2836 и др.

величине можно было либо по расстоянию, на какое он отталкивался, либо по кручению, какое требовалось для того, чтобы привести его в первоначальное положение; в задачу входило также проделать это с висмутом, когда его магнекристаллическая ось расположена сначала аксиально, т. е. параллельно к магнитным силовым линиям, а потом — экваториально, и выяснить, получается ли при этом какое-нибудь различие.

2552. Поэтому сначала кристалл был помещен магнекристаллической осью параллельно магнитным силовым линиям, а затем был повернут четыре раза подряд на  $90^\circ$  в горизонтальной плоскости, дабы наблюдать его при всех положениях магнекристаллической оси; однако ни в одном случае нельзя было заметить различия в величине отталкивания. При других опытах ось ставилась вкось, но результат был тот же. Значит, если здесь и имеется какое-либо различие, то оно должно быть крайне незначительным.<sup>1</sup>

2553. В другом таком же опыте кристалл был подвешен, как маятник, на коконовых нитях длиной в 30 футов, но и тут результат был тот же.

2554. Другой весьма убедительный ряд доказательств того, что это явление не вызывается ни притяжением, ни отталкиванием, был получен нижеследующим образом. Пучок из пятнадцати коконовых волокон, длиной приблизительно в 14 дюймов, был укреплен на верхнем конце, а на нижнем его конце был подвешен груз в одну унцию или несколько больше. Середина этого пучка приходилась у середины магнитного поля электромагнита, а квадратный груз внизу лежал на дорвянном бруске; таким образом получалась устойчивая шелковая вертикальная ось без колебаний или вращений. Посередине этой оси и поперек нее была прикреплена небольшая полоска картона приблизительно в полдюйма длиной и одну десятую дюйма шириной, а затем к этому картону был

<sup>1</sup> См. теперь 2839 и др.

прикреплен призматический кристаллик сульфата железа около 0.3 дюйма длины и 0.1 толщины; при этом его длина, а также магнекристаллическая ось находились в горизонтальной плоскости. Вся длина кристалла находилась на одной стороне шелковой оси, так что при вращательном колебании кристалла его длина образовала радиус описываемого круга, а магнекристаллическая ось была параллельна касательной.

2555. Указанный кристалл приходил в положение равновесия, которое зависело от силы кручения шелкового пучка подвеса; его можно было изменять по желанию, поворачивая находившийся внизу груз. Сила кручения была такова, что когда кристалл приводился в колебания около его шелковой оси, то он совершал в минуту сорок полных (т. е. туда и назад) колебаний.

2556. Когда кристалл был установлен между плоскими полюсами (2463) в косвенном направлении, как это показано на рис. 183, то в момент возбуждения магнита кристалл приходил в движение, стремясь установиться своей длиной экваториально, т. е. своей магнекристаллической осью параллельно магнитным силовым линиям. Когда полюс *N* был удален и опыт повторен, то происходило то же явление, но не с такой силой, как раньше, и, наконец, когда полюс *S* был приданут к кристаллу возможно ближе, только не прикасаясь к последнему, то получился тот же результат и с большей силой, чем в последнем случае.

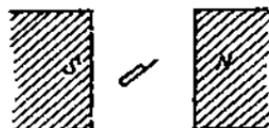


Рис. 183.

2557. Таким образом, кристалл сульфата железа является магнитным телом и сильно притягивается магнитом, подобным тому, каким мы здесь пользовались; он в двух последних опытах фактически удалялся от магнитного полюса под влиянием своих магнекристаллических свойств.

2558. Если удалить полюс *S* и для действия на кристалл оставить полюс *N* (с меткой), то кристалл тогда приближается к полюсу, побуждаемый к этому как магнитной, так и магне-

кристаллической силой. Но если кристалл повернуть около шелковой оси на  $90^\circ$  влево или на  $180^\circ$  вправо, так, что он займет обратное или противоположное положение, тогда этот полюс отталкивает кристалл, вернее, заставляет его отойти на некоторое расстояние точно так же, как это производил первый полюс. Этот опыт требует большой тщательности, и я считаю, что конусообразные полюсы для данной цели мало пригодны; но при достаточном внимании я мог чрезвычайно легко получать описанные результаты.

2559. После этого сульфат железа был заменен кристаллической пластинкой (2480) висмута, которая была помещена, как и раньше, с одной стороны шелкового подвеса с горизонтально направленной магнекристаллической осью. Ей было придано такое же положение, какое кристалл занимал по отношению к полюсу  $N$  в предшествующем опыте (2556), т. е. так, что для установки осью параллельно магнитным силовым линиям пластинка должна была приблизиться к полюсу; затем магнит был приведен в действие; тогда пластинка пришла в соответствующее движение и стала приближаться к полюсу — вопреки своим диамагнитным свойствам, но под влиянием магнекристаллической силы. Это действие было слабо, но отчетливо.

2560. Забегая немного вперед, я приведу один результат рассуждений, которые будут приведены ниже (2607); я опишу соответствующее явление, полученное с красной кровяной солью. У кристалла этой соли были сточены острые углы, так что он превратился в пластинку с плоскостями, параллельными плоскостям оптической оси, и затем он был поставлен на место пластинки висмута. Когда кристалл находился в описанном ранее положении (2556) и в действие был введен магнит, то кристалл пришел в движение; при этом плоскость оптической оси установилась экваториально, как это описывает Плюккер. Когда полюс  $N$  был удален, а полюс  $S$  придвинут к кристаллу, то произошло то же движение, и кристалл *отомкнулся* от полюса; а когда был удален полюс  $S$  и к кристаллу был

придвинут полюс  $N$ , то кристалл пришел в такое же движение, как и раньше, причем он весь *приблизился* теперь к полюсу. Когда кристалл был отклонен в другую сторону, т. е. висел по другую сторону экваториальной линии, полюс  $S$  заставлял его *приближаться*, а полюс  $N$  — *отходить*. Выходит, таким образом, что один и тот же полюс может как будто и притянуть к себе и оттолкнуть от себя одну и ту же сторону кристалла, и с каждым из этих полюсов можно обнаружить эту кажущуюся силу — то притягательную, то отталкивательную.

2561. Отсюда — доказательство того, что стремления к занятию определенного положения не производит ни притяжение, ни отталкивание, т. е. они не определяют окончательного положения ни данного тела, ни любых других тел, движения которых вызываются той же причиной (2607).

2562. Далее, эта сила по своему характеру и действиям отличается от магнитной и диамагнитной форм силы. С другой стороны, она находится во вполне очевидной связи с кристаллической структурой висмута и других тел и, таким образом, с молекулами и с той силой, которая позволяет этим молекулам выстраиваться в кристаллические массы. Мне кажется, что описанные результаты можно понять, только допустив взаимодействие между магнитной силой, с одной стороны, и силой частиц кристалла, с другой; а это приводит нас к другому заключению, а именно, что, поскольку эти силы в состоянии действовать друг на друга, они должны быть одной и той же природы; а последнее, полагаю, привносит новый вклад для решения великой проблемы физики молекулярных сил, которая исходит из допущения, что все они имеют одно общее начало (2146).

2563. Что бы мы ни рассматривали: кристалл или частицу висмута, их полярность имеет весьма необычный характер, если сравнить ее с полярностью обыкновенного магнитного состояния или если сравнить ее с двойственным характером любой другой физической силы; ибо в данном случае противоположные полюсы имеют *одинаковый* характер; это явствует

прежде всего из того обстоятельства, что массы стремятся занять диаметрально направление (2461), а также вообще из физических особенностей и отношений кристаллов. Молекулы, как они лежат в массе кристалла, ни в коем случае не могут изображать собою состояние кучки железных опилок между магнитными полюсами или частиц железа в приставленном к месту якоря, и сами не могут быть изображены ими; ибо у последних имеются полюсы *различных* наименований и качеств, обладающие способностью приставать друг к другу и образующие, таким образом, некоторую структуру. Между тем в кристалле молекулы обращены друг к другу полюсами одинаковой природы, ибо здесь все полюсы, так сказать, одинаковы.

2564. Как показывают опыты, магнекристаллическая сила представляет собою силу, действующую на расстоянии, так как кристалл приводится в движение магнитом на расстоянии (2556, 2574), и в свою очередь кристалл может привести в движение магнит на расстоянии. Для того чтобы произвести это последнее явление, я намагнитил стальное шило длиной около 3 дюймов и затем подвесил его вертикально на отдельном коконовом волокне длиной в 4 дюйма к небольшому горизонтальному стержню, который в свою очередь был подвешен в своем центре на другом отрезке коконового волокна к неподвижной точке. Таким образом, шило могло свободно вращаться около собственной оси и могло также описывать круг с диаметром приблизительно в  $1\frac{1}{2}$  дюйма. Этому последнему движению не препятствовало стремление стрелки занять определенное направление под влиянием Земли, так как она могла занять любое положение на окружности и все же остаться параллельной самой себе.

2565. Из стеклянной палочки и медной проволоки была устроена совершенно саободная от магнитного влияния стойка, которая проходила через дно и находилась на продолжении верхней оси вращения и, следовательно, была концентрична с тем кругом, который мог описывать магнитик. Высота стойки

была такова, что она могла держать кристалл или какое-либо другое вещество на уровне полюса на нижнем конце стрелки и в центре небольшого круга, по которому полюс мог вращаться около кристалла. Перемещением нижнего конца стойки можно было верхний конец ее приближать к магниту или удалять от последнего. Все это было покрыто стеклянным колпаком и оставлено на время, в течение которого установка могла принять постоянную температуру и прийти в состояние покоя; тогда магнитная игла принимала *постоянное* положение под влиянием силы кручения подвесной нити. Далее, вращение стойки, устроенной из стекла и медной проволоки, не производило никакого изменения в окончательном положении магнита, ибо хотя движение воздуха увлекало магнит в сторону, он в конце концов возвращался на прежнее место. При отводе его из этого места сила кручения шелкового подвеса заставляла эту систему колебаться; продолжительность половины колебания, т. е. передвижения в одном направлении, составляла около трех минут, и, следовательно, полного колебания — шесть минут.

2566. Когда на опорной стойке был укреплен кристалл висмута с магнекристаллической осью в горизонтальном направлении, то его можно было поставить вблизи нижнего полюса магнита в любое положение. Если затем его оставить на два или три часа или до тех пор, пока путем повторных испытаний можно установить, что магнитный полюс занял устойчивое положение, то можно определить это положение, а также величину и направление влияния, которое на него оказывает висмут. Эти наблюдения требовали чрезвычайных мер предосторожности, и наблюдатель не должен был при своем приближении к месту опыта иметь при себе никаких стальных и железных предметов, как очки, яжи, ключи и т. п.; кроме того, в этом случае приходилось пользоваться стеклянными подсвечниками. Производимое висмутом действие было весьма незначительно, но все же оказалось, что когда направление магнекристаллической оси составило угол в 10, 20 или 30°

с линией, идущей от магнитного полюса до середины кристалла висмута, то полюс следовал за ней, стремился привести обе эти линии в параллельное положение. Это происходило независимо от того, какой конец магнитной оси был обращен к полюсу, и в какую сторону он от него был отклонен. Путем повторных движений висмута можно было довести отклонение магнитного полюса до  $60^\circ$ .

2567. Таким образом, кристалл висмута может действовать на магнит и влиять на него на расстоянии.

2568. Но хотя, таким образом, это влияние имеет характер силы, действующей на расстоянии, оно все же вызывается той силой частиц, которая заставляет их соединяться в правильном порядке и сообщает всей массе ее кристаллическую структуру; мы называем ее иногда агрегатным сцеплением и зачастую говорим о ней, что она действует на *неощутимых* расстояниях.

2569. Для дальнейшего выяснения природы этой силы я исследовал затем влияние на кристаллы висмута теплоты, когда они находятся в магнитном поле. Кристаллы подвешивались на тонкой платиновой или медной проволоке и нагревались, иногда — с помощью небольшой спиртовой лампы, которая подносилась прямо к кристаллу, а иногда — в масляной ванне, помещенной между магнитными полюсами. Хотя в этих случаях восходящие токи воздуха и жидкости были весьма сильны, они были все же слишком слабы, чтобы преодолеть вызываемое магнекристаллическим действием стремление кристаллов установиться в определенном направлении; они скорее помогали узнавать, когда это действие ослабляется или прекращается.

2570. Если температуру воздуха постепенно повышать, то кристалл висмута продолжает устанавливаться в определенном направлении, но затем внезапно становится безразличным в этом отношении и начинает под влиянием восходящих токов воздуха поворачиваться в разных направлениях. Если сейчас же после этого удалить пламя лампы, висмут начинает

медленно и правильно вращаться, как если бы у него не было стремления занять какое-либо одно направление предпочтительно перед другим или как если бы у него не оставалось более никакой магнекристаллической силы. Однако спустя несколько секунд, когда температура упадет, он вновь приобретает свою способность устанавливаться в определенном направлении, и притом — мгновенно и в полном объеме; при этом он устанавливается в том же самом направлении, что и вначале. При тщательном осмотре кристалла его внешний вид и разлом показали, что как кристалл он не претерпел никаких изменений. Лишь небольшой шарик висмута, выступивший в одном месте на его поверхности, показал, что температура подошла очень близко к точке плавления.

2571. Тот же результат получался и в масляной ванне, только удаление лампы от масляной ванны не прекращало в тот же момент поступления тепла в висмут, и последний расплавился в большем количестве: около четвертой части его превратилось в каплю, которая висела на нижнем конце. И снова вся масса теряла при высокой температуре свою (магнекристаллическую) силу, и эта сила при охлаждении появилась вновь в прежнем направлении, но в меньшем размере. Причина ослабления силы была выяснена, когда кристалл был разбит: а именно та часть его, которая была расплавлена, закристаллизовалась теперь неправильно, вследствие чего, будучи активной в начале опыта, она к концу последнего стала нейтральной.

2572. Поскольку теплота оказывает такое действие, прежнее ожидание (2502), что висмут *в магнитном поле* будет кристаллизоваться правильно, является, конечно, необоснованным; ибо металл должен прийти в твердое состояние и его температура должна, вероятно, понизиться на несколько градусов, только тогда он приобретет способность проявлять магнекристаллические явления. Если теплота оказывает такое же действие на все тела до их плавления, то, конечно, ни с одним из них нельзя воспользоваться таким процессом.

2573. Тот же опыт был произведен с куском кристаллической сурьмы, и последняя тоже потеряла свою магнекристаллическую силу ниже темно-красного каления, как раз когда она начала размягчаться настолько, что на ней появлялся след той медной петли, на которой она висела. После охлаждения она не вернулась к прежнему состоянию, а стала просто магнитной и начала устанавливаться в определенном направлении. Магнитность, как я полагаю, возникла благодаря железу под действием пламени и теплоты спиртовой лампы. В самом деле, теплоты оказалось достаточно для того, чтобы часть сурьмы сгорела и поднялась в виде паров окиси сурьмы, а, значит, это могло освободить и некоторое количество железа, которое затем было приведено (2608) углеродом и водородом пламени в сильно магнитное состояние.

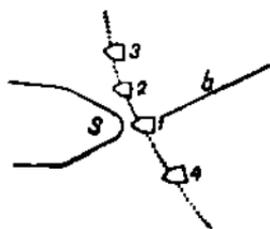


Рис. 184

2574. Для дальнейшего выяснения взаимодействия между висмутом и магнитом висмут был подвешен, как это было описано выше (2551), на бифилярных весах, но был повернут так, что его магнекристаллическая ось, будучи горизонтальна, не была ни параллельна, ни перпендикулярна к плечу коромысла, а стояла под некоторым углом к нему, как это показано на рис. 184; здесь 1 изображает прикрепленный к плечу весов *b* кристалл висмута, ось которого расположена таким образом, что кристалл может при своем колебании проходить через различные положения 1, 2, 3, 4; *S* — полюс магнита, который отделен от кристалла лишь стеклом колпачка. Ясно, что в положении 1 магнекристаллическая ось и магнитная силовая линия друг другу параллельны; в положениях же 2, 3, 4 они образуют друг с другом некоторый угол. Когда этот прибор установлен так, что кристалл висмута находится в равновесии в 1, то возникновение полной магнитной силы гонит его в 4; это — результат диамагнитного действия. Однако, когда вис-

мут находится в равновесии в 2, то возбуждение магнитной силы толкало его не в 3, как можно было бы ожидать по прежним опытам, а к 1; до этого места он обычно доходил, а иногда даже заходил за него и проходил немного далее по направлению к 4. В этом случае магнекристаллическая и диамагнитная силы были направлены противоположно друг другу, и до положения 1 первая из них имела перевес.

2575. Однако, хотя в приведенных выше опытах кристалл двигался поперек силовых линий в магнитном поле, нельзя ожидать, что он будет вести себя так же в таком поле, где линии идут параллельно и одинаковы по силе, как это имеет место между плоскими полюсами; здесь кристалл вынужден двигаться лишь параллельно самому себе, так как при этих условиях силы в обоих направлениях и по обе стороны от массы одинаковы, и единственное стремление, которое кристалл имеет благодаря своему магнекристаллическому состоянию, заключается в том, чтобы вращаться около вертикальной оси до тех пор, пока он окажется в своем естественном положении в магнитном поле.

2576. Затем относительно магнекристаллической силы возникает чрезвычайно важный вопрос, а именно, является ли она первоначальной силой, присущей кристаллу висмута и др., или же она возбуждается под магнитным и электрическим влиянием. Когда мы держим кусок мягкого железа вблизи магнита, то он приобретает новые силы и свойства. Одни полагают, что это связано с возникновением благодаря индукции в мягком железе и его частицах новой силы, которая по своей природе подобна силе индуцирующего магнита. Другие думают, что эта сила уже первоначально существовала в частицах железа и что индуктивное действие заключается лишь в том, что оно приводит все эти элементарные силы в одно общее для всех направление. В применении к кристаллам висмута мы не можем прибегнуть к последнему допущению без всякого изменения, ибо в данном случае все частицы наперед имеют

определенное расположение, причем именно это расположение частиц и их сил и сообщает висмуту его свойство. Если частицы какого-нибудь вещества находятся в беспорядочном состоянии, как частицы железа, когда последнее не намагничено, то магнитная сила может возбудить магнитное, а также диамагнитное состояние, которое, вероятно, является состоянием индукции; однако отсюда сразу не явствует, чтобы она могла возбудить такое состояние, какое мы сейчас рассматриваем.

2577. Что частицы в широком объеме сохраняют свои особенности во всех явлениях, это становится ясным, если принять в соображение, что они обладают некоторой присущей им способностью или силой — силой кристаллизационной, которая от них совершенно неотъемлема, так что ее нельзя изменить какой бы то ни было обработкой; это и есть та самая сила, которая, располагая частицы в правильном порядке в массе вещества, делает их способными действовать совместно на магнит или на электрический ток и влиять на них или же испытывать на себе их влияние; и когда частицы не расположены вышеуказанным образом, а расположены в массе во всех направлениях, тогда сумма их сил во вне равна нулю, и никакое индуцирующее действие магнита или тока не может произвести ни малейшего следа этих явлений.

2578. А что частицы даже до кристаллизации могут до некоторой степени действовать на расстоянии благодаря своей кристаллизационной силе, на это, я думаю, указывает следующий факт. В склянке содержалось около кварты раствора сернонатриевой соли такой крепости, что в холодном состоянии для его кристаллизации достаточно было прикоснуться к нему кристаллом этой соли или посторонним телом; эта склянка была случайно оставлена в течение недели или дольше без присмотра и в полном покое. Раствор оставался жидким, но достаточно было прикоснуться к склянке — и сразу во всей массе произошло кристаллизация, причем получились светлые, отчетливые, прозрачные пластинки, имевшие длину в дюйм или больше, ширину около полдюйма; они были очень тонки,

вероятно, около одной пятидесятой или шестидесятой части дюйма. Все они были расположены горизонтально и, конечно, параллельно друг другу, и, если память мне не изменяет, они были направлены своей длиной одинаково и были схожи по своему характеру, а также, по-видимому, по своему количеству во всех частях склянки. При опрокидывании склянки они держали на весу почти всю жидкость, а когда жидкость была вылита, они представляли собою прекрасную и однородную коллекцию кристаллов. Это явление привело меня тогда к убеждению, что хотя влияние частицы в растворе в момент, близкий к кристаллизации, должно распространяться непосредственно и преимущественно на соседние с ней частицы, она может все-таки оказывать влияние и за их пределами, без чего вся масса раствора едва ли могла бы быть приведена в состояние столь однородной кристаллизации. Может ли быть связано горизонтальное положение пластинок с почти вертикальным направлением магнитных силовых линий, которые в течение всего времени пребывания склянки в покое проходили через нее от земного магнетизма — это выходит за пределы того, что я решаюсь утверждать.

2579. В нижеследующем приведены соображения, имеющие отношение к большому вопросу (2576) о том, каково это состояние: первоначальное или индуцированное.

2580. Прежде всего, висмут не уносит с собой из магнитного поля никакой силы или особого состояния, которое сообщало бы ему способность действовать на магнит (2504); стало быть, если состояние, приобретенное кристаллом, является индуцированным, то оно, по всей вероятности, является переходящим и наблюдается в течение только того времени, когда кристалл находится под действием индукции. Хотя доказательство, почерпаемое из этого факта, имеет по существу только отрицательное значение, этот факт все же находится — в том виде, как он установлен — в согласии с указанным выше допущением.

2581. Далее, допустим, что указанное действие именно в кристалле полностью вызывается некоторой первоначальной

присущей массе силой; тогда мы могли бы надеяться установить, что земной магнетизм или какой-либо слабый магнит окажет на кристалл некоторое влияние. Ведь, в самом деле, малая магнитная сила должна *индуцировать* в кристалле висмута некоторое определенное состояние точно так же, как большая, но лишь в соответствующей пропорции. Но если это состояние присуще кристаллу и величина его не изменяется в зависимости от величины действующей на него магнитной силы, то малая магнитная сила должна действовать на висмут более явственно, чем она действовала бы, если бы это состояние в висмуте индуцировалось и притом лишь пропорционально индуцирующей силе. Какова бы ни была ценность этого соображения, оно побудило меня очень тщательно повторить опыт касательно влияния Земли (2505). Я подвешивал кристаллы в небольшие колбы или склянки, заключенные в защитные склянки большего размера, и производил опыт и подвале с ровной и постоянной температурой; таким образом я мог исключить всякое действие воздушных течений, так что кристаллы повиновались малейшему кручению, сообщаемому подвесной нити посредством находившегося наверху указателя. При этих обстоятельствах я не мог найти никаких указаний на стремление установиться в определенном направлении под влиянием земли ни у кристаллов висмута, ни у кристаллов сульфата железа. Быть может, на экваторе, где силовые линии идут горизонтально, эти указания можно было бы сделать заметными.

2582. В-третьих, если допустить, что в кристаллах и их молекулах существует первоначальная сила, то можно было бы ожидать, что они обнаружат какое-либо непосредственное влияние друг на друга, независимо от магнитной силы, и если бы это оказалось так, то этим путем был бы получен наилучший возможный аргумент в пользу того, что сила, которая обнаруживается в магнитном поле, присуща самим кристаллам. Однако, помещая большой кристалл с горизонтально направленной магнекристаллической осью под небольшим подашен-

ным кристаллом или рядом с ним, я не мог заметить никакого признака взаимодействия; не было их и тогда, когда я сошлифовал или выравнял путем растворения сближаемые части кристаллов, чтобы таким образом возможно теснее приблизить друг к другу две массы, устроить большие поверхности на возможно малом расстоянии друг от друга. Эти опыты требуют чрезвычайной тщательности (2581), так как в противном случае происходит много явлений, которые как будто указывают на существование какого-то взаимодействия между этими телами.

2583. Не мог я найти никакого следа взаимодействия и между двумя кристаллами висмута или сульфата железа, когда оба они находились в магнитном поле и один из них был подвешен, а другой перемещался из одного положения в другое вблизи первого.

2584. Отсутствие или крайняя незначительность способности кристаллов висмута влиять друг на друга, а также действие теплоты, которая способна отнять у кристалла его силу раньше, чем он потеряет свое чисто кристаллическое состояние (2570), заставляет меня думать, что сила, обнаруживающаяся в кристалле, когда он находится в магнитном поле, проявляющаяся посредством внешних действий и вызывающая движение его массы, является преимущественно и почти полностью *индуцированной* каким-то путем, зависящим, конечно, от кристаллической силы, и в конце концов прибавляется к последней; но в то же время она повышает эту силу и ее действия до некоторой величины, какой они не достигли бы без индукции.

2585. В таком случае следовало бы по отношению к этой силе применить слово «магнитокристаллическая», так как она возникает или возбуждается под влиянием магнита. Словом «магнекристаллическая» я пользовался специально для обозначения того, что, по моему мнению, принадлежит самому кристаллу; в этом смысле я и в дальнейшем буду говорить о магнекристаллической оси и т. п.

2586. Эта сила представляется мне очень странной и удивительной по своему характеру. Она не полярна, так как в данном случае нет ни притяжения, ни отталкивания. Затем, какова природа той механической силы, которая вращает кристалл (2460) или сообщает ему способность действовать на магнит (2564)? Кристалл ведет себя не так, как вращающаяся проволочная катушка, на которую действуют магнитные силовые линии, ибо для действия катушки требуется электрический ток, и затем кольцо все время обладает полярностью и сильно притягивается или отталкивается.<sup>1</sup>

2587. Можно было бы временно допустить, что аксиальное положение таково, что в нем кристалл не испытывает действия, но что при косвенном положении магнекристаллическое аксиальное направление испытывает действие и становится полярным; при этом появляются два натяжения, вращающие кристалл; но тогда одновременно должны были бы иметь место притяжения, и подвешенный вкось кристалл должен был бы притягиваться отдельным полюсом или ближайшим из двух полюсов. Однако никакого подобного действия не наблюдалось.

2588. Можно еще предположить, что в направлении магнекристаллической оси кристалл по сравнению с другими направлениями несколько больше поддается магнитной индукции или несколько меньше поддается диамагнитной индукции. Но если это так, то он должен был бы обязательно обнаруживать полярные притяжения в случае магнитных тел, как сульфат железа (2557, 2583); а в случае диамагнитных тел, как висмут, он должен был бы обнаруживать различие в величине отталкивания, когда он подвешен магнекристаллической осью параллельно или перпендикулярно к магнитным силовым линиям (2552). Но кристалл этого не делает.

2589. Я до сих пор не знаю примера силы, подобной рассматриваемой, когда тело приводится только в определенное направление без притяжения или отталкивания.

<sup>1</sup> Возможно, что в дальнейшем эти пункты будут объяснены действием смежных частей (1663, 1710, 1729, 1735, 2443).

2590. Если эта сила индуцируется, то она должна быть, вообще говоря, подобна главенствующим индуцирующим силам, а таковыми в настоящем случае являются силы магнитные и электрические. Если она индуцируется, то, будучи подвергнута действию силы кристаллизации (2577), она должна показать внутреннюю связь между этой силой и вышеуказанными. Поэтому какой надеждой мы должны быть преисполнены, что эти опыты помогут нам раскрыть двери к полному познанию этих сил (2146) и тех сложных условий, в которых они пребывают в частицах материи и оказывают свое влияние, производя вызываемые ими чудесные явления!

2591. Я не могу воздержаться от того, чтобы высказать здесь еще один взгляд на эти явления — взгляд, который, быть может, является правильным. Можно думать, что магнитные силовые линии до некоторой степени подобны лучам света, теплоты и т. д. и допустить, что при прохождении через тела они встречают известное затруднение и таким образом испытывают на себе их действие — так же, как его испытывает свет. Так, например, когда на их пути имеется кристаллическое тело, то по направлению магнекристаллической оси они могут проходить через них легче, или с меньшим сопротивлением, чем по другим направлениям. В этом случае то направление, которое кристалл принимает в магнитном поле, т. е. такое, при котором магнекристаллическая ось направлена параллельно магнитным силовым линиям, — это направление, может быть, таково, что при нем сопротивление отсутствует или же является наименьшим; тогда это направление будет направлением покоя и устойчивого равновесия. Все диаметральные действия оказались бы в согласии с этим воззрением. Тогда магнекристаллическая ось была бы для магнитных силовых линий совершенно тем же, чем оптическая ось является для поляризованного света, а именно — тем направлением, в котором они не испытывают на себе никакого влияния. Если бы это было так, то, поскольку эти явления имеют место в кристаллических телах, мы могли бы надеяться открыть ряд явлений,

связанных с замедлением или с влиянием направления, и они были бы параллельны тем прекрасным явлениям, которые дает в подобных телах свет. Высказывая это предположение, я не забываю об инерции и количестве движения, но то представление, которое я могу составить себе об инерции, не исключает вышеизложенного воззрения, как совершенно иррационального. Я вспоминаю также, что когда магнитный полюс и провод, по которому идет электрический ток, скреплены вместе таким образом, что один не может вращаться без другого, то если один из них сделать осью, то другой будет вращаться и увлекать за собою первый; я вспоминаю еще, что если магнит заставить плавать в ртути и пропустить через него ток, то магнит будет вращаться под действием тех сил, которые существуют *внутри* его массы. При моих несовершенных математических познаниях мне представляется, что для объяснения этих движений имеется столько же затруднений, как и для объяснения того, которое я здесь предполагаю; поэтому я и решаюсь выдвинуть эту идею.<sup>1</sup> Надежды получить поляризованный пучок магнитных сил сами по себе уже достаточны для того, чтобы побудить к серьезной работе над таким вопросом, какой стоит перед нами хотя бы только мысленно; а я могу определенно утверждать, что ни у кого, кто производит научные исследования усердно, беспристрастно и осторожно, экспериментальная работа никогда не останется тщетной.

2592. В одном из своих прежних докладов (2469) я упоминал уже о прекрасном открытии Плюккера и о явлениях, связанных с отталкиванием оптической оси<sup>2</sup> некоторых кристаллов магнитом, и указал на их отличие от моих собственных, полученных с висмутом, сурьмой и мышьяком; в них нет ни отталкивания, ни притяжения. При этом я вместе с Плюккером полагал, что обнаружившаяся там сила является силой опти-

<sup>1</sup> См. примечание (2839).

<sup>2</sup> Об отталкивании оптических осей кристаллов полюсами магнита. Poggendorff's Annalen, LXXII, октябрь 1847, или Scientific Memoirs Тейлора (Taylor), V, стр. 353.

ческой оси и действует в экваториальном направлении, а потому направлена перпендикулярно к той силе, которая вызывает магнекристаллические явления.

2593. Но обе эти силы имеют отношение к кристаллической структуре и, следовательно, к той силе, которая создает это состояние; это вполне очевидно. Другие соображения, касающиеся положения, установки в определенном направлении и вращения, точно так же указывают на то, что отношение, в котором эти две силы находятся друг с другом, сильно отличается от того отношения, какое существует между ними и магнитной и диамагнитной силой. Поскольку, таким образом, ясно устанавливается, с одной стороны, указанное выше сходство, а с другой стороны, отчетливое различие, я попытаюсь сопоставить эти два ряда явлений и выяснить, не тождественны ли те силы, которые их вызывают.

2594. Я имел благоприятную возможность проверить под руководством самого Плюккера его опыты с турмалином, ставролитом, красной кровяной солью и исландским шпатом. Позднее, в связи с настоящей работой, я тщательно исследовал шпат, поскольку он принадлежит к телам, которые, с одной стороны, свободны от магнитного действия, а с другой, имеют столь простую кристаллическую структуру, что обладают лишь одной оптической осью.

2595. Когда небольшой ромбоид, наибольшее протяжение которого составляет около 0.3 дюйма, подвешен с горизонтально направленной оптической осью между остроконечными полюсами электромагнита (2458), придвинутыми друг к другу настолько, чтобы только не мешать движению кристалла, то ромбоид устанавливается в экваториальном направлении, и оптическая ось его совпадает с магнитной осью. Но если полюсы раздвинуть друг от друга на расстояние половины или трех четвертей дюйма, то ромбоид поворачивается на  $90^\circ$  и устанавливается своей оптической осью в экваториальном направлении, а наибольшей длиной — аксиально. В первом случае диамагнитная сила одерживала верх над силой опти-

ческой оси; во втором случае сила оптической оси оказалась большей из этих двух сил.

2596. Для того чтобы устранить диамагнитное действие, я воспользовался плоскими полюсами (2463); в этом случае наш небольшой ромбoid всегда устанавливался так, что его оптическая ось была направлена экваториально, или же колебался около этого положения.

2597. Я взял также три кубика известкового шпата (1695) со сторонами в 0.3, 0.5 и 0.8 дюйма, в которых оптические оси были перпендикулярны к двум из их граней, и последовательно помещал их в магнитном поле между плоскими и остроконечными полюсами. Во всех случаях оптическая ось, если она была направлена горизонтально, принимала экваториальное положение; когда же она была направлена вертикально, то кубики оказывались в отношении направления безразличными. Методом двух положений (2470) было легко найти силовую линию, которая, будучи направлена вертикально, прекращала действие магнита на массу, а будучи расположена горизонтально, принимала экваториальное направление. Когда кубик затем исследовался в поляризованном свете, то оказалось, что эта линия совпадает с оптической осью.

2598. Даже подковообразный магнит (2485) достаточно силен для того, чтобы воспроизвести указанные выше явления.

2599. Я подверг испытанию два подобных кубика горного хрусталя (1692), но не мог заметить ни следа явлений, которые имели бы магнеоптическое, магнекристаллическое или какое-нибудь иное отношение к кристаллической структуре их масс.

2600. Таким образом, вполне достоверно, что в кристалле известкового шпата имеется линия, совпадающая с оптической осью; эта линия, видимо, представляет собою результирующую сил, заставляющих кристалл принимать некоторое определенное направление в магнитном поле; равным образом достоверно, что эта линия устанавливается в экваториальном направлении. И тем не менее, если ее рассматривать как силовую

линию, т. е. как линию, изображающую направление той силы, которая приводит кристалл в это положение, то, мне кажется, она содержит в себе нечто аномальное по своему характеру. В самом деле, здесь действие направляющей и определяющей силовой *линии* как будто истощается тем, что она стремится стать в некоторой *плоскости* (экваториальной), а в ней она может занять безразлично любое из бесчисленного множества положений; я не могу себе составить об этом ясное представление и прихожу к мысли, что здесь имеется еще какое-то действие или остаточное явление, которое надо распознать и объяснить.

2601. При дальнейшем рассмотрении оказывается, что с помощью одного магнекристаллического состояния, как оно имеется в висмуте, можно сделать простое устройство, которое в совершенстве изобразят нам состояние известкового шпата; в самом деле, возьмем два одинаковых куска висмута и расположим их магнекристаллическими осями перпендикулярно друг к другу (2484); тогда мы получим систему сил, которая на вид будет иметь в качестве своей результирующей линию, стремящуюся установиться в экваториальном направлении. Когда эта линия вертикальна, то система является, с точки зрения своего положения, безразличной; но когда она горизонтальна, то система устанавливается таким образом, что эта линия находится в экваториальной плоскости. Тем не менее действительная сила проходит не в экваториальном, а в аксиальном направлении, и система приводится в движение скорее тем, что можно рассматривать как *плоскость аксиальной силы* (получающейся в результате сложения двух взаимно перпендикулярных осей), а не как *линию экваториальной силы*.

2602. Конечно, ромбоид или куб (2597) известкового шпата не являются сложным кристаллом, подобным только что упомянутой системе кристаллов висмута (2601), но его молекулы могут обладать сложным распределением своих сил и могут иметь две или более осей силы, которые, создавая кристаллическую структуру, могут в то же время проявлять по отноше-

нию к магниту такую силу, которая таким же образом будет давать явления того же рода, какие имеют место у двойного кристалла висмута (2601). Действительно, мысль о том, что в частицах исландского шпата или в частицах висмута должна существовать лишь одна ось кристаллической силы, представляется мне никак не совместимой с тем фактом, что эти вещества *разламываются* в трех или более направлениях.

2603. Оптическая ось в куске известкового шпата представляет собою просто линию, по которой луч света, поляризованный или обыкновенный, подвергается при прохождении наименьшему действию. Может быть, это такая линия, которая, как результирующая молекулярных сил, является линией наименьшей интенсивности, а нет сомнения, что, с точки зрения обычных и механических средств испытания сцепления, кусок известкового шпата на своих гранях и в местах, параллельных оптической оси, заметно и даже гораздо тверже, чем на гранях, перпендикулярных к последней. Это можно показать с помощью обыкновенного осколка или куска песчаника. Таким образом, поскольку плоскость, экваториальная по отношению к оптической оси, представляет направления, по которым сила, вызывающая кристаллизацию, больше, чем по направлению оптической оси, она может быть также той плоскостью, в которой проявляется действие результирующей ее магнекристаллической силы.

2604. В некотором противоречии с этими соображениями и вынужден отметить, что висмут, сурьма и мышьяк очень легко *разламываются* перпендикулярно к магнекристаллической оси (2475, 2510, 2532). Но мы должны помнить, что сила разлома (и значит сцепления) является не единственным обстоятельством, которое нужно принимать во внимание, так как в известковом шпате она не совпадает ни с аксиальным, ни с экваториальным положением в магнитном поле; для полного понимания и установления правильного отношения между всеми этими моментами мы должны не упускать из внимания и полярного (или аксиального) состояния частиц в массе вещества.

2605. Я должен также согласиться, что если мы будем рассматривать известковый шпат как тело, представляющее простую систему силы, то, соединяя два кристалла с взаимно перпендикулярно направленными оптическими осями, мы можем устроить сложную массу, которая будет правильно изображать висмут в направлении силы, т. е. в магнитном поле эта система будет, видимо, стремиться устанавливаться только по одной силовой линии, и притом — в аксиальном направлении; между тем в действительности она будет приводиться в движение системой сил, лежащих в экваториальной плоскости. Я не решаюсь в настоящее время утверждать, что дело обстоит не так; но я полагаю, что металлы висмут, сурьма и мышьяк дают нам простейшие и по своим действиям наиболее интенсивные случаи магнекристаллической силы; как бы там ни было, я все же придерживаюсь мнения, что явления, открытые Плюккером, и явления, о которых я сообщил в этих двух докладах, имеют общее происхождение и общую причину.

2606. Я тщательно разобрался во всех опытах и рассуждениях с Плюккеровыми кристаллами (как известковый шпат, турмалин и красная кровяная соль) с точки зрения вопроса о первоначальной или индуцированной силе (2576), как я это сделал раньше, и пришел к тому же выводу, что и в первом случае (2584).

2607. Я не мог установить, чтобы кристаллы красной кровяной соли или турмалина испытывали на себе влияние земного магнетизма (2581) или чтобы они обладали способностью действовать друг на друга (2582). Не мог я также установить, чтобы явления с известковым шпатом или красной кровяной солью, открытые Плюккером, сводились к притяжению или отталкиванию, или, наоборот, были связаны только с направлением (2550, 2560). Все эти обстоятельства склоняют меня к убеждению, что сила, действующая в его опытах и в моих явлениях с висмутом и другими, одна и та же.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Оптическая ось представляет собою направление наименьшей оптической силы; согласно опытам Плюккера, она совпадает с тем направле-

2608. Небольшой ромбоид исландского шпата был нагрет в магнитном поле до высшей температуры, какую могла дать спиртовая лампа (2570); он дошел по меньшей мере до температуры полного красного каления меди, но стремился к определенному направлению столь же хорошо, как и раньше. Небольшой толстый турмалин был нагрет до такой же степени и занимал определенное направление столь же хорошо. Однако после охлаждения он стал весьма магнитным и, казалось, сделался совершенно непригодным для опытов при низких температурах; но когда я продержал его несколько секунд в царской водке, то с его поверхности ушло в раствор немного железа, и он после этого начал устанавливаться в определенном направлении столь же хорошо, как прежде, и в согласии с законом Плюккера. На его поверхности некоторое количество пероксида было восстановлено пламенем и теплотой в протоксид, что и вызвало вышеуказанные магнитные явления.

2609. Между магнитооптическими явлениями Плюккера и теми явлениями, которые я ранее получил с тяжелым стеклом и другими телами (2152 и т. д.), существует общая и, как мне кажется, важная связь. Когда какое-нибудь из этих тел под влиянием магнитных или электрических сил оказывается под действием сильной индукции, то оно приходит в особое состояние, при котором оно может оказывать влияние на поляризованный луч света. Это действие заключается во вращении луча, когда последний проходит через вещество параллельно магнитным силовым линиям, или, другими словами, в аксиальном направлении; но когда он проходит в экваториальном направлении, никакого действия не получается. Таким образом, экваториальная плоскость является той плоскостью, в которой

нием, которое я в своих опытах рассматриваю как направление наименьшей магнесталлической силы. Представляется более чем вероятным, что во всех случаях, когда в одном и том же теле можно будет установить оба ряда явлений (реально или только номинально различных), то окажется, что направления как максимального, так и минимального действия здесь и там совпадут. 23 ноября 1848 г

состояние молекулярных сил с точки зрения их влияния на свет возмущается в наименьшей степени. Так же обстоит дело и в явлениях Плюккера; оптическая ось или оптические оси, если их имеется две, при том же магнитном влиянии направляются в указанную плоскость, и они точно также являются линиями, по которым происходит минимальное действие (или не происходит никакого действия) на поляризованный свет.

2610. Представим себе, что кусок тяжелого стекла или некоторое количество воды возможно привести наперед в это состояние напряжения и затем поместить в магнитное поле; мне думается, что тогда они несомненно пришли бы в движение, если бы им предоставить такую возможность, и, естественно, установились бы так, что плоскость, в которой нет никакого действия на свет, стала бы экваториальной, совершенно так, как это происходит в опытах Плюккера с кристаллом известкового шпата или турмалина. И подобно тому, как в его опытах результат действия не изменяется от того, каковы свойства тел: магнитные или диамагнитные, так и в моих опытах производимый в обоих классах веществ оптический эффект имеет одно и то же направление и подчиняется одним и тем же законам (2185, 2187).

2611. Однако при указанном общем сходстве в этом большом и решающем моменте существует все же огромное различие в расположении сил в тяжелом стекле и в кристалле; еще большее различие заключается в том, что тяжелое стекло приходит в соответствующее состояние только на время, под напряжением и под действием индукции, между тем как кристалл обладает им без принуждения, естественно и постоянно. Но и в том и в другом случае, независимо от того, каково это состояние: естественное или индуцированное, оно представляет собою состояние частиц; а сравнение действия на свет стекла, находящегося в напряженном состоянии, с действием на свет свободного кристалла указывает на способность магнита индуцировать в частицах материи, и даже в частицах жидкостей (2184),

некоторое состояние, подобное тому, какое необходимо для кристаллизации.

2612. Если приведенные выше соображения имеют за собой какое-нибудь основание и если силы, обнаруживающиеся в кристаллах висмута и исландского шпата, действительно тождественны (2607), тогда имеется лишнее основание полагать, что, когда висмут и другие названные металлы находятся под действием силы магнита, в них существует как индуцированное состояние силы (2584), так и предсуществующая сила (2577). Последнюю можно, в отличие от другой, определить как кристаллическую силу; она обнаруживается, прежде всего, в таких телах, которые проявляют оптические оси и силовые линии, не находясь под действием индукции; она доказывается, далее, симметрическим состоянием всей массы, когда эти тела находятся в обыкновенных условиях, и, наконец, тем, что направление магнекристаллической силы в телах, которые согласно экспериментальным данным ею обладают, неподвижно [относительно тела].

2613. Хотя я говорил о магнекристаллической оси, как о некоторой линии или направлении, я никак не хотел бы быть понятым в том смысле, будто я допускаю, что вокруг этой оси сила убывает или состояние изменяется одинаково по всем направлениям. Представляется более вероятным, что в различных направлениях это изменение неодинаково по величине — в зависимости от сил, вызывающих различие форм кристаллов. Распределение этой силы можно точно установить, пользуясь хорошими кристаллами, постоянным обыкновенным магнитом (2485, 2528) или регулируемым электромагнитом, плоскими полюсами (2463) и кручением (2500, 2530).

2614. В заключение настоящей серии исследований я не могу не отметить, как быстро развивается наше знание молекулярных сил и как удивительно каждое научное изыскание все больше и больше раскрывает их важность и крайнюю привлекательность, как объекта изучения. Еще немного лет тому назад магнетизм был для нас сокровенной силой, действующей лишь на неболь-

шое количество тел. В настоящее время установлено, что он влияет на все тела и находится в самой тесной связи с электричеством, теплотой, химическим действием, светом, кристаллизацией, а при посредстве последней — с силами, действующими при сцеплении; при таком положении вещей мы живо ощущаем потребность продолжать свои работы, поощряемые надеждой привести их в связь даже с тяготением.

*Королевский институт.*

20 октября 1848 г.

#### ГЛАВА VI

##### *О положении кристалла сульфата железа в магнитном поле*

Поступило 7 декабря. Доложено 7 декабря 1848 г.

2615. Хотя явления описанного ниже вида имеют общий характер, я тем не менее считаю уместным указать, что я получил их, пользуясь главным образом магнитными полюсами (2247), вид которых сверху и сбоку показан на рис. 185. Кристаллы, которые подвергались их действию, подвешивались на коконовой нити таким образом, что приходились на один уровень с верхней границей полюсов.

2616. Был выбран призматический кристалл протосульфата железа около 0.9 дюйма длиной, 0.1 дюйма шириной и 0.05 дюйма толщиной. Исследованием было установлено, что его магнекристаллическая ось совпадает с толщиной и что она, значит, перпендикулярна или почти перпендикулярна (2546) к пластинке. Когда кристалл был подвешен описанным выше образом и магнит (2247) возбуждался с помощью десяти пар пластин Грова, то кристалл устанавливался в поперечном положении, т. е. своей магнекристаллической осью параллельно оси магнитной

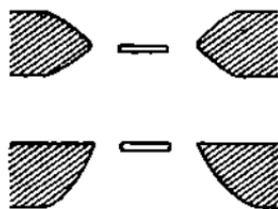


Рис. 185.

силы; так дело происходило, когда расстояние между полюсами составляло 2,25 дюймов и больше. Но когда это расстояние составляло около 2 дюймов или меньше, то он устанавливался в аксиальном направлении своей длиной или почти так и, значит, магнекристаллической осью поперек магнитных силовых линий. При промежуточных расстояниях между 2 и 2,25 дюймов призма принимала косвенное положение (2634), под большим или меньшим углом к аксиальной линии, и таким образом постепенно переходила из одного положения в другое. Это промежуточное расстояние я буду в дальнейшем называть  $n$  (нейтральным).

2617. Если полюсы находятся друг от друга на расстоянии 2 дюймов, а кристалл постепенно опускать, то он переходит через те же промежуточные косвенные положения в поперечное; если кристалл поднимать, наблюдаются те же переходы. При меньшем расстоянии между полюсами происходят те же изменения, но позднее. Когда кристалл поднимают, они происходят быстрее, чем когда его опускают; но это происходит только вследствие несимметричности распределения и интенсивности магнитных силовых линий вокруг магнитной оси, что вызывается подковообразной формой магнита и формой полюсов. Если бы для опыта были взяты два цилиндрических магнита с одинаковыми коническими концами, то без сомнения при равных подъемах и опусканиях имели бы место соответственно одинаковые изменения в положении кристалла.

2618. Однако эти изменения вызываются не просто ослаблением магнитной силы с расстоянием, а различиями в *форме* и *направлении* результирующих силы. Это доказывается тем фактом, что если кристалл оставить в первоначальном положении и, стало быть, установившимся своей длиной аксиально, то никакое уменьшение силы магнита не изменит его положения; таким образом, сколько бы пар пластин мы ни пустили в ход для возбуждения магнита — одну или десять — расстояние  $n$  (2616) остается неизменным; даже тогда, когда при понижении поля я перешел к обыкновенному подковообразному магниту, и получил тот же результат.

2619. Изменение длины призматического кристалла оказывает важное влияние на результат опыта. Когда кристалл короче, расстояние  $n$  уменьшается, причем все прочие явления остаются без изменения. Для кристалла длиной в 0.7 дюйма, но толще последнего, максимальное расстояние  $n$  было 1.7 дюйма. Для еще более короткого кристалла максимальное расстояние  $n$  было 1.1 дюйма. Во всех этих случаях изменение силы магнита не вызывало никаких заметных перемен.

2620. Изменение размера кристалла в направлении его магнетокристаллической оси влияло на расстояние  $n$ : удлинение кристалла вдоль магнетокристаллической оси уменьшало это расстояние, а укорочение кристалла в указанном направлении увеличивало его. Это я доказал двумя способами: во-первых, я ставил второй призматический кристалл рядом с первым в симметричном положении (2636), что сократило расстояние  $n$  до 1.75—2 дюймов; а затем я делал опыты последовательно с двумя кристаллами одинаковой длины, но различной толщины. У более толстого кристалла расстояние  $n$  оказалось меньше.

2621. Изменение высоты кристалла, т. е. его вертикального размера, не оказало заметного влияния на расстояние  $n$ . Оно и теоретически не должно его оказывать, пока прирост кристалла сверху или снизу не поставит верхнюю или нижнюю часть кристалла в условия, характерные для поднятых или опущенных объектов (2617).

2622. Изменение формы полюсов влияет на расстояние  $n$ . Когда полюсы более заострены, это расстояние увеличивается, а когда они более затуплены, вплоть до плоской формы (2463), то оно уменьшается.

2623. При более коротких кристаллах или при тупых полюсах часто оказывается необходимым уменьшить силу магнита, так как в противном случае кристалл может быть притянут к тому или другому полюсу. Однако этого можно избежать, если пользоваться вертикальной осью, закрепленной и сверху и снизу (2554); при этих условиях выяснилось, что различие в силе магнита не влияет или почти не влияет на результаты опытов.

2624. Описанные выше явления могут, вероятно, объясняться тем существенным различием, какое имеется между обыкновенным магнитным и магнекристаллическим действием, а именно тем, что первое из них является по своему характеру *полярным*, а второе только *аксиальным* (2472). Когда в магнитном поле находится кусок магнитного вещества, например железа, то он тотчас же становится полярным (т. е. концы его приобретают различные качества). Когда там находится много железных частиц, то все они становятся полярными, и если они имеют возможность двигаться, то они располагаются по направлению аксиальной линии, соединившись друг с другом противоположными полюсами; этим самым полярность частиц, находящихся на концах, усиливается. Но совершенно иначе обстоит, по-видимому, дело с частицами, находящимися под влиянием магнекристаллической силы: в данном случае сила оказывается, по-видимому, исключительно *аксиальной*, и отсюда, вероятно, проистекает различие вышеизложенных, а также многих других результатов.

2625. Так, например, если в магнитном поле равномерной силы (2465) подвесить четыре или большее количество железных кубиков, то они станут полярными. Точно также, если поставить в такие же условия четыре схожих кубика кристаллического висмута, они испытают влияние магнетизма и примут определенное направление. Если железные кубики сложить в ряд по направлению экваториальной линии, то они образуют систему, которая будет находиться в положении неустойчивого равновесия; она немедленно целиком повернется и установится в аксиальном направлении. Между тем кубики из висмута при подобном складывании не претерпят никакого заметного изменения.

2626. *Крайние* (и другие) из сложенных вместе по длине кубиков обладают теперь большей полярной силой, чем раньше, и вся группа кубиков служит, так сказать, проводником для линий магнитной силы; ибо много этих линий концентрируется в железе, и интенсивность силы между концами сложного желез-

ного стержня и магнитными полюсами оказывается гораздо больше, чем в других точках магнитного поля. Не так обстоит дело с кубиками из висмута: как их ни расположить, интенсивность силы в магнитном поле, поскольку это до сих пор показали опыты, не испытывает с их стороны никакого влияния, и интенсивность молекул кристаллов остается, по-видимому, прежней. Вот почему железо устанавливается между полюсами в длину; кристаллы же висмута, наоборот, все равно, как они стоят: бок о бок своими магнекристаллическими осями, так что устанавливаются в длину экваториально, или концом к концу, так что располагаются своей длиной аксиально, — в указанном выше отношении совершенно безразлично; в обоих случаях они колеблются и устанавливаются одинаковым образом.

2627. Если ввести кусок железа в поле равномерной магнитной силы и поднести к полюсу, он пристаёт к последнему и возмущает интенсивность поля, образуя в одном месте остроконечный полюс с расходящимися от него силовыми линиями. Кристалл висмута колеблется в любом месте поля (2467) с одинаковой на взгляд силой и не нарушает распределения силы.

2628. Вавешивая все эти действия и состояния, я склонен думать, что, когда мы имеем дело с телом одновременно и магнитным и магнекристаллическим, существование расстояния *n* может быть отнесено за счет того, что является причиной этих состояний и их различий, а именно, за счет *полярности*, которая свойственна магнитному состоянию, и за счет *аксиальности*, которая свойственна магнекристаллическому состоянию. Так, например, допустим, что имеется однородное магнитное поле с расстоянием в три дюйма от полюса до полюса и что посередине этого поля подвешен стержень из магнитного вещества длиной в дюйм. Благодаря своему свойству полярности стержень будет устанавливаться аксиально и будет передавать или проводить по своей массе магнитную силу гораздо лучше, чем она проходила раньше в том же месте, так что силовые линии между концами этого стержня и магнитными полюсами будут сгущаться и станут более интенсивными, чем во всех других местах магнитного

поля. Если полюсы приближать к стержню, то это действие будет усиливаться; стержень будет проводить все больше и больше магнитной силы и будет устанавливаться с соответствующей интенсивностью. При сближении полюсов не только становится интенсивнее магнитное поле, но и доля силы, проводимая стержнем, становится больше той, какая пропускается рядом с ним через такое же пространство в магнитном поле.

2629. Но если в магнитном поле поместить подобный же стержень из магнекристаллического вещества, то увеличение силы поля не достигнет при сближении полюсов того же размера, т. е. усилится не в той же большой пропорции. Нет никакого сомнения в том, что такое сближение повышает интенсивность силовых линий и, следовательно, повышает интенсивность магнетокристаллического состояния, но это состояние, по-видимому, не связано с полярностью, и сила, которую пропускает стержень, не больше той, которая проходит где-нибудь вне стержня через равное пространство в магнитном поле. Поэтому возрастание его направляющей силы происходит не так быстро, как возрастание направляющей силы упомянутого здесь магнитного стержня.

2630. Если мы затем возьмем стержень, который, подобно призме сульфата железа, является и магнитным и магнекристаллическим и у которого магнекристаллическая ось перпендикулярна к его длине, то для такого стержня, надлежащим образом подвешенного, должно существовать некоторое расстояние  $n$  между полюсами, при котором силы должны находиться почти в равновесии. При большем расстоянии между полюсами должна иметь перевес магнекристаллическая сила, а при меньшем расстоянии перевес должен быть на стороне магнитной силы, просто потому, что для магнитной силы, вследствие подлинной полярности молекул, увеличение и уменьшение происходит быстрее, чем для магнетокристаллической силы.

2631. Эта точка зрения находится в согласии и с тем фактом, что изменение силы магнита не влияет на расстояние  $n$  (2618, 2619), ибо при увеличении этой силы вдвое или вчетверо одно-

временно увеличиваются вдвое или вчетверо и магнитная и магнитокристаллическая силы и, стало быть, их отношение остается неизменным.

2632. Перемещение кристалла вверх или вниз от линии максимума магнитной силы в принципе, очевидно, равнозначно увеличению расстояния между магнитными полюсами и должно поэтому производить соответствующие действия, что в действительности и имеет место (2617). Сверх того, когда кристалл поднят выше уровня полюсов, то результирующие магнитной силы, которые проходят через него, уже не параллельны его длине, а оказываются более или менее изогнутыми, так что они, вероятно, не могут теперь с такой же силой приводить весь кристалл в согласное поляризованное магнитное состояние, как в том случае, когда они ей параллельны. Что же касается возбуждения магнитокристаллического состояния, то каждая частица, по-видимому, испытывает действие независимо от всех прочих частиц, и, стало быть, здесь не должно наблюдаться какого-либо ослабления действий в зависимости от соединения действия отдельных частиц.

2633. Г-н Плюккер в бытность свою в Англии в минушем августе сообщил мне, что при изменении расстояния сила отталкивания на оптической оси уменьшается и увеличивается менее быстро, чем магнитная сила, но что при опытах с более сильным или более слабым магнитом ее отношение к магнитной силе не изменяется. Это, очевидно, то же самое явление, которое описал и я, и это еще сильнее убеждает меня в том, что результаты, полученные им и мною, вызываются одной и той же причиной (2605, 2607).

2634. Я сказал уже, что в пределах расстояния  $n$  кристалл сульфата железа устанавливается более или менее вкось (2616). Я остановлюсь теперь на этом обстоятельстве более подробно. Подберем расстояние  $n$  таким образом, чтобы призматический кристалл, находящийся в это время между полюсами, составлял угол в  $30^\circ$  (или какой угодно другой) с аксиальной линией;

тогда мы найдем, что имеется еще одно устойчивое положение, в котором он может стоять неподвижно, а именно — диаметрально противоположное положение (2461), но при этом указанный угол отклонения будет находиться всегда на одной и той же стороне от аксиальной линии; с противоположной стороны от аксиальной линии кристалл при таком же угле отклонения в  $30^\circ$  установиться не может.

2635. Если кристалл повернуть на  $180^\circ$  вокруг вертикальной оси, так что концы его обменяются местами, то угол отклонения и направление, в котором отклонение происходит, остаются без изменения; кристалл при этом просто получает диаметрально противоположное положение. Но повернем кристалл на  $180^\circ$  вокруг горизонтальной оси, все равно вокруг какой: той, которая совпадает с его длиной и представляет максимум магнитного направления, или же вокруг той, которая соответствует его ширине и, значит, магнекристаллической оси; теперь угол отклонения оказывается по своей величине таким же, как и раньше, но он лежит по *другую* сторону от аксиальной линии.

2636. Так обстоит дело со всеми исследованными мною призматическими кристаллами сульфата железа. Это явление оказывается вполне определенным и, как этого можно было ожидать, в тех случаях, когда у двух кристаллов совпадают направления отклонения, у них оказываются соответственно расположенными и их внешние очертания и направление различных плоских граней.

2637. Все эти различия в положении указывают на косвенное направление результирующей направляющей силы, получающейся вследствие соединенного действия магнитной и магнекристаллической сил, и их можно было бы объяснять, исходя из допущения, что магнекристаллическая ось или линия максимума магнекристаллической силы не перпендикулярна к основным гралям кристалла (или к ограничивающим его плоскостям), а несколько наклонена в направлении длины.

2638. Так ли это в действительности, или же, быть может, максимум линий магнитной силы даже и в малой степени не

наклонен к длине призмы, во всяком случае расстояние  $l$  дает прекрасное средство для экспериментального исследования этого отклонения, как бы мало оно ни было, дает благодаря той легкости, с какой можно сделать преобладающим в любой желательной степени влияние того или другого из них.

*Королевский институт.*

*6 декабря 1848 г.*

2639. *Примечание.* (2591). Можно было бы выдвинуть на обсуждение еще одну гипотезу. Я уже сказал, что стремление занять определенное направление, но без притяжения или отталкивания, можно было бы объяснить, если допустить существование одних лишь аксиальных свойств (2587, 2591). Если теперь допустить возможность того, что молекулы становятся полярными по отношению к северному и южному полюсам магнита, но *при этом не действуют друг на друга*, то кристалл висмута или какой-нибудь другой под действием одной лишь аксиальной силы мог бы устанавливаться так, как под действием индукции. Однако мне кажется весьма невероятным, чтобы полярности какой-нибудь определенной частицы в кристалле ощущали влияние полярностей удаленных от них магнитных полюсов и в то же время не испытывали на себе влияния *подобных же полярностей смежных частиц.*

*24 января 1849 г.*

# ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ СЕРИЯ <sup>1</sup>

*Раздел 29 О полярном или ином состоянии диамагнитных тел.*

Поступило 1 января. Доложено 7 и 14 марта 1850 г.

## РАЗДЕЛ 29

### О полярном или ином состоянии диамагнитных тел

2640. Четыре года тому назад я высказал мысль, что все явления, которые диамагнитные тела обнаруживают, находясь под влиянием сил в магнитном поле, можно объяснить, если допустить, что они обладают полярностью, одинаковой по роду, но противоположной по направлению той полярности, которую при тех же обстоятельствах приобретают железо, никель и обыкновенные магнитные тела (2429, 2430). Эта точка зрения была весьма благоприятно принята Плюккером, Рейхом и другими, а в особенности Вебером,<sup>2</sup> и это возбудило во мне горячую надежду, что она получит подтверждение; и хотя некоторые собственные мои опыты (2497) не подкрепили этой надежды, тем не менее и мои желаниа и мои ожидания были по-прежнему обращены в эту сторону.

2641. Однако вопрос о том, являются ли висмут, медь, фосфор и др., находясь в магнитном поле, полярными или нет,

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1850, стр. 171.

<sup>2</sup> Poggendorffs Annalen, 7 января 1848 (DXXII, 241), или Scientific Memoirs Тейлора, V, стр. 477.

представляется чрезвычайно важным, и понятно, что следует ожидать весьма существенных и крупных различий в характере действия этих тел, если исходить из той или другой точки зрения. При каждой своей попытке перейти с помощью экспериментальной индукции от того, что в данной отрасли науки известно, к тому, что является неизвестным, я, вследствие своей собственной неуверенности в этом вопросе, часто испытывал сомнения, колебания и беспокойство; поэтому я решил по возможности добиться экспериментального разрешения этого вопроса в том или ином смысле. Это было тем более необходимо, что Вебер в своем очень теоретическом труде пришел по этому вопросу к положительному заключению; а я считаю чрезвычайно важным для прогресса науки, чтобы в этих слабо разработанных областях знания, лежащих еще на самых его границах, наши заключения и дедукции не выходили далеко за пределы данных опыта и во всяком случае не разрабатывались в стороне от опыта (разве только в качестве гипотез); поэтому я, не колеблясь, представляю настоящие свои работы Королевскому обществу, хотя они и привели к отрицательному результату.

2642. Мне казалось, что многие из тех явлений, которые, как можно было думать, указывают на полярное состояние, были только следствием закона, согласно которому диамагнитные тела стремятся переходить из мест более сильного действия в места более слабого действия (2418); другие же явления, казалось, вызываються индукционными токами (26, 2338); дальнейшее рассмотрение этого вопроса как будто указывало на то, что различие между этими видами действия и действием подлинной полярности, магнитной или диамагнитной, может послужить основой для выбора метода исследования, а также для устройства прибора, с помощью которого можно было бы получить заключения и результаты, полезные для настоящего исследования. Ибо если эта полярность существует, то она должна быть в частицах и должна в течение некоторого времени быть постоянной; поэтому ее можно будет отличить от мгновенной полярности массы, вызываемой временными индуцированными токами; ее

можно будет также отличить от обыкновенной магнитной полярности по ее противоположному направлению.

2643. Прямое деревянное коромысло длиною в два фута было на одном конце посажено на ось и с помощью колеса и передачи могло приводиться в колебательное движение в гори-

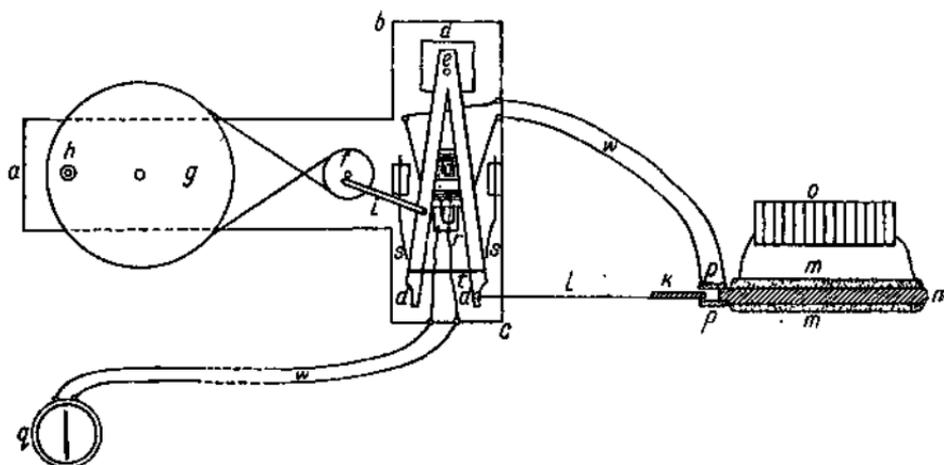


Рис. 186.

*a, b, c* — деревянная подставка; *d, d, d* — деревянное коромысло; *e* — его ось, *f* — колесо передачи; *g* — большое колесо с ручкой *h*; *i* — штанга, соединяющая передачу с коромыслом; *k* — цилиндр или сердечник из металла, над которым производится опыт; *l* — стержень, соединяющий его с рычагом; *m* — катушка электромагнита; *n* — железный сердечник; *o* — возбуждающая батарея; *p* — экспериментальная катушка; *q* — гальванометр, установленный на расстоянии 20 футов от электромагнита; *r* — коммутатор; *w, w* — соединительные провода; *s, s* — латунные или медные пружины; *t* — медный прут, соединяющий два колена коромысла для придания ему крепости. Чертеж дан в масштабе 1 : 20. Часть чертежа у электромагнита к экспериментальной катушке дана в разрезе. Более подробное описание установки содержится в параграфах 2643, 2644, 2645 и 2648.

зонтальной плоскости, так что свободный конец его проходил назад и вперед расстояние около двух дюймов (рис. 186). Цилиндры или сердечники из металла или других веществ, длиною в  $5\frac{1}{2}$  дюйма, при диаметре в три четверти дюйма, прикреплялись последовательно к латунному стержню, который другим своим концом был надет на подвижный конец коромысла; таким образом эти цилиндры могли перемещаться взад и вперед по

направлению своей длины на протяжении 2 дюймов. Был также изготовлен большой цилиндрический электромагнит (2191), железный сердечник которого имел в длину 21 дюйм и в диаметре 1.7 дюйма; но один конец сердечника на протяжении 1 дюйма был сточен и в этой части имел лишь 1 дюйм в диаметре.

2644. На этот сточенный участок сердечника была надета полая катушка, устроенная из 516 футов тонкой обмотанной медной проволоки; катушка имела длину в три дюйма, внешний диаметр в 2 дюйма и внутренний диаметр в 1 дюйм; когда она стояла на месте, то 1 дюйм ее внутренней полости занимал сточенный конец сердечника электромагнита, на котором она сидела. Как магнит, так и катушка устанавливались концентрически с упомянутым выше металлическим цилиндром и на таком от него расстоянии, чтобы последний во время своего движения двигался внутри катушки по направлению ее оси, приближаясь к электромагниту и отступая от него то быстрее, то медленнее. Наименьшее и наибольшее расстояние между движущимся цилиндром и магнитом во время его хода составляли одну восьмую дюйма и 2.2 дюйма. Цель заключалась, конечно, в том, чтобы проследить влияние, которое могут оказать на экспериментальную катушку из тонкой проволоки металлические цилиндры в то время, когда они движутся по направлению к магниту или от него или же на различных от него расстояниях.<sup>1</sup>

2645. Концы проволоки экспериментальной катушки были присоединены к очень чувствительному гальванометру, который был помещен на расстоянии 18 или 20 футов от машины, дабы он не мог испытывать прямого влияния магнита; между концами проволоки был установлен коммутатор. Этот коммутатор приводился в движение деревянным коромыслом (2643); электрические токи, которые должны доходить до него от экспериментальной катушки при полном цикле движения, т. е. при движе-

<sup>1</sup> Весьма вероятно, что если бы металлы были устроены в виде более коротких цилиндров, но с большим диаметром, чем описанные выше, и если бы при этом служившая для опытов катушка была пошире, то результаты были бы лучше тех, к каким пришел я.

нии туда и назад металлического цилиндра (2643), должны состоять из двух противоположных частей, и назначение коммутатора заключалось в том, чтобы в одних случаях принимать эти токи и посылать их в виде тока постоянного направления в гальванометр, а в других случаях — чтобы противопоставить их друг другу и таким образом нейтрализовать их действие; поэтому он был устроен таким образом, что его можно было переключить в любой момент времени и движения.

2646. Как известно, при такой установке, как вышеописанная, каковы бы ни были мощность магнита и чувствительность остальных частей прибора, гальванометр не будет испытывать никакого действия до тех пор, пока не изменится сила магнита, или его влияние на окружающие тела, или его расстояние от экспериментальной катушки, или его положение по отношению к последней. Но если ввести в катушку кусок железа или чего-либо другого, что может повлиять на магнит или испытать влияние с его стороны, то это может и даже должно оказать соответствующее влияние на катушку и на гальванометр. Мне кажется, что мой прибор почти не отличается, в принципиальном и практическом отношении, от прибора г-на Вебера (2640); только результаты, которые он дает мне, противоположны по знаку.

2647. Но для того чтобы получить правильные выводы, очень важно принять меры крайней предосторожности по отношению к некоторым моментам, которые на первых порах могут показаться неважными. Все части прибора должны обладать совершенной устойчивостью и должны быть собраны почти с той же тщательностью, какая необходима при сборке астрономического инструмента; ибо в силу конструкции прибора каждое движение каждой его отдельной части оказывается синхронным с движением коммутатора, а потому неощутимо малые доли действия будут складываться, и общий итог их обнаружится на гальванометре; таким образом, при отсутствии надлежащей осторожности можно ошибки принять за истинные и верные результаты. Поэтому в моей установке машина (2643 и т. д.).

магнит с катушкой и гальванометр стояли на разных столах; столы в свою очередь стояли на каменном полу, уложенном на грунт; стол, на котором стояла машина, был тщательно приперт к соседней каменной стене.

2648. Далее, самый прибор должен быть совершенно жестким, не должен шататься при своем движении, быть легким и свободным на ходу. Ни в одну из движущихся частей не должно входить железа. Для того чтобы принимать и превращать часть всего количества движения в конце движения туда и назад, я пользуюсь пружинами; важно, чтобы последние были сделаны из ковanej латуни или меди.

2649. Совершенно необходимо, чтобы цилиндр или сердечник при своем движении ни в малейшей степени не возмущал и не раскачивал экспериментальной катушки и магнита. Подобное раскачивание легко может происходить и все же (при отсутствии большого опыта) оставаться незамеченным. Сердечники из таких тел, как нисмут, фосфор, медь и т. п., важно иметь такие большие, как это только возможно, но я на основании опыта считаю небезопасным, чтобы промежуток между этими сердечниками и внутренностью экспериментальной катушки был меньше одной восьмой части дюйма. Для того чтобы дать возможность сердечнику как бы парить в воздухе, целесообразно его подвесить на стиге или витке тонкой медной проволоки, охватывающей его один раз, а концы ее поднять вверх и прикрепить к двум неподвижным точкам, находящимся на одинаковой высоте, но подалеже друг от друга, так что проволока имеет форму V. Такой подвес заставляет сердечник в любой момент двигаться параллельно самому себе.

2650. Для возбуждения магнита через него пропускают электрический ток от пяти пар пластин Грова; он оказывается при этом весьма сильным. Когда батарея к нему не присоединена, он все же остается слабым магнитом; когда им пользуются в таком виде, то можно говорить, что он находится в *остаточном состоянии*. В этом остаточном состоянии его силу можно считать для данного времени постоянной, и в каждый момент можно

соединять экспериментальную катушку с гальванометром, и при этом в последнем не появится никакого тока. Но когда мы пользуемся магнитом в возбужденном состоянии, то необходимо соблюдать некоторые важные меры предосторожности; ибо когда мы присоединяем магнит к батарее, а затем экспериментальную катушку к гальванометру, то в последнем появляется ток, который в некоторых случаях может длиться минуту или больше и который имеет такой вид, будто он получен прямо от батареи. Но в действительности он возникает не этим путем, а обязан своим происхождением *времени*, которое требуется железному сердечнику для достижения своего максимального магнитного состояния (2170, 2332): в течение всего этого времени он продолжает действовать на экспериментальную катушку и возбуждает в ней ток. Это время бывает различно в зависимости от ряда обстоятельств, а в одном и том же электромагните оно особенно варьирует в зависимости от того, сколько времени электромагнит не работал. Если замкнуть его в первый раз после двух или трех дней покоя, это время составляет восемьдесят или девяносто секунд и больше. Если батарею выключить и тотчас же вновь включить, то указанное явление повторяется, но длится лишь двадцать или тридцать секунд. При третьем выключении и возобновлении тока это время оказывается еще более коротким; а если магнит работает в течение некоторого времени короткими промежутками, то он как будто получает способность приобретать максимальную свою силу почти сразу. При каждом опыте следует выждать, пока гальванометр покажет, что это действие прекратилось; в противном случае последние следы этого действия можно ошибочно принять за результат полярности или какого-нибудь особого действия висмута или иного исследуемого тела.

2651. Мой гальванометр был изготовлен Румкорфом и был очень чувствителен. Действие стрелок было усилено, и они были сделаны настолько одинаковыми, что отдельное колебание направо или влево продолжалось от шестнадцати до двадцати секунд. Когда опыты проводились с такими телами, как висмут

или фосфор, положение стрелок наблюдалось с помощью лупы. В том, что имеется контакт во всех частях цепи, можно было в любой момент убедиться посредством слабой термоэлектрической пары, которая нагревалась пальцами. Это производилось также при всяком положении коммутатора, так как слоя окиси, образовавшейся на какой-либо части его в течение двух или трех дней покоя, было вполне достаточно для того, чтобы прервать слабый ток.

2652. Чтобы привести в прямую связь явления, представляемые магнитными и диамагнитными телами, я отмечал не столько токи, возбуждавшиеся в экспериментальной катушке, сколько то, что было видно на гальванометре. Это следует понимать в том смысле, что за стандартное направление отклонения я всегда брал то направление, какое происходило, когда железный провод двигался в экспериментальной катушке в том же направлении и при том же положении коммутатора и соединительных проводов, как и тот кусок висмута или иного тела, действия которых надлежало исследовать и сравнить.

2653. Тонкая стеклянная трубка указанного выше размера (2643), т. е.  $5\frac{1}{2}$  на  $\frac{3}{4}$  дюйма, была заполнена насыщенным раствором протосульфата железа и испытана в качестве экспериментального сердечника. При этом опыте, а также при всех остальных опытах с машиной, последней сообщалась в среднем такая скорость, при которой сердечник приближался к катушке и отходил от нее пять или шесть раз в секунду. Однако раствор не дал никакого заметного действия на гальванометр. Равным образом никакого действия не дал кусок магнитной стеклянной трубки (2354), а также сердечник из писчей бумаги, которая между полюсами электромагнита оказалась магнитной. Трубка, наполненная мелкими кристаллами протосульфата железа, вызвала отклонение стрелки гальванометра примерно на  $2^\circ$ ; такое же действие производили сердечники, устроенные из отдельных больших кристаллов или из симметрических групп

кристаллов сульфата железа. Красная окись железа (колькотар) оказывала самое малое действие. Железная окалина и металлическое железо (последнее в виде тонкой проволоки) производили сильное действие.

2654. Каждый раз, когда стрелка приходила в движение, направление последнего находилось в согласии с действием магнитного тела; но во многих опытах с заведомо магнитными телами движение оказалось незначительным или же его совсем не было. Это показывает, что подобная установка ни в коем случае не является столь хорошим средством проверки полярности, как простая или аstaticкая игла. Однако недостаточная чувствительность установки в этом отношении не мешает ее пригодности для исследования тех явлений, которые обнаруживаются в опытах Вебера, Рейха и других.

2655. После этого были испытаны другие металлы, помимо железа, и притом с полным успехом. В тех случаях, когда они были магнитными, как никель или кобальт, отклонение получалось в том же направлении, как и при железе. Когда металлы были диамагнитными, то отклонение происходило в противоположном направлении; для некоторых из этих металлов, как медь, серебро и золото, отклонение доходило до 60 и 70°; оно оставалось таким во все время, пока машина продолжала работать. Однако отклонение не оказалось максимальным для наиболее диамагнитных тел, как висмут, сурьма или фосфор; наоборот, до сих пор я лично не мог убедиться в том, что названные три тела вообще способны вызвать какое-нибудь действие. В общем это действие оказалось пропорциональным *электропроводности* вещества. Золото, серебро и медь вызывали большие отклонения, свинец и олово — меньшие. Платина давала очень малое отклонение, висмут и сурьма не давали никакого.

2656. Таким образом, имелись все основания полагать, что указанные действия производятся токами, которые индуцируются в массах движущихся металлов, а вовсе не полярностью их частиц. Поэтому я занялся проверкой этого предположения, для чего ставил сердечник и прибор в различные условия.

2657. Прежде всего, если эти действия вызываются индуцируемыми токами, то большая доля этих токов должна находиться в той части сердечника, которая расположена вблизи возбуждающего магнита, и лишь малая доля — в более отдаленных его участках; между тем в веществе, подобном железу, вследствие полярности, которую оно принимает в целом, более важным элементом является длина. Поэтому я укоротил медный сердечник от  $5\frac{1}{2}$  дюймов (2643) до 2 дюймов и установил, что действие [заметно не уменьшилось; даже когда сердечник имел длину в 1 дюйм, действие оказалось лишь немного меньше прежнего. Наоборот, когда в качестве сердечника я воспользовался тонким железным проводом длиной в  $5\frac{1}{2}$  футов, то действия, полученные с ним, были очень слабы. Когда длина его была уменьшена до 2 дюймов, действия значительно ослабились, и при дальнейшем уменьшении длины до 1 дюйма они вновь значительно упали. Нетрудно устроить особый медный сердечник с тонкой железной проволокой по его оси; когда его длина будет превышать некоторую величину, то вызываемые им действия будут свойственны железу, а когда длина его будет ниже этой величины, то действия, которые он будет давать, будут свойственны меди.

2658. Затем, если это действие вызывается токами, индуцируемыми в массе (2642), то подразделение массы должно прекратить эти токи и, таким образом, ослабить действие; если же оно вызывается подлинной диамагнитной полярностью, то подразделение массы не должно серьезно влиять на полярность, т. е. на существо ее природы (2430). Поэтому я продержал некоторое количество медных опилок несколько дней в разведенной серной кислоте с тем, чтобы устранить приставшее к ним, быть может, железо, затем хорошо промыл и высушил их, а после этого нагревал и встряхивал их в воздухе до тех пор, пока оранжевая окраска не показала, что на них образовался очень тонкий слой окисла. Наконец, я насыпал их в стеклянную трубку (2653) и испытал ее как сердечник. Теперь медь не давала никакого действия и оказалась столь же неактивной, как висмут.

2659. Однако медь можно подразделить таким образом, чтобы она по желанию препятствовала или не препятствовала возникновению предполагаемых токов. Я разрезал тонкую медную проволоку на куски длиной в  $5\frac{1}{2}$  дюймов и сложил вместе такое количество этих кусков, что получался компактный цилиндр с диаметром в три четверти дюйма (2643). Последний не оказал никакого действия на гальванометр. Был изготовлен другой цилиндр, для чего было сложено большое количество *кружков* тонкой листовой меди диаметром в три четверти дюйма, и этот цилиндр оказал действие на гальванометр и отклонил его стрелку на  $25$  или  $30^\circ$  от нуля.

2660. Из обмотанной медной проволоки толщиной в одну шестнадцатую дюйма я устроил плотную цилиндрическую катушку диаметром в три четверти дюйма и длиной в 2 дюйма; я испытал ее в качестве сердечника. Когда два конца его проволоки не были соединены друг с другом, не получалось никакого действия на экспериментальную катушку и, стало быть, на гальванометр; но когда концы проволоки были спаяны друг с другом, получилось хорошее действие на стрелку. В первом случае токи, которые стремились образоваться в массе движущегося металла, не могли получить осуществление, так как металлическая цепь была разомкнута; во втором случае ток мог осуществиться, так как цепь не имела перерыва. Таким образом, оставшееся при этом подразделение не мешало возникновению токов.

2661. Такие же результаты были получены с другими металлами. Золотой цилиндрический сердечник, устроенный из полсовереновых монет, оказал на гальванометр очень сильное действие. Серебряный цилиндр, устроенный из шестипенсовых монет, действовал весьма сильно; но цилиндр, устроенный из осажденного серебра, спрессованного по мере возможности в стеклянной трубке, не дал никаких признаков действия. Такие же результаты были получены с дисковыми цилиндрами из олова и свинца; их действия оказались соразмерными свойствами олова и свинца как плохих проводников электричества (2655).

2662. Когда было подразделено железо, то действия оказались прямо противоположного свойства. В данном случае пришлось пользоваться гораздо более грубым гальванометром и прибором; но когда это было сделано и испытаны были сплошной железный сердечник и другой сердечник такого же размера и веса, составленный из отрезков тонких железных проволок (2659), то оказалось, что разделение не привело ни в какой степени к ухудшению последнего. Превосходные экспериментальные исследования Дова<sup>1</sup> над индукционным электричеством показывают, что так это и должно быть.

2663. Таким образом, результат опытов с подразделением диамагнитных металлов безусловно подтверждают наше мнение, что вызываемые этими металлами явления обязаны своим происхождением индукционным токам, проходящим в их массах, а вовсе не полярности, которая по общим своим свойствам (хотя она и противоположна по направлению) соответствовала бы полярности железа.

2664. В-третьих (2656), можно экспериментально установить другое и весьма важное отличие в действиях диамагнитного металла, смотря по тому, чем они вызываются: подлинной полярностью или же только временными индуцированными токами; так как для рассмотрения этого вопроса различие диамагнитной и магнитной полярностей не существенно, то этот вопрос можно здесь лучше всего рассмотреть применительно к железу.

2665. Когда сердечник — все равно, какого рода — движется по направлению к основному магниту и отходит от последнего равномерным движением, то полный ход его, т. е. действие *вперед* и *назад*, может быть разбит на четыре части; *вперед*, затем *остановка*, *назад* и следующая за этим *остановка*. Когда это движение выполняет железный сердечник, то конец его, обращенный в сторону основного магнита, становится полюсом, и сила этого полюса возрастает до момента достижения ближайшего расстояния, а затем убывает до момента достижения

<sup>1</sup> Scientific Memoirs Тэйлора, V, стр. 129. Я не усматриваю на этом мемуаре его даты.

наибольшего расстояния. Это действие и его *пропекание* при движении туда и назад вызывают образование в окружающей катушке индуцированных токов, причем эти токи проходят в одном направлении, когда сердечник движется вперед, и в противоположном направлении, когда он отступает назад. Однако фактически железо движется не с постоянной скоростью. В самом деле, движение сообщается сердечнику вращающимся в машине кривошипом (2643); при ходе *вперед* скорость постепенно нарастает от состояния покоя до максимальной величины, которая приходится на половину пути, а затем она снова постепенно падает вплоть до покоя вблизи магнита; при ходе *назад* скорость претерпевает те же изменения. Но так как максимальное действие на окружающую экспериментальную катушку зависит как от скорости, так и от интенсивности магнитной силы в конце сердечника, то очевидно, что оно не придется на максимальную скорость, т. е. не на середину движения *туда* или *назад*; не придется оно и на *остановку*, ближайшую к основному магниту, где конец сердечника приобретает наибольшую магнитную силу, а где-то между этими двумя положениями. Тем не менее во время *всего* продвижения вперед сердечник будет возбуждать в экспериментальной катушке ток одного направления, а во время *всего* отступления назад он будет возбуждать ток в противоположном направлении.

2666. Если диамагнитные тела под влиянием основного магнита также принимают полярное состояние, а различие между ними и железом заключается лишь в том, что одноименные полюсы или силы у них обмениваются своими местами (2429, 2430), тогда и в них будут иметь место действия того же рода, как описанные выше для железа; единственное различие будет заключаться в том, что у них оба производимых ими тока будут проходить в направлении, противоположном тому, в каком они производятся железом.

2667. Представим себе, что нам нужно наладить коммутатор таким образом, чтобы он забирал эти токи и в том и в другом случае и направлял их в гальванометр в виде единого согласного

тока; ясно, что если он будет изменять свое положение в моменты обеих *остановок* (2665), то он превосходно выполнит свою задачу. Если, с другой стороны, коммутатор будет изменять положение в моменты максимальной скорости или максимальной интенсивности, или же в два других момента, равноотстоящие от одной или от другой *остановки*, тогда части противоположных токов, заключающиеся между изменениями (положения коммутатора), будут в точности нейтрализовать друг друга, и в результате этого в гальванометр совсем не поступит тока.

2668. Но согласно данным опыта действие железа сводится к следующему. Если железную проволоку при различных положениях коммутатора просто вводить в экспериментальную катушку или выводить из последней, то получаются как раз те результаты, какие были указаны выше. Когда машина работает с сердечником из железной проволоки, а положение коммутатора изменяется в моменты остановок (2665), тогда ток, который снимается и направляется в гальванометр, оказывается наибольшим; когда положение коммутатора изменяется в моменты максимальной скорости или в какие-нибудь другие два момента, равноотстоящие от одной *остановки* или от другой, тогда ток в коммутаторе оказывается минимумом или 0.

2639. Для того чтобы произвести эти явления в чистом виде, необходимо соблюдать две-три предосторожности. Во-первых, железо должно быть мягким и не должно до начала опыта находиться в магнитном состоянии. Во-вторых, следует остерегаться еще одного действия. Если к началу опыта железный сердечник находится далеко от основного магнита, то можно видеть, что при пуске машины стрелка гальванометра в течение нескольких мгновений отклоняется в одном направлении, а затем, несмотря на продолжающееся действие машины, идет обратно и постепенно устанавливается на  $0^\circ$ . Если к началу опыта железный стержень находится на кратчайшем своем расстоянии от основного магнита, то стрелка гальванометра движется в направлении, противоположном прежнему, но в конце концов снова устанавливается на  $0^\circ$ . Эти явления вызываются следующим обстоя-

тельством. Если железо стоит далеко от основного магнита, то магнитное состояние, в котором оно находится, не столь сильно, как то *среднее* состояние, которое приобретается им во время опыта; когда же оно находится на более близком расстоянии от основного магнита, то его магнитное состояние сильнее указанного выше среднего состояния. При усилении или при ослаблении магнитного состояния до этого среднего железо возбуждает два тока противоположного направления, которые и обнаруживаются в вышеописанных опытах. Существовая только в течение первых мгновений, эти токи действуют на гальванометр, а затем исчезают; этим они вызывают колебание, которое постепенно прекращается.

2670. Следует указать еще на одну меру предосторожности. Если точка, в которой положение коммутатора меняется, лежит не точно в положенном месте хода, то при каждом изменении получается небольшое действие, и это может вызвать постоянное отклонение в том или другом направлении. Язычки моего коммутатора стояли перпендикулярно к направлению движения и были в некоторой мере гибки; во время хода *вперед* и *назад* они немного увлекались движением; тем самым они приближались, хотя и в малой степени, к тому положению, при котором коммутатор лучше всего собирает (а не нейтрализует) токи. В результате этого получалось отклонение вправо или влево (2677). Когда причина этого явления была обнаружена и язычки были сделаны более жесткими, дабы устранить их нагибание, указанное явление исчезло, и железо стало совершенно неактивным.

2671. Таковы, стало быть, те результаты, которые были получены с железным сердечником, и такие же явления были бы получены с медным или висмутовым сердечником, если бы действие этих веществ было основано на их динамагнитной полярности. Рассмотрим теперь, какие последствия должны получиться, если медный или висмутовый сердечник будет действовать посредством токов, которые временно индуцируются в его движущейся массе и обладают предположенной

ранее природой (2642). Если бы медный цилиндр двигался с равномерной скоростью (2665), то в нем существовали бы во все время его движения токи, параллельные его боковой поверхности; они достигали бы наибольшей своей силы как раз до или как раз после остановки внутри, при вдвигании цилиндра, так как в это время медь находилась бы в наиболее интенсивных частях магнитного поля. Ток, нарастающий в медном сердечнике при движении последнего внутрь экспериментальной катушки, вызвал бы в последней ток некоторого направления; остановка меди и связанное с этим падение ее тока вызвало бы в экспериментальной катушке ток, противоположный первому. В первый момент движения сердечника наружу в нем возник бы максимальный ток, обратный первому, и он индуцировал бы в экспериментальной катушке такой же ток, какой производился в ней перед этим; а затем, когда сердечник стал бы отходить назад, ток в нем пошел бы на убыль; во время ослабления тока, а также в момент полной остановки сердечника, в экспериментальной катушке возник бы четвертый ток, который имел бы такое же направление, как и первый ток.

2672. Четыре тока, возбуждаемые в экспериментальной катушке, чередуются попарно, т. е. токи, возбуждаемые убыванием первого тока в сердечнике и нарастанием второго тока, имеющего противоположное направление, направлены одинаково. Они имеют место непосредственно перед и после остановки возле магнита, т. е. от момента максимума тока (в сердечнике) перед остановкой и до момента его максимума после остановки; и если эта остановка происходит мгновенно, то и токи существуют только в это мгновение, и в течение этого короткого времени они должны собираться коммутатором. Токи, возбуждаемые в экспериментальной катушке во время падения второго тока в сердечнике и во время нарастания третьего тока (тождественного с первым) при возвращении сердечника к магниту, имеют также одинаковое направление; они делятся от начала отхода до конца движения вперед (т. е. от максимума до

максимума) токов в сердечнике, т. е. почти в течение всего движения сердечника. Эти токи коммутатор должен при изменении своего положения в моменты максимума забирать и направлять в гальванометр.

2673. Но движение сердечника неравномерно по скорости: оно внезапно меняет свое направление и, как сказано выше (2665), оно происходит с максимальной скоростью посередине движения сердечника к основному магниту и посередине его движения от последнего; а отсюда получается очень важное преимущество. В самом деле, сердечник начинает останавливаться, можно сказать, тотчас же после того, как скорость достигает своего максимума, и если бы здесь магнитные силовые линии по своему положению и интенсивности были одинаковы с силовыми линиями в местах, более близких к магниту, то противоположные токи в экспериментальной катушке возникли бы в этих точках движения. Но так как сердечник вступает в более интенсивную часть поля, то в катушке ток продолжает нарастать, несмотря на уменьшение скорости движения сердечника, и в результате этого ток достигает своего максимума не в месте наибольшей скорости и не в месте наибольшей силы, а в некоторой промежуточной точке. Это верно как для периода приближения сердечника к магниту, так и для периода его отхода от него, и оба максимума токов имеют место в точках, равноотстоящих от места остановки сердечника близки основного магнита.

2674. Значит, именно в этих двух точках должно изменяться положение коммутатора, если мы налаживаем его так, чтобы он оказывал наибольшее действие на гальванометр теми токами, которые возбуждаются в экспериментальной катушке под влиянием токов, индуцируемых в сердечнике, или в связи с последними. Пусть длина всего хода от внешней остановки до внутренней составляет 2 дюйма (2643, 2644); разделим ее на 100 частей; если тогда допустить, что основной магнит расположен справа, тогда численное выражение вроде 50|50 представит то место, где коммутатор изменит свое положение; в данном примере это

будет на середине движения туда и назад, т. е. это будут места наибольшей скорости.

2675. Пробуя различные положения коммутатора, я нашел, что с медным сердечником наилучший результат получается от 77|23 до 88|12. В общем после целого ряда опытов я прихожу к выводу, что при данных силе электромагнита, расстоянии экспериментального сердечника в момент, когда он находится ближе всего к магниту, длине всего хода и средней скорости машины, число 86|14 определяет те точки, где индуктируемые в сердечнике токи достигают максимума и где должно происходить изменение положения коммутатора.

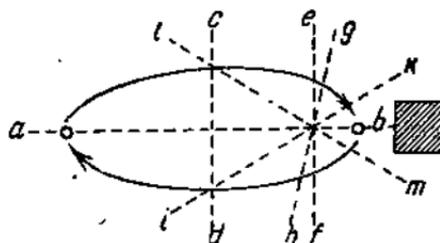


Рис. 187

2676. Из того, что было сказано выше (2667), ясно, что как по теории, так и по показаниям опыта, это — такие точки, в которых действие полярности, все равно, какой: магнитной или диамагнитной, должно в точности равняться нулю. Таким образом получается возможность подвергнуть в этой машине опыту металлы и другие тела и различить друг от друга действия магнитной полярности, диамагнитной полярности и индуктивного действия; ибо их можно отделить друг от друга либо с помощью коммутатора, либо с помощью направления полярности, а затем их можно различным образом комбинировать, чтобы разобраться в их совместном или отдельном действии.

2677. В самом деле, пусть на рис. 187 стрелки представляют ход туда и назад, а пересечения линии  $ab$  с линией  $cd$  и т. д. изображают моменты, когда коммутатор меняет свое положение (в этом случае  $c, d$  будет соответствовать числу 50|50, а  $e, f$  — числу 86|14); тогда точки  $a, b$  представят положение коммутатора, при котором для железа и всякого другого полярного тела получается максимум действия. Если линию  $ab$

постепенно поворачивать до тех пор, пока она станет параллельной  $cd$ , то в каждом своем положении она будет давать точки изменения положения коммутатора, которые будут отмечать действие железа на гальванометр; и отклонение стрелки будет всегда в одном и том же направлении. Для железа направление отклонения изменится лишь тогда, когда концы  $a$  и  $b$  наверху или внизу перешли через точки  $c$  и  $d$ . Но линия  $ab$  дает те положения коммутатора, при которых индукция  $ток\ e$  в массе сердечника не оказывает никакого действия на гальванометр. Если эту линию наклонить в одном направлении, напр.  $ik$ , то в этом случае токи вызовут отклонение на гальванометре в одну сторону, а если ее наклонить в другом направлении, напр.  $lm$ , то отклонение произойдет в другую сторону. Таким образом, действия этих индукционных токов могут либо соединяться с действиями полярности, магнитной или диамагнитной, или же быть им противоположны.

2678. Все упомянутые выше металлы (2655), а именно золото, серебро, медь, олово, свинец, платина, сурьма и висмут были подвергнуты действию электромагнита при наиболее благоприятном положении (2675) коммутатора. Действия оказались более сильными, чем раньше, поскольку теперь они достигали своего максимума, но — того же порядка. Что касается сурьмы и висмута, то действия были очень слабы, достигая не больше половины градуса, и весьма вероятно, что они вызывались неустранимым еще неправильным действием какой-либо части прибора. Все опыты с подразделенными сердечниками (2658 и т. д.) были повторены; результаты получились те же, что и раньше. Фосфор, сера и гуттаперча как при настоящем, так и при прежнем положении коммутатора, не дали никаких признаков действия на гальванометр.

2679. Приведу пример того, каким образом указанное положение коммутатора приводило к разделению действия меди и железа. Я изготовил медный цилиндрический сердечник длиной в 2 дюйма с железной проволокой по его оси; будучи

испытан в приборе, он дал чистый эффект меди с ее индукционными токами. Однако, когда этот сердечник, как целое, испытывался с помощью обыкновенной стрелки, он оказался сильно магнитным; и если два расстояния от точек изменения коммутатора до одной и другой остановки были неодинаковы (2670, 2677), то сильно проявлялось действие железа, которое одерживало верх над первым действием и вызывало очень сильные отклонения стрелки в противоположную сторону. Платиновый сердечник, которым я воспользовался, представляет собою неправильный цилиндр длиной в 2 дюйма и толщиной в 0.62 дюйма. Он устанавливается между полюсами подковообразного электромагнита (2381) как магнитное тело и выполняет одно колебание за время, меньшее секунды; но при указанном выше положении коммутатора (2675) он даст в результате действия индукционных токов отклонение в  $4^\circ$ , а его магнитное действие при этом уничтожается или исключается.

2680. Для подтверждения приведенных выше заключений (2677) были воспроизведены некоторые более сложные явления, вызываемые наклонным положением точек коммутатора. Коммутатор был установлен таким образом, чтобы обнаружить совместно полярную силу, которой висмут может обладать, как диамагнитное тело, и его проводимость, которая делает возможным образование токов путем индукции в его массе (2676); но действия оказались при этом столь незначительными и ненадежными, что это обязывает меня заявить, что экспериментально здесь не выявилось ни полярного, ни индукционного действия.

2681. Существует еще одно различие, которое можно с пользой установить между действиями подлинной длительной полярности, магнитной или диамагнитной, и действиями проходящих индукционных токов, зависящих от времени. Если мы примем сопротивление цепи, в которую входят экспериментальная катушка и катушка гальванометра за ноль, то магнитный полюс постоянной силы, продвигаясь на опреде-

ленное расстояние внутрь катушки, возбудит в ней одинаковое количество текущего электричества — независимо от того, как полюс будет двигаться к своему месту: быстро или медленно. Если произвести опыты с железным сердечником (2668), получится тот же результат, но при одном условии, чтобы при движениях сердечника туда и назад оставлять его достаточно долго в конечных точках его пути, чтобы он приходил в одинаковое состояние как при быстром, так и при медленном изменении. Я установил, что дело обстоит именно так, когда опыт производится без коммутатора и без основного магнита. Однократное внесение слабого магнитного полюса давало одинаковое отклонение, как бы он ни вводился: быстро или медленно; а когда я вводил в действие основной магнит с остаточным магнетизмом, сердечник из железной проволоки и коммутатор в положении *a*, *b* (2677), то четыре хода туда и обратно вызывали на гальванометре *одинаковые* действия, когда скорости относились друг к другу, как 1 : 5 или даже как 1 : 10.

2682. Когда вместо железа производят опыт с сердечником из меди, серебра или золота, то действие оказывается весьма отличным от предыдущего. Что касается сердечника, то нет никакого основания сомневаться в том, что при его движении вперед или назад в нем приводится в движение в форме индукционных круговых токов одно и то же количество электричества, независимо от того, как совершается это движение: быстро или медленно; приведенный выше опыт (2681) фактически подтверждает это заключение. Но действие, оказываемое на экспериментальную катушку, пропорционально не всей сумме этих токов, а максимальным интенсивностям, которых они достигают. Когда сердечник движется медленно, то эта интенсивность мала; когда же он движется быстро, то она велика, и это по необходимости так, ибо одно и то же количество электричества должно пройти в течение двух различных периодов времени, которые требуются для прохождения этих путей. Поэтому действие, которое должен вызвать в экспериментальной катушке сердечник, движущийся быстро, го-

раздо больше, чем действие сердечника, движущегося медленно; и я нашел, что дело обстоит именно таким образом.

2683. В приборе был установлен короткий медный сердечник; машина работала со средней своей скоростью и сделала сорок ходов туда и назад; стрелка гальванометра отклонилась на  $39^\circ$  на запад. Затем я заставил машину работать с большей скоростью также в течение сорока ходов, и стрелка отклонилась на  $80^\circ$  или больше на запад. Наконец, при медленном вращении и при том же количестве ходов стрелка отклонилась лишь на  $21^\circ$  на запад. Предельные скорости в этом опыте относились друг к другу, по всей вероятности, как 1 : 6. При наиболее продолжительном вращении время было значительно меньше, чем время одного качания стрелки (2651), так что при наиболее медленном вращении собиралась, думается, вся сила. На стрелку очень мало влияет колебание или количество движения ее частей, вследствие тормозящего действия расположенной под ней медной пластинки; если отвлечься от ее возвращающа к нулю, она движется очень мало после того, как прекращается движение прибора. Серебряный сердечник дал те же результаты.

2684. Эти действия индукционных токов родственны явлениям вторичного отвлечения, которые я описал раньше (2310, 2315, 2338), поскольку они вызываются той же причиной и следуют тем же принципам действия; таким образом, эти два ряда явлений взаимно друг друга подтверждают и поясняют. Что явления вторичного отвлечения вызываются индукционными токами, было показано раньше (2327, 2329, 2336, 2339). Вся разница заключается лишь в том, что при вторичных отвлечениях индукционные токи вызывались усилением магнита, находившегося на неизменном расстоянии от подвергавшегося действию металла; в явлениях же, рассматриваемых здесь, сила магнита не изменяется, но изменяется его расстояние от куска металла.

2685. Таким образом, те же обстоятельства, которые влияют здесь на явления, влияют и на явления вторичного отвлечения.

Металлическая пластинка как целое определенно испытывает на себе вторичное отвлечение, но если ее подразделить на части поперек пути индукционных токов, то действие, которое она испытывает, будет равно нулю (2529). Если в кольцеобразной катушке из медной проволоки не соединять друг с другом концы последней, она не обнаруживает этих явлений, а если их соединить, она их покажет (2660).

2686. В общем явления вторичного отвлечения представляют собою гораздо лучший способ испытания и обнаружения этих токов, чем рассматриваемые сейчас явления, в особенности, если воспользоваться подразделением массы на пластинки; тогда они окажутся по своему действию похожими на цилиндрические сердечники, устроенные из кружков (2659, 2661), и даже более сильными, чем последние. Если нарезать или сложить листовую платину, палладий или свинец в квадратные кусочки со стороны в полдюйма, а затем правильно сложить их, они обнаруживают явления вторичного отвлечения очень хорошо, при этом отвлечения зависят только от направления листов, а не от их внешней формы. У золота, серебра, олова и меди явления вторичного отвлечения указанным путем значительно усиливались. Сурьма, как я это уже показал, обнаруживает это явление хорошо (2514, 2519). И ее, и висмут можно легко заставить обнаруживать наличие индукционных токов, которые возникают в них; для этого их следует брать в виде тонких пластинок; опыты можно производить с отдельными пластинками или складывать их по нескольку, но при этом во избежание влияния диамагнитной силы необходимо все же следить за тем, чтобы замыкать и размыкать контакт между гальванической батареей и электромагнитом в должный момент.

2687. Медь, когда ее подразделили указанным выше образом на пластинки, усилила свои явления вторичного отвлечения в столь высокой степени, какой я раньше у нее не наблюдал. Кусок медной фольги был отожжен настолько, что он потускнел, после чего он был сложен в виде небольшой квадратной стопки

со стороны в поддьюма и толщиной в четверть дюйма; она состояла из семидесяти двух слоев металла. Эта стопка была, как и раньше (2248), подвешена на шелковой нити; и при этом составляла угол в  $30^\circ$  или около того с экваториальной линией (2252); теперь был возбужден электромагнит. Стопка тотчас же пришла в движение и вращалась до тех пор, пока указанный угол не составил около  $45$  или  $50^\circ$ ; тогда она остановилась. При выключении электрического тока получился очень сильное вторичное отвлечение и стопка повернула обратно, перешла через экваториальную линию и продолжала двигаться, пока не образовала на другой стороне угол в  $50$  или  $60^\circ$ ; однако вместо того, чтобы, как раньше (2315), продолжать вращаться в том же направлении, она повернула обратно, снова перешла через экваториальную линию и почти дошла до аксиального положения; только здесь она остановилась неподвижно. Значит, она всей своей массой совершала колебательные движения в ту и другую сторону от экваториальной линии.

2688. Впрочем, последнее является простым следствием изложенных ранее принципов действия (2329, 2336). Вторичное отвлечение вызывается возникновением в подвешенной массе индукционных токов во время ослабления магнетизма в электромагните; и направление этого действия таково, что оно стремится привести ось этих индукционных токов в положение, параллельное оси силы в магнитном поле. Представим себе, что время ослабления магнитной силы, а стало быть, и связанных с нею токов, больше того времени, какое требуется для движения медной стопки до экваториальной линии; тогда дальнейшее движение ее по инерции встретит противодействие со стороны противоположной силы; и если эта сила будет достаточно велика, то стопка повернет обратно. Проводящая способность меди и ее подразделение на пластинки в особенно высокой степени благоприятствует распространению этих токов, и именно эта присущая им способность чрезвычайно укорачивает время колебания; вследствие этого раньше, чем сила электромагнита перестанет дальше убывать, может

совершиться два и даже три колебания. Уже выше я во многих случаях указывал на влияние *времени* как при нарастании силы, так и при ее убывании (2170, 2650); это влияние можно очень хорошо усмотреть и в настоящем случае.

2689. Возвращаясь к вопросу о предположенной полярности висмута, я могу и должен упомянуть об опыте, который произведен Рейхом и описан Вебером.<sup>1</sup> Этот опыт, если я правильно понял его описание, заключается в следующем. Сильный подковообразный магнит поставлен на стол в таком положении, что линия, соединяющая его полюсы, направлена перпендикулярно к магнитному меридиану. Эту линию следует представить себе продолженной в одну сторону; на этой линии поблизости от магнита следует поместить небольшую, сильно намагниченную стрелку, подвешенную на шелковой нити, а по другую сторону от последней — полюс прямого магнита в таком положении и настолько близко, чтобы в точности компенсировать действие подковообразного магнита; стрелке надо предоставить установиться таким образом, как если бы оба магнита отсутствовали. Если затем между полюсами подковообразного магнита поместить кусок висмута, то, как утверждают авторы, это оказывает влияние на магнитную стрелку, вызывая ее отклонение в некотором определенном направлении; предполагается, что это указывает на полярность висмута при данных условиях, поскольку при отсутствии магнитов он не оказывает подобного действия. Кусок железа, поставленный вместо висмута, производит отклонение стрелки в противоположном направлении.

2690. Я повторил этот опыт с величайшей осторожностью и тщательностью, но ни разу не получил с висмутом ни малейшего следа действия. Я получал действие с железом, но в этих

<sup>1</sup> Scientific Memoirs Тэйлора, V, стр. 480.

случаях действие оказалось гораздо меньше того, какое получилось бы, если бы железо поместить снаружи между подковообразным магнитом и стрелкой или возле одной стрелки при полном устранении магнитов. Пользуясь гранатом или каким-нибудь другим слабо магнитным веществом, я нахожу, что эту установку вообще нельзя сравнить по быстроте показаний или по чувствительности с обыкновенной или астатической стрелкой; поэтому я не понимаю, каким образом он может служить для выявления полярности висмута, если этого не удастся обнаружить с помощью магнитных стрелок. Может быть, я впал в ошибку. Но хотя я самым тщательным образом придерживался описания и принципов полярного действия, я не мог открыть, в чем бы я мог ошибиться.

2691. Существует еще один опыт, который описал мне Плюккер и который на первый взгляд как будто дает строгое доказательство полярности висмута. Если стерженек висмута (или фосфора) подвесить горизонтально между полюсами электромагнита, то он начнет двигаться в экваториальное положение с известной силой, переходя, как я говорил, из мест более сильного действия в места более слабого действия (2267). Если такого же размера железный стерженек закрепить в экваториальном положении несколько ниже той плоскости, в которой движется диамагнитная палочка, то последняя будет стремиться в экваториальное положение с гораздо большей силой, чем раньше; высказывается мнение, что причиной этого является то обстоятельство, что на той стороне, где железо имеет полярность  $N$ , диамагнитное тело имеет полярность  $S$ , а на другой стороне полярность железа  $S$  также совпадает с полярностью висмута  $N$ .

2692. Однако совершенно ясно, что благодаря присутствию железа направляющая интенсивность магнитных силовых линий значительно изменилась, и этого достаточно для того, чтобы в полной мере объяснить усиление действия. В самом деле, представим себе стержень висмута как раз в момент, когда он оставляет свое аксиальное положение и устремляется

к экваториальному положению. В момент начала движения концы стержня находятся в местах большей, чем раньше, магнитной силы, так как нельзя же сомневаться в том, что железный стержень привлекает в направлении от полюса до полюса электромагнита больше силы, чем ее было бы при отсутствии железа. С другой стороны, когда стержень достигает экваториального положения, то магнитная сила, под влиянием которой находятся его концы, гораздо меньше, чем та, которая действовала бы на них раньше в *тех же местах*, ибо железный стержень отвлекает на себя вниз много той силы, которая при отсутствии этого стержня распределяется в плоскости, где теперь находится висмут. Поэтому разность интенсивности силы, которую испытывает диамагнитное тело при повороте на  $90^\circ$ , гораздо больше при наличии железа, чем в его отсутствии. Это явление весьма походит на целый ряд других, о которых я сообщил при изложении магнекристаллического действия (2487—2497), и, как мне думается, не дает ничего нового для экспериментального доказательства существования диамагнитной полярности.

2693. Наконец, считаю своим долгом заявить, что я не могу найти экспериментального доказательства для подкрепления гипотезы о диамагнитной полярности (2640) ни в своих собственных опытах, ни в повторенных мною опытах Вебера, Рейха или других. Я не хочу этим сказать, что подобной полярности не существует, и считал бы возможным, что Вебер с помощью гораздо более чувствительных приборов, чем мои, открыл следы этой полярности, но в таком случае он должен был бы определенно встретиться с гораздо более интенсивными явлениями, происходящими с медью, золотом, серебром и с лучшими проводниками из числа диамагнитных тел. Если бы было установлено, что висмут дает некоторое действие, то надлежало бы проверить и установить последнее, а для этого производить установку в различные положения, разделять массу висмута обращением его в порошок, установить влияние промочи и т. д. И подобно тому, как магнитная поляр-

ность железа или никеля, взятых в очень малом количестве и при неблагоприятных условиях, гораздо легче выявляется по действию их на аstaticкую стрелку или по стремлению к определенной установке между полюсами сильного подковообразного магнита, чем с помощью установки, подобной моей или Вебера или Рейха, так и диамагнитную полярность, кажется мне, было бы гораздо легче узнать тем же путем; я думаю, что до сих пор не существует таких доказательств этой полярности, которые сравнялись бы своей силой и значением с теми доказательствами, которые были даны Бругманом (Brugmann) и мною.

2694. Таким образом, в настоящее время действия, образцом и типом которых являются действия железа, меди и висмута, остаются различными, и их соотношения известны нам лишь отчасти. Нельзя сомневаться в том, что в дальнейшем будет открыт более широкий и простой закон действия, чем все известное нам до сих пор, и этот закон охватит все эти действия целиком; и красота гипотезы Вебера послужила для меня главным побуждением к тому, чтобы попытаться его установить.

2695. Хотя в силу соображений, которые были изложены выше (2693), я питал мало надежды на получение каких-либо полезных результатов, я все-таки признал целесообразным подвергнуть действию данного прибора некоторые магнекристаллические сердечники. Один сердечник представлял собою большую группу симметрически расположенных кристаллов висмута (2457), второй сердечник — большой кристалл красной кровяной соли, третий сердечник — кристалл известкового шпата, а четвертый и пятый — большие кристаллы протосульфата железа. Эти сердечники были изготовлены в форме цилиндров, причем в первом и четвертом сердечнике магнекристаллические оси (2479) были направлены параллельно оси цилиндра, а во втором, третьем и пятом параллельно оси цилиндра было экваториальное направление силы (2594, 2595, 2546). Ни один из этих сердечников не оказал никакого дей-

ствия на гальванометр, за исключением четвертого и пятого, причем последние дали сходные результаты, которые были обусловлены их обычным магнитным свойством.

2696. Некоторые из выражений, которыми я пользовался, могут создать впечатление, будто я предполагаю, что, когда я делаю опыты с медными и другими сердечниками, то сначала в них основным магнитом индуцируются токи, а затем эти токи в свою очередь индуцируют токи, которые наблюдаются в экспериментальной катушке. Как действуют сердечники на экспериментальную катушку: непосредственно или же косвенно путем влияния на основной магнит, это — очень интересный вопрос; мне очень хотелось, чтобы мои выражения не превосходили до некоторой степени решения этого вопроса, но это оказалось нелегко. Мне представляется вероятным, что сердечники действуют на катушку косвенно и что непосредственное их действие направлено целиком на основной магнит; этот последний, независимо от того, из каких металлов состоят сердечники: из магнитных или диамагнитных, повышает их силу длительно или преходяще и на это время привлекает их силу на себя. Раньше, чем сердечник начинает двигаться, чтобы приблизиться к магниту, магнит и экспериментальная катушка находятся в тесной связи друг с другом, и последняя пребывает в интенсивном поле магнитной силы, принадлежащей полюсу первого. Если сердечник сделан из железа, то, приближаясь к магниту, он вызывает сильное схождение и концентрацию в себе самом магнитных силовых линий; а последние, сходясь и проходя через катушку и поперек ее витков, оказываются в состоянии вызвать в ней токи, которые мы и получали (2653, 2668). Когда железо удаляется от магнита, эти силовые линии расходятся и, вновь пересекая линию проволоки в катушке в направлении, противоположном прежнему, производят противоположный ток. При рассмотрении действия железного сердечника не представляется как будто необходимым допустить какое-либо непосредственное действие его на катушку и вообще какое-либо другое действие

помимо того, которое он оказывает на силовые линии магнита. Значит, его действие на катушку оказывается косвенным.

2697. Но когда в катушку входит медный сердечник, то, имея в виду полную тождественность рассуждения, его действие на нее, по всей вероятности, также является косвенным. Действительно, возбуждаемые в ней токи вызываются прямым влиянием магнита, и они должны в свою очередь оказать эквивалентное влияние на магнит. Они это и делают, и благодаря своему направлению и известному влиянию они заставляют силовые линии магнита расходиться. Когда сердечник уменьшает скорость своего движения или приходит в состояние покоя, то токи в нем прекращаются, и силовые линии тогда сходятся. Этого расхождения и схождения или прохождения в двух направлениях поперек проволоки экспериментальной катушки достаточно для того, чтобы возбудить те два тока, которые мы получили при продвижении сердечника к основному магниту (2671, 2673). Соответствующее действие в противоположном направлении производится при удалении сердечника.

2698. Исходя из предположения, что действия сердечника на катушку носят не указанный выше, а более прямой характер, я вкладывал во время опытов в промежуток между сердечником и катушкой различные вещества. В экспериментальную катушку был вставлен толстый медный цилиндр длиной в 2.2 дюйма с внешним диаметром 0.7 дюймов и с внутренним диаметром 0.1 дюйма и, стало быть, с толщиной стенок в 0.3 дюйма, а в приборе находился сердечник из железной проволоки (2668). Однако, как бы ни проводился этот опыт, характер и величина получавшегося при этом действия оказались такими же, как если бы медь отсутствовала и вместо нее там было стекло или воздух. Когда основной магнит был удален, а проволочный сердечник был намагничен, получился тот же результат.

2699. В экспериментальную катушку была оставлена другая медная оболочка, представлявшая собою цилиндр длиной

в 2.5 дюйма с внешним диаметром в 1 дюйм и толщиной в одну восьмую дюйма; сердечники для опытов были из серебра и из меди толщиной в пять восьмых дюйма; опыты производились, как и раньше, при наилучшем положении коммутатора (2675). С медью и без нее — так же, как со стеклом и без него, — явления оказались абсолютно тождественными (2698).

2700. Не может быть никакого сомнения в том, что когда медные оболочки находились на своих местах, то во время действия они были насквозь пронизаны токами и что при их отсутствии в замещавшем их воздухе или стекле никаких токов не существовало. Имеется также полное основание допустить, что предположенного выше (2697) расхождения и схождения магнитных силовых линий достаточно для того, чтобы объяснить появление в них также токов, если исходить из допущения косвенного действия сердечников. Если отказаться от этого допущения, тогда, мне кажется, вся совокупность присутствующих тел, т. е. магнит, катушка, сердечник, медная оболочка, или же замещающий ее воздух или стекло, — все это должно находиться в состоянии натяжения, при котором каждая часть их действует на каждую другую часть; это то состояние, которое в других местах я не раз старался представить себе как некоторое электротоническое состояние (1729).

2701. Продвижение меди заставляет магнитные силовые линии расходиться, или оно, так сказать, гонит их перед собой (2697). Нет сомнения в том, что при этом происходит реакция по отношению к продвигающейся меди, и в последней возникают токи такого направления, которое сообщает им способность при дальнейшем продвижении поддерживать расхождение. Однако кажется нелогичным утверждать, что расхождение силовых линий вызывается токами, возбуждаемыми силовыми линиями в меди. Мне скорее кажется, что силовые линии, так сказать, отклоняются или отгибаются наружу движущейся вперед медью (или, при другом виде опыта, замкнутым проводом, движущимся поперек силовых линий) и что реак-

ция силовых линий на силы в частицах меди заставляет их обратиться в ток, вследствие чего сопротивление преодолевается и устраняется, и силовая линия возвращается на свое место. Выраженно: *силовая линия* я не приписываю никакого другого смысла помимо того, какой я ему придавал раньше (2149).

*Королевский институт.*

*14 декабря 1849 г.*

# ДВАДЦАТЬ ЧЕТВЕРТАЯ СЕРИЯ

*Раздел 30. О возможной связи между тяготением и электричеством.*

Поступило 1 августа. Доложено 28 ноября 1850 г.

## РАЗДЕЛ 30

### О возможной связи между тяготением и электричеством

2702. Долголетнее и неизменное убеждение в том, что все силы природы находятся во взаимной связи, имея общее происхождение или, скорее, представляя собою различные проявления единой основной силы (2146), побуждало меня часто думать о возможности установления путем опыта связи между тяготением и электричеством и о включении, таким образом, первого из них в группу, цепь которой, включающая в себе также магнетизм, химические силы и теплоту, соединяют общей связью столь много и столь различных проявлений силы. Произведенные мною с этой целью изыскания дали, правда, лишь отрицательные результаты, тем не менее я полагаю, что краткое изложение этого вопроса в том виде, как он представлялся мне лично, и результатов тех опытов, которые по началу были весьма обнадеживающими, а затем после тщательного исследования источников ошибок были сведены к истинному их значению, может быть полезным как с точки зрения общего изложения этой проблемы, так и для того, чтобы побудить других заняться ее рассмотрением.

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1851, стр. 1. Чтение памяти Бэкера.

2703. Когда я искал начало, на котором можно было бы построить экспериментальное исследование по вопросу о тождестве указанных двух сил или о связи между ними, мне казалось, что, если подобная связь существует, то тяготение должно содержать в себе нечто такое, что соответствовало бы двойственной, или антитетической природе форм силы в электричестве и магнетизме. Мне казалось возможным, что подчинение этой силе или сближение тяготеющих тел, с одной стороны, и планомерное обращение силы или отдаление тел, с другой стороны, могут дать пункты соответствия; при этом покой (по сравнению с движением) представлял бы собою нейтральное состояние. Конечная неизменность тяготения, казалось мне, не нарушается подобным допущением, ибо действующие тела, находясь в состоянии покоя, находились бы всегда в одинаковом отношении друг к другу, и лишь во время движения друг к другу и друг от друга можно было бы ожидать каких-нибудь результатов, имеющих отношение к электричеству. Подобные результаты, если они вообще возможны, должны быть чрезвычайно малы. Но если они возможны, т. е. действительно имеют место, то никакие выражения не будут преувеличенными для значения той связи, которую они устанавливают.

2704. Мысль, на которой были основаны опыты, заключалась в том, что, когда два тела движутся по направлению друг к другу благодаря силе тяготения, то в этих телах или в окружающей материи могут возникнуть токи некоторого направления, а когда эти тела под действием внешней силы удаляются друг от друга против силы тяготения, то могут возникнуть токи противоположного направления. Далее, эти токи должны были бы быть связаны с линией сближения и удаления, а не с пространством вообще, так что в двух сближающихся телах токи должны были бы быть направлены противоположно друг другу по отношению к пространству вообще, но одинаково по отношению к направлению их движения вдоль соединяющей их линии. Нет необходимости вдаваться в изложение

дальнейших допущений, связанных с этими моментами или с действием вынужденных движений, совпадающих с направлением земного тяготения либо пересекающих это направление, а также ряда других вещей. Достаточно указать, что так как ожидаемое действие должно было быть крайне незначительным, то нельзя было надеяться на получение какого-нибудь результата иначе, чем при посредстве земного тяготения. Поэтому в качестве одного из двух тел была взята земля, а в качестве второго тела была взята служащая указателем масса нещества, с которой должен был производиться опыт.

2705. Прежде всего тело, которое должно было падать, окружалось катушкой, и затем исследовалось его действие при падении. Но тело может падать либо вместе с катушкой, либо сквозь катушку. Изолированная медная проволока длиною в 350 футов была свернута в виде полый цилиндрической катушки длиною в 4 дюйма, причем внутренний ее диаметр составлял 1 дюйм, а внешний — 2 дюйма. Катушка была прикреплена к шнуру, который был переброшен через легкий блок, так что ее можно было поднять на высоту в 36 футов и затем пустить падать с возрастающей скоростью на очень мягкую подушку, причем ее ось все время оставалась вертикальной. К обоим концам катушки были прикреплены две изолированные проволоки, которые были закручены друг около друга и присоединены к очень чувствительному гальванометру, помещенному на расстоянии приблизительно в 50 футов от линии падения и на уровне середины этой линии. Тщательность соединения и направление, в котором устанавливалась стрелка гальванометра, проверялись путем введения в цепь тока чувствительного термоэлектрического элемента. Такая катушка ни во время своего подъема, ни во время падения не может произвести отклонения гальванометра вследствие какого-нибудь тока, который был бы вызван магнетизмом земли. В самом деле, катушка во время падения остается параллельной самой себе, а потому, когда линии равной маг-

нитной силы, параллельные магнитному наклонению, пересекаются витками проволоки падающей катушки, они пересекаются с одинаковой скоростью на обеих сторонах катушки; следовательно, этим никакого действия магнитоэлектрической индукции не вызывается.

Ни при подъеме, ни при падении эта катушка не обнаружила ни следа влияния на гальванометр независимо от того, какова была связь с гальванометром: ее можно было поддерживать все время или прерывать как раз перед уменьшением или прекращением движения в том или ином направлении, или устраивать так, чтобы падение и подъем катушки были изохронны с периодами колебания стрелки гальванометра. Таким образом, хотя в самой катушке не обнаруживалось никакого действия тяжести, тем не менее этот способ пользоваться ею не содержал в себе, по-видимому, никакого источника ошибки.

2706. После этого в катушку был вставлен сплошной медный цилиндр с диаметром в три четверти дюйма и длиной в 7 дюймов; он был тщательно укреплен в ней, был обернут тканью так, что не мог двигаться, и эту сложную систему пускали падать, как раньше (2705). Она давала очень слабые, но удивительно регулярные указания на существование в гальванометре тока, и правдоподобность того, что эти указания связаны с тяготением, стала казаться еще больше, когда было установлено, что при подъеме катушки или сердечника появлялись подобные же указания на возникновение противоположных токов. Только по простовитию некоторого времени я отыскал истинную причину этих токов и установил, что они вызываются действием части соединительных проволок, идущих от катушки к гальванометру. Две эти проволоки были правильно скручены друг с другом, но в результате нескольких падений часть проволок поблизости от их середины развернулась и образовала что-то вроде петли, так что проволоки не были скручены туго, как веревки в кавате, а разошлись на протяжении 3 футов, как если бы веревки расплелись.

Во время падения эта петля более или менее раскрывалась, но всегда одинаковым образом. В результате из частей ее, образующих поперечное отверстие, более отдаленная от гальванометра проходила больший путь, чем соответствующая часть, ближайшая к гальванометру. Если бы обе части проходили одинаковые пути, то действие на них магнитных силовых линий земли было бы одинаково и на гальванометр не оказывалось бы никакого действия. Но при данных условиях токи стремились возникнуть в противоположных направлениях, но неодинаковой силы, и на деле получался ток, равный их разности. Подобный случай был описан в моих наиболее ранних исследованиях по земной магнитоэлектрической индукции (171). Ясно, что при подъеме катушки и проводов должны были возникать те же токи, но в противоположном направлении, и таким образом получалось описанное выше противоположное действие. Таким образом, при указанном опыте с медным сердечником в катушке никакого положительного или благоприятного показания в пользу первоначального допущения не получилось.

2707. Медь была избрана как тяжелое тело и как превосходный проводник электричества. Она была удалена, и на ее место был поставлен такого же размера цилиндр из висмута, как вещества чрезвычайно диамагнитного и как плохого проводника среди металлов. Были получены неопределенные указания; однако, когда было уделено более тщательное внимание одной подробности за другой, то все эти указания исчезли; после этого подъем и падение висмута не вызывали более никакого действия на гальванометр.

2708. Был также сделан опыт с цилиндром из железа, как магнитного металла, но когда он был установлен вполне надежно, чтобы предупредить всякое его смещение по катушке, то он оказался безразличным в такой же мере, как медь и висмут (2706, 2707).

2709. Были испытаны цилиндры из стекла и из шеллака, как непроводящих веществ, но — без всякого результата.

2710. При других опытах катушка стояла *неподвижно*, и через нее падали вниз различные вещества в форме цилиндров с диаметром в три четверти дюйма и длиною в 24 дюйма или они поднимались вверх с возрастающей скоростью; однако ни в одном случае не получилось никакого действия. Были испытаны стержни из меди, висмута, стекла, шеллака и серы. В некоторых случаях опыт производился таким образом, что эти стержни быстро вращались до и во время падения; были придуманы и осуществлены также многие другие условия и всегда — с отрицательными результатами, когда источники погрешностей были устранены или приняты во внимание.

2711. При дальнейшем продумывании первоначального допущения, т. е. о существовании связи между указанными силами, а также тех явлений, которых можно ожидать как следствия состояния напряжения в частицах тела и вокруг них, мы должны помнить, что эти частицы являются местопребыванием как сил тяготения, так и электрических сил; а потому представляется вероятным, что остановка движения вверх и вниз (2703, 2704) по линии тяготения будет вызывать явления, противоположные тем, которые вызываются возникновением движения, причем это будет иметь место, независимо от того, как происходит остановка движения: внезапно или же постепенно; думается также, что если движение вниз будет более быстро, чем то, которое может сообщить тяжесть, то оно даст и больший эффект, чем дает одна тяжесть; а соответствующее повышение скорости вверх тоже даст соразмерно повышенный эффект. Но в таком случае оказалась бы весьма полеаной машина, которая могла бы давать быстро чередующееся движение вверх и вниз, поскольку она создавала бы много мелких единиц индукционного действия в небольшом пространстве и в короткое время; ибо тогда, посредством надлежащего коммутатора, можно было бы сначала разделить, а затем соединить в непрерывный ток ускоренные и замедленные части каждой половины колебания, и этот ток можно было бы направить в гальванометр в то время, когда его стрелка

отклоняется в одном направлении, а затем во время отклонения стрелки в другом направлении этот ток перевернуть; и так можно было бы действовать то в одну, то в другую сторону, пока явление, если оно действительно вызывается предполагаемой причиной, не стало бы заметным.

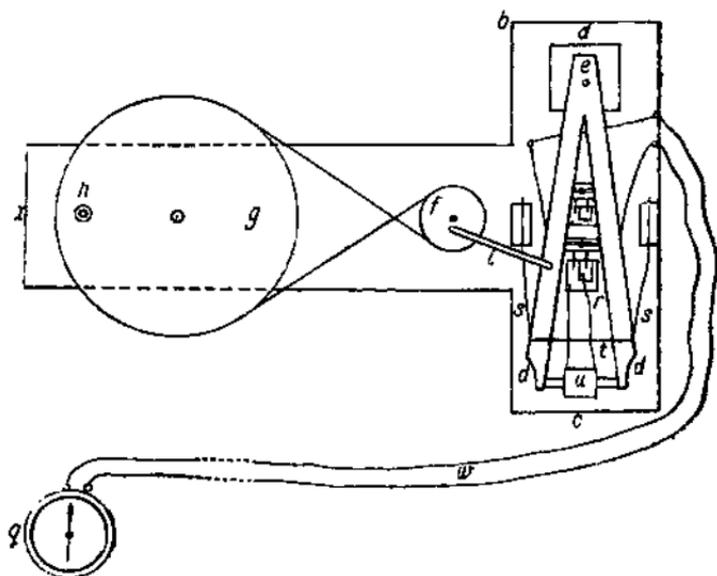


Рис. 188.

2712. Машина, которую я изготовил для этой цели, — это та же машина, которую я описал в последней серии настоящих Исследований (2643), но на нее были удалены электромагнит, экспериментальный сердечник и стержень, на котором последний был укреплен (рис. 188). Здесь *a, b, c* — деревянная подставка; *d, d, d* — деревянное коромысло, осью которого является *e*; *f* — колесо передачи и *g* — большое колесо с ручкой *h*; *i* — штанга, соединяющая передачу с коромыслом; *q* — гальванометр; *r* — коммутатор; *w* — соединительные провода; *s, s* — латунные или медные пружины; *t* — медный прут, соединяющий два колена коромысла для придания ему

крепости; и — полая катушка, которая по желанию стоит неподвижно или движется. Чертеж дан в масштабе 1 : 15. Машина стояла на подвижной подставке, а потому ее можно было установить в любом положении. Цилиндр из металла или из другого вещества, который должен был подвергнуться ее действию, имел длину в  $5\frac{1}{2}$  дюймов и диаметр в три четверти дюйма и прочно укреплялся между концами  $d$ ,  $d$  колен коромысла. Протяжение движения туда и назад составляло 3 дюйма. Из обмотанной медной проволоки длиной в 516 футов была устроена полая цилиндрическая катушка и длиной в  $2\frac{1}{2}$  дюйма с таким внутренним диаметром, чтобы цилиндры могли в ней совершать свои быстрые движения в ту и другую стороны без риска удариться об ее бока. Этот цилиндр можно было установить неподвижно или же накрепко соединить с испытуемым цилиндром, чтобы он двигался вместе с последним. Провода от этой катушки шли к коммутатору, а от него — к гальванометру. Импульс этой машины частью воспринимался пружинами  $s$ ,  $s$  (2648) и обращался в противоположное движение. Однако необращенного импульса оставалось еще очень много, а потому требовалось большое старание при установке и креплении всей системы, чтобы действие ее было очень устойчивым; в противном случае цилиндр и катушка легко приходили в расстройство, и зачастую возникали электрические токи.

2713. Делая с этой машиной опыты с цилиндрами из железа, меди и других веществ, можно было различными путями вызывать электротокки. Так, железо могло производить магнитоэлектрические токи благодаря своему полярному состоянию, возникавшему под влиянием земли. Эти токи легко обнаружить и отделить с помощью надлежащим образом подобранных магнитов, которые должны нейтрализовать или обратить в противоположную сторону проходящие через железо магнитные силовые линии. Подобного рода токи могли также индуцироваться под влиянием земли в медных цилиндрах и в хороших проводниках (2663, 2684); но так как линии силы тяжести

и линии земной магнитной силы наклонены друг к другу, то их можно было отделить, подбирая положение (машины), и казалось, что здесь не существует такого источника погрешностей, который при надлежащем внимании нельзя было бы исключить. Я не буду тратить времени на описание того, каким образом был усвоен этот долгий урок предосторожности, и прямо перейду к изложению основных результатов.

2714. В машине был установлен медный цилиндр (2712), и катушка вокруг него была укреплена неподвижно; при этом вся система была приведена в такое положение, чтобы цилиндр оставался все время вертикальным и двигался внутри катушки вверх и вниз параллельно линии тяжести. Однако, как бы быстро ни работала машина и каково бы ни было положение коммутатора, на гальванометре не получалось никакого результата. Были испытаны также цилиндры из висмута, стекла, серы, гуттаперчи и др., но с тем же отрицательным исходом.

2715. После этого катушка была снята со своей неподвижной опоры и скреплена с медным цилиндром так, что она могла двигаться вместе с последним; тогда стали получаться регулярные и относительно сильные действия. Однако, спустя короткое время было установлено, что они вызываются иными причинами, а не тяжестью; эти причины были таковы. Катушка была прикреплена к одному концу коромысла в точке, находившейся на расстоянии 22 дюймов от его оси, и так как она имела в диаметре 2 дюйма, то ее провода находились на одной стороне лишь на расстоянии 21 дюйма от оси, а на другой стороне — на расстоянии 23 дюймов. Таким образом, во время колебаний скорости частей катушки и проходимые ими пространства относились друг к другу, как 21 : 23. Следовательно, когда их пути проходили *поперек* магнитных силовых линий земли, то в указанных различных частях катушки стремились возникать токи, пропорциональные по своей величине или силе указанным выше числам, и разности этих токов, собираемые все время коммутаторами, обнаруживались на гальванометре. Последнее стало очевидным, когда машина была установлена

таким образом, что плоскость колебаний оставалась вертикальной, но катушка оказалась прямо под центром движения, и, стало быть, центральная линия катушки из вертикальной стала горизонтальной. Теперь витки катушки пересекали магнитные силовые линии наиболее благоприятным образом, и в результате этого отпала нужда в коммутаторах, так как одного только движения катушки в каком-нибудь направлении было достаточно для того, чтобы обнаружить на гальванометре индуцированные магнитоэлектрические токи. Когда же, наоборот, плоскость движения была сделана горизонтальной, то ток совершенно не возбуждался ни при какой силе движения; ибо хотя катушка была так же горизонтальна, как и раньше, и не в большей степени, чем раньше, но части витков, которые пересекали магнитные силовые линии (представлявшие собою верхние и нижние их части), двигались теперь с совершенно одинаковой скоростью, и никакого разностного действия не получалось.

2716. Таким образом, указанный выше небольшой результат (2715) был связан, вероятно, с подобного рода действием, и это подтвердилось, когда машина была установлена в таком положении, что ось движущегося медного цилиндра и катушка были в среднем своем положении параллельны линии магнитного наклона; тогда не получалось никакого действия. Другие тела в том же положении оказались в той же мере неспособными произвести какое-либо действие.

2717. На этом пока заканчиваются мои пробы. Их результаты отрицательны. Они не колеблют моего глубокого убеждения в существовании связи между тяготением и электричеством, хотя и не дают никакого доказательства в пользу того, что подобная связь существует.

*Королевский институт.*

19 июля 1850 г.

# ДВАДЦАТЬ ПЯТАЯ СЕРИЯ <sup>1</sup>

*Раздел 31. О магнитном и диамагнитном состоянии тел.* Глава I. Газообразные тела под влиянием магнитной силы не расширяются. Глава II. Разностное магнитное действие. Глава III. Магнитные свойства кислорода, азота и пустоты.

Поступило 15 августа. Доложено 28 ноября 1850 г.

## РАЗДЕЛ 31

### О магнитном и диамагнитном состоянии тел

#### ГЛАВА I

#### *Газообразные тела под влиянием магнитной силы не расширяются*

2718. Не может быть никакого сомнения в том, что когда магнитная сила, диамагнитная сила и магнеоптическая или магнекристаллическая сила будут вполне изучены, то будет установлено, что они сводятся к чему-то единому, т. е. что они существуют в виде единой формы силы и по своей природе являются тождественными. Отсюда тот большой интерес, какой представляет собою проявление каждого из этих видов действия; ибо как сильно они не отличаются друг от друга в некоторых специальных отношениях, едва ли можно было бы добиться успеха в деле разъяснения или понимания одной какой-либо из них без соответствующего прогресса в позна-

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1851, стр. 7.

нии других. Побуждаемый этим сознанием, я, наравне с Шлюккером, Вебером, Рейхом и другими, работал над тем, чтобы выявить с возможной степенью точности способ действия диамагнитных, равно как магнекристаллических тел; мое недавнее исследование (2640 и след.) и попытка подтвердить представление о том, что в висмуте и в диамагнитных телах имеется особая полярность, представляющая собою нечто противоположное полярности в магните или в железных телах, были одним из результатов указанного выше убеждения и стремления.

2719. Однако, как мы видели, мне не удалось установить существования такой антиполярности; мне кажется, мною было доказано, что явления, которые, по предположению, обязаны ей, в действительности зависят от других обстоятельств и причин; и, продолжая свои поиски какого-либо точного объяснения природы диамагнитных тел, я возымел желание проверить другое представление, которое возникло в результате исследования магнитных и диамагнитных явлений в газообразных веществах. Это представление вместе с некоторыми из тех результатов, которые были получены на его основе при экспериментальной его проверке, я и намерен сделать предметом настоящего сообщения.

2720. Банкалари впервые показал, что пламя диамагнитно.<sup>1</sup> Это явление, как я доказал, вызывается главным образом накалившимся состоянием газовых частей пламени;<sup>2</sup> но сверх того оказалось, что газы могут обнаруживать диамагнитные явления при обычных температурах и что при наблюдении этих явлений мы убеждаемся в очень сильных различиях между отдельными газами;<sup>3</sup> так, например, когда в качестве образца для сравнения был взят обыкновенный воздух, то азот и ряд других газов оказались по отношению к нему сильно диамаг-

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 401, 421.

<sup>2</sup> Там же, стр. 404, 408.

<sup>3</sup> Там же, стр. 408.

нитными, а кислород вел себя как магнитное тело; в самом деле в магнитном поле первые отталкивались от мест максимальной силы, последний же к ним притягивался.

2721. Итак, вспомним общий закон, данный для действия магнитных и диамагнитных тел (2267, 2418), а именно, что первые из них стремятся перейти из более слабых мест магнитного поля в более сильные, а вторые — из более сильных мест в более слабые; применим этот закон к таким телам, как газы, т. е. тела одновременно весьма упругие и легко изменяющие свой объем при добавочном приложении к ним очей малых сил; тогда из этих свойств как будто следует, что если частицы диамагнитного газа стремятся двигаться из мест сильного действия в места слабого действия в результате прямого и непосредственного влияния на них магнитной силы, то такой газ в магнитном поле должен стремиться увеличить свой объем, т. е. расширяться. В самом деле в этом случае то количество силы, с которым частицы стремятся отойти от оси магнитного поля, прибавится к расширительной силе, посредством которой они раньше сопротивлялись давлению атмосферы; это давление будет поэтому отчасти преодолеваться новой силой, и в результате обязательно получится расширение. С другой стороны, если какой-либо газ магнитен (как например кислород), то в этом случае сила, приложенная к частицам при таком прямом и непосредственном действии на них магнитной силы, будет заставлять их двигаться *по направлению* к оси магнитного поля; таким образом она будет совпадать с давлением атмосферы, будет складываться с последней и должна стремиться к тому, чтобы сжать газ, уменьшить его объем.

2722. Если бы предположенные выше явления оправдались, то мы могли бы тогда прийти к пониманию того, что такое истинная целевая точка (2416, 2432, 2440)<sup>1</sup> — не только для газов, но и для всех тел, и были бы в состоянии сказать, каким телом

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 420.

является такой газ, как кислород: магнитным или диамагнитным; мы тогда могли бы распределить отдельные газы и другие вещества по соответствующим им местам. Правда, сначала я пытался выяснить, происходит ли какое-нибудь изменение объема воздуха в магнитном поле, и не нашел при этом никакого изменения; но сообщение Плюккера о том, что он получил такого рода явление,<sup>1</sup> а также достигнутое нами с того времени большое расширение наших знаний о диамагнитных отношениях газов и, в особенности, о большом различии, какое существует между ними, поощрило меня к тому, чтобы продолжить это исследование.

2723. Сначала я попытался выяснить, не существует ли какого-нибудь воздействия на тот слой воздуха (или другого газа), который непосредственно соприкасается с магнитным полюсом; это воздействие при последующем расширении или сжатии этого слоя могло бы сообщить ему способность оказывать воздействие на ход луча света и таким образом обнаружить происходящие в нем изменения. Перед пламенем яркой лампы в темном помещении был поставлен металлический экран, проткнутый булавкой; таким образом была устроена искусственная звезда или небольшой, четко ограниченный светящийся объект. На расстоянии сорока шести футов от последнего был помещен большой подковообразный магнит (2247), который мог возбуждаться двадцатью парами пластин Грова. Полюсы были расположены по линии луча от лампы, так что луч проходил 4 дюйма вплотную у поверхности первого полюса, затем 6 дюймов в воздухе, а после этого 4 дюйма вплотную у поверхности второго полюса. Луч перехватывался очень хорошим телескопом-рефрактором, принадлежащим сэру Джемсу Сауту (South); телескоп имел отверстие в 3 дюйма и фокусное расстояние в 46 дюймов. Телескоп был снабжен прекрасным микрометром, так что на нитях его можно было

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1850, XXIX, стр. 134.

наблюдать малейшее изменение места светящегося изображения. Ось телескопа проходила в точности над уровнем магнитных полюсов. Нельзя было заметить ни малейшего изменения ни в характере, ни в местоположении светящегося изображения как при замыкании, так и при размыкании контакта между гальванической батареей и магнитным проводом.

2724. Так как главная часть света, доходившего до телескопа, состояла из лучей, которые проходили на некотором расстоянии над магнитными полюсами, то эти лучи отсекались посредством экрана, который стоял выше полюсов лишь на одну восьмую часть дюйма и пропускал только те лучи, которые находились в пределах указанного промежутка. Интенсивность света при этом, конечно, уменьшалась, и изображение вследствие отклонения искажалось; тем не менее его местоположение хорошо определялось микрометром. При возникновении и удалении магнитной силы не происходило ни малейшего изменения ни в этом местоположении, ни в какой-либо другой характерной особенности изображения.

2725. После этого я изменял форму концов магнитных полюсов, так что луч проходил то параллельно и в тесной близости к длинному прямоугольному краю, то параллельно и в промежутке между двумя прямоугольными краями, немного выше или немного ниже их, или же поверх линии, соединяющей два полушаровых полюса, поставленных вплотную друг к другу (изменял их и на много других ладов); но ни в одном случае магнитное действие не оказывало никакого влияния на ход луча.

2726. При другой постановке опыта телескоп был удален, и вместо него была поставлена простая карта с булавочным отверстием диаметром в  $1/50$  или  $1/100$  дюйма. Изображение светлой звезды можно было наблюдать через это отверстие в темном помещении, и при этом каждый луч, участвующий в его создании, проходил в промежутке  $1/50$  дюйма от поверхности магнитного полюса; однако никакого действия магнитной силы нельзя было при этом заметить.

2727. При еще одном расположении полюсных концов, аналогичном тому, каким я воспользовался раньше, когда производил опыты по вопросу о магнитных отношениях газов,<sup>1</sup> я имел возможность окружить их, помимо воздуха, другими газообразными веществами и пропускать луч на протяжении 2 дюймов его пути через эти газы в то время, как они находились под влиянием магнита. Хотя стекло сосуда, в котором находился газ, искажало изображение объекта, т. е. световой точки, тем не менее было легко установить, что при возбуждении магнетизма не возникало никакого добавочного явления.

2728. Указанным образом были испытаны кислород, азот, водород и светильный газ. Однако, независимо от того, какой газ подвергался испытанию: один из указанных выше газов или же просто воздух, когда они находились в соприкосновении с действующим полюсом очень мощного магнита, не было заметно, чтобы они расширились или сжались в такой мере, чтобы произвели заметное изменение их преломляющей способности.

2729. Я сравнивал ожидаемый результат с действительным результатом, который вызывается изменением объема; для этого я взял железный стержень длиной в 7 дюймов и поместил его таким образом, чтобы луч от светящегося объекта на своем пути к глазу проходил с боку этого стержня на расстоянии не свыше  $1/50$  дюйма, и затем постепенно повышал температуру стержня до тех пор, пока благодаря расширению воздуха, находившегося с ним в соприкосновении, ход светового луча заметно не изменился. Для достижения этой цели пришлось повысить температуру на много градусов. Когда воздух в этом месте находился при температуре  $60^{\circ}$ , а температура железа повысилась до  $100^{\circ}$  Фаренгейта, то действия еще не было заметно. Поэтому возникла мысль, что наблюдение над ожидаемым изменением объема воздуха можно было бы с помощью какой-либо установки, непосредственно измеряющей это изме-

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 414, 415.

нение, сделать гораздо более чувствительным, чем с помощью вышеописанных средств, связанных с преломляющей способностью; ибо достоверно, что при таком прямом методе изменение объема очень малого количества воздуха, нагретого от 60 до 100°, оказалось бы весьма заметным. С другой стороны, представлялось вполне возможным, что когда воздух или газ испытывает на себе влияние со стороны магнита, то это имеет место только в слое, непосредственно прилегающем к полюсу; думалось также, что может существовать большое различие величины изменения вдоль *края* телесного угла и вдоль *сторон* плоскостей, образующих этот угол. Отсюда вытекала необходимость исследовать эти участки с помощью светового луча. Ход луча более или менее отклонялся к сторонам или краям полюсов; сторонам или углам придавалась слегка выпуклая форма; таким образом предпринимались все меры к тому, чтобы производить опыт в таком виде, чтобы облегчить проявление всякого магнитного или диамагнитного действия — особого, местного, общего. Однако никакого результата получено не было.

2730. После того как указанные выше попытки не дали результата, я постарался определить и сравнить *объем* воздуха, подвергавшегося действию магнитной силы до и во время этого действия; казалось, что имеется большая надежда этим путем получить некоторые результаты, если только действие магнитной силы вызывает подобное изменение; в самом деле известно, что диамагнитное действие, которое испытывают на себе воздух и газы, весьма сильно уже на значительном расстоянии от поверхности магнита, а Плюккер заявлял, что он получал такое изменение объема (2722).

2731. Первый прибор, устроенный для этой цели, имел следующий вид. Были изготовлены две плашки из мягкого железа, каждая толщиной в 1 дюйм и площадью в 3 дюйма в квадрате, с плоско отшлифованными поверхностями; была изготовлена также медная пластинка толщиной в 1/60 дюйма

и площадью в 3 дюйма в квадрате, причем внутренняя часть пластинки до 0.3 дюйма от ее краев была вся вырезана. Эта пластинка, или рамка, была затем помещена между железными плашками, и все вместе было очень туго свинчено с помощью медных шурупов, так что образовалась воздушная камера толщиной в  $1/60$  дюйма и площадью в 2.4 дюйма в квадрате; ее стенками были поверхности плашек, которым предстояло стать магнитными полюсами. Внутри этой камеры вели три отверстия с соответствующими трубками; каждая из последних

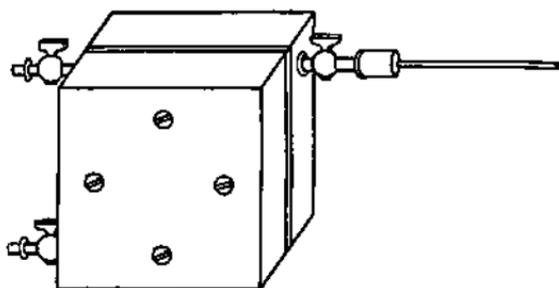


Рис. 189.

была снабжена небольшим краном. Посредством двух из них можно было пустить внутрь любой газ после надлежащей его просушки или же вытеснить его оттуда другим газом. В третью трубку был вставлен измерительный прибор (2732), предназначенный для того, чтобы отметить и измерить возможное изменение объема. Края центральной медной пластинки и головки утопленных шурупов были покрыты твердым белым лаком, и, таким образом, камера стала совершенно непроницаемой при всех тех условиях, каким предстояло ее подвергнуть (рис. 189).

2732. Измерительные приборы были устроены из небольших капиллярных трубок длиной от 1.5 до 3 дюймов (рис. 190), в средней части диаметр трубок был меньше половины их диаметра на концах. Одним концом трубки были укреплены в небольшой муфте, которая навинчивалась на упомянутую выше третью трубку с краном (2731).

Во внешний конец этого измерительного прибора впускалось с помощью деревянной или стеклянной палочки небольшое количество спирта, окрашенного кошенилью; спирт тотчас же перемещался в среднюю, наиболее узкую часть трубки и образовал, как это всегда должно быть, сплошной столбик жидкости. Запирая кран, можно было легко удержать этот маленький цилиндрок на месте, пока воздушная камера наполнялась газом и выравнивалось его давление с давлением атмосферы. Затем другие краны закрывали и открывался кран у измерительного прибора; тогда последний должен был легко обнаружить всякое изменение объема, какое могло бы воз-

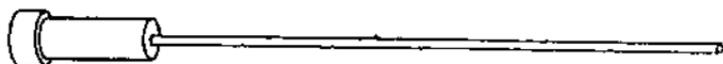


Рис. 100.

пикнуть при возбуждении магнитной силы. Но для того чтобы сообщить ему наивысшую степень чувствительности, надо было предварительно заставить жидкий цилиндрок переместиться вправо и влево от места его покоя — для того, чтобы трубка могла увлажниться по обе стороны от жидкого указателя; это легко достигалось наклоном камеры в ту и другую сторону: тогда тяжесть жидкости заставляла ее переместиться назад и вперед. Но последняя мера, а также ряд других необходимых мер предосторожности, касающихся положения, температуры и т. д., могут быть изучены лишь на опыте.

2733. Когда эта коробка находилась на своем месте, то она стояла между полюсами большого электромагнита, причем плоскость газовой камеры занимала экваториальное положение. После этого к сторонам коробки придвигали вплотную квадратные пластины мягкого железа, упиравшиеся в магнитные полюсы и удерживавшиеся ими, так что внутренние поверхности воздушной камеры фактически могли стать магнитными полюсами; таким образом последние были размером в 3 дюйма в квадрате и находились друг от друга на расстоя-

нии всего  $1/60$  дюйма. Таким образом, какой бы воздух или газ ни находился внутри камеры, он должен был оказаться под влиянием очень сильного магнитного действия, и можно было бы измерить весьма малые изменения его объема. Но необходимо, пожалуй, отметить, что сила магнитного поля, в котором он бы при этом находился, имела во всех местах одинаковую интенсивность (2463, 2465).

2734. Внутри коробки был введен *воздух*, и когда все было надлежащим образом установлено, с помощью микроскопа производилось наблюдение положения жидкого указателя. После этого магнит приводился в сильное действие, и тогда обнаруживалось очень слабое движение жидкости, как если бы воздух немного расширился. После прекращения магнитной силы жидкость возвращалась к своему первоначальному месту. Это действие повторялось неоднократно. Величина указанного изменения была весьма незначительной, и имелось основание отнести его за счет давления, оказываемого магнитом при его действии на бока железной коробки; ибо когда затем коробка была взята в тиски и сжата в них, то произошло то же самое движение жидкости. И, далее, когда квадратные пластины мягкого железа (2733) отделили с помощью деревянных прокладок, дабы они совершенно не соприкасались с камерой и не давили на нее, указанное выше явление было сведено почти что к нулю.

2735. В железную коробку были затем последовательно введены кислород, азот, углекислота и закись азота; результат был совершенно тот же, что при воздухе. Не обнаружилось никакого различия между кислородом и другими газами, хотя они столь сильно отличаются друг от друга по своей магнитной и диамагнитной силе и свойствам. Были также подвергнуты испытанию водород и светильный газ; но когда в коробке находились эти газы, то имело место постепенное отступление жидкого указателя; оно вызывалось, как я это установил, поглощением указанных газов либо лаком, либо смазкой, либо пробкой у измерительного прибора или же

в местах соединения коробки. Этим выявлялась высокая чувствительность измерительного прибора. Но когда указанное действие было принято в расчет, то было установлено, что и у этих газов объем в такой же мере не поддается воздействию со стороны магнитного влияния, как и у прочих газов.

2736. Диаметр измерительного прибора в том месте, где находилась жидкость, был несколько меньше  $1/100$  дюйма. Величину смещения, равную  $1/100$  дюйма, легко было заметить. Если сопоставить эти числа с вместимостью газовой камеры, то станет ясно, что если бы газ в камере расширился или сжался на  $1/100\,000$  часть своего объема, то этот результат можно было бы увидеть, а также, что всякое различие между кислородом и азотом и другими газами, если бы оно было приблизительно такой величины, было бы заметно. *Однако никаких подобных явлений или различий обнаружено не было.*

2737. Мне казалось, что установление наличия или, напротив, отсутствия изменения объема в газах, когда они находятся под магнитным влиянием, представляет большую важность, почти одинаковую в том и другом случае; это привело меня к мысли исследовать, не помешало ли получению искомого явления то обстоятельство, что магнитное поле, действием которого были подвергнуты газы, было всюду одинаковой силы (2733); ибо именно в таком поле диамагнитные явления с твердыми и жидкими телами протекают наиболее неблагоприятно и фактически почти полностью исчезают. Поэтому я устроил другой прибор, в котором указанное положение было устранено; и если частицы диамагнитного газа благодаря какому-нибудь неизвестному расположению действующих сил стремится лишь перейти из мест большей силы в места меньшей силы и, будучи неспособными расширяться в аксиальном направлении, обнаруживают это явление только в экваториальном направлении, то в новом приборе была создана возможность для осуществления такого расширения.

2738. У цилиндра из мягкого железа были удалены на токарном станке центральные части, так что он получил форму

песочных часов, т. е. форму, показанную на рис. 191, который дан в масштабе 1 : 3. Предполагалось, что если поместить такой цилиндр между полюсами магнита вместо прежней коробки, то сплошное протяжение массы железа предотвратит всякое сжатие в длину, вызываемое давлением полюсов (2734), и что в тех частях цилиндра, откуда железо удалено, диамагнитные явления будут происходить в большом масштабе. Последнее подтвердилось на деле, ибо пламя, дым, висмут и другие диамагнитные вещества, будучи помещены в указанном месте, очень легко принимали экваториальное направление.

2739. К описанному железному цилиндру была приспособлена медная трубка длиной в 2.5 дюйма, устроенная из металла толщиной в 0.1 дюйма; будучи поставлена на свое место, она должна была занять показанное на рис. 191 положение; с помощью небольшого количества мягкой замазки ее можно было легко сделать совершенно непроницаемой для газов. Указанным путем была создана вокруг железного цилиндра кольцеобразная воздушная камера, которая, как показало измерение, обладала вместимостью несколько больше 2 кубических дюймов и вмещала наиболее интенсивную часть магнитного поля. В этой медной оболочке были устроены три крана; с помощью двух из них газ впускался внутрь камеры и удалялся из нее, а третий, как и раньше, был предназначен для приспособления, измеряющего давление. Для пользования этим прибором его необходимо было закутать, так как иначе температура его постоянно менялась, вследствие чего жидкость в измерительном приборе не оставалась в покое и даже выбрасывалась. Но когда он был обернут тремя слоями фланели, то температура его стала вполне устойчивой; а когда ключи, которые служили для вращения кранов, были сделаны из дерева, то прибор стал безупречным.



Рис. 191.

2740. Прежде чем начать работать с этим прибором при различных газах, и для того, чтобы получить некоторое представление о том, чего можно ожидать при сравнении одного газа с другим, я пронавел следующего рода предварительный опыт, основанный на относительных удельных весах воздуха и водорода. Легко устроить так, чтобы в воздухе, находящемся в бутылке, распространился след аммиака, если всунуть в нее кусочек бумаги, увлажненный крепким аммиачным раствором;<sup>1</sup> точно так же легко струю водорода, содержащую в себе минимальную долю газа соляной кислоты, направить через горизонтальную трубку в воздух, содержащий в себе аммиак. Когда это сделано, то путь легкого водорода в тяжелом воздухе становится весьма отчетливо видимым, и можно наблюдать, как по выходе из горизонтальной трубки водород, вследствие малого по сравнению с воздухом удельного веса, сразу устремляется вверх и быстро поднимается, вытягиваясь в виде нитей.

2741. Два полушаровых железных полюсных наконечника, присоединенных к большому магниту, были затем приведены в соприкосновение друг с другом, так что их можно было окружить воздухом или кислородом,<sup>2</sup> и в центре магнитного поля, в точности под аксиальной линией, была пущена струя водорода, уносящая 6 кубических дюймов в минуту. Когда магнитной силы не было, водород поднимался вертикально вверх, изламываясь у точек, где соприкасались полушаровые полюсы; но когда магнитная сила действовала, струя водорода разделялась на две части, двигавшиеся вправо и влево, и в виде двух струй поднималась вверх на некотором расстоянии от точки соприкосновения. Это разделение струи происходило на некотором расстоянии под аксиальной линией. В этой точке, несмотря на подъемную силу водорода в воздухе или в кислороде, он вынужден был двигаться горизонтально вследствие

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 415.

<sup>2</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 413, 414.

видимой отталкивательной силы магнетизма, и на дальнейшем своем пути он не приближался к аксиальной линии, а описывал концентрическую с ней или почти концентрическую кривую, так что составные струи газа принимали в точности форму камертона.

2742. Когда магнитное поле было заполнено воздухом, то разделение струи водорода происходило на 0.3 или 0.32 дюйма ниже аксиальной линии. Когда полюсы были окружены кислородом, то разделение происходило на 0.55 дюйма ниже аксиальной линии. Таким образом, на вышеуказанных расстояниях сила, стремившаяся заставить водород отклониться от аксиальной линии экваториально в направлении радиуса, была равна разности удельного веса водорода и, соответственно, воздуха или кислорода. На меньших расстояниях эта сила должна быть гораздо больше. И, действительно, когда при каком-нибудь опыте водород выпускался ближе к аксиальной линии, то он с большей силой отбрасывался вниз. Производя подсчет на основании этих данных и исходя из допущения, что диамагнитные газы отходят от аксиальной линии лишь в результате прямого действия магнита, заставляющего их переходить из мест более сильного действия в места более слабого действия, я нашел, как мне казалось, основание полагать, что более диамагнитные газы, заполнявшие пространство внутри медной камеры (2739), могли под влиянием магнитной силы расширяться по меньшей мере на  $1/60\ 000$ -ю часть своего объема. Но измерительные приборы, которыми я пользовался, давали показание, когда жидкость в них перемещалась на  $1/100$  дюйма (2736), а это составит лишь  $1/2\ 500\ 000$ -ю часть емкости камеры; следовательно, расширение, подобное вышеуказанному, должно было бы заставить ее переместиться на 0.4 дюйма, т. е. на величину, более чем достаточную для того, чтобы сделать результат ощутимым, если основное допущение было правильно.

2743. Воздух был первым подвергнут действию силы большого подковообразного магнита, возбуждавшегося два-

дцатью парами пластин Грова, в вышеуказанном приборе (2739). Жидкость сдвинулась очень слабо наружу, как если бы при возникновении магнитной силы произошло небольшое расширение, и затем с прекращением силы вернулась на прежнее место. Позднее было установлено, что этот небольшой эффект был обязан своим происхождением сжатию, которое вызывалось стремлением магнитных полюсов ко взаимному сближению (2734).

2744. К и с л о р о д дал в точности те же явления, что и обыкновенный воздух, и ту же величину, так что в данном случае наблюдавшееся смещение вызывалось отнюдь не магнитным или диамагнитным действием, а только тем сжатием, какое наблюдалось в случае с воздухом (2743).

2745. А з о т дал в точности те же результаты, что и воздух и кислород. Но азот является, вероятно, более диамагнитным, чем водород, и, следовательно, он должен был бы составить поразительный контраст с кислородом, если бы вообще должны были получаться положительные результаты.

2746. У г л е к и с л о т а и з а к и с ь а з о т а дали те же отрицательные результаты, причем, как я полагаю, прибор в это время находился в безукоризненном состоянии.

2747. В Фармацевтическом обществе имеется превосходный электромагнит подковообразной формы, подобный по устройству нашему (2247), но гораздо более сильный, и этот электромагнит при посредстве м-ра Рэдвуда (Redwood) был любезно предоставлен в мое распоряжение для повторения вышеописанных опытов в помещении Общества. Железо, очень мягкое и хорошее по качеству, представляет собою квадратный стержень толщиной в 5 дюймов, а средняя линия имеет длину в 50 дюймов. На нем было навито 1500 футов медной проволоки толщиной в 0.175 дюйма, причем (во время моего пользования стержнем) эта проволока на всем своем протяжении была навита в одном и том же направлении. Подвижные полюсные пакончики массивны в соответствии с магнитом. Для возбуждения этого магнита служило восемьдесят пар пластин

Грова, и так как путем предварительных испытаний было установлено, что они проявляют наибольшую мощность, когда их сочетают в виде четырех групп по двадцать пар, соединенных одинаковыми концами, то они были при работе соединены именно таким образом; они образовали, значит, батарею в двадцать пар пластин, в которых каждая платиновая пластина в погруженной своей части была размером  $4 \times 9$  дюймов и, следовательно, {противоставляла действующему цинку поверхность в 72 квадратных дюйма.

2748. При повторении прежних опытов (2743) снова обнаружилось явление давления, и стало ясно, что самый магнит, хотя и имел толщину в 5 дюймов, немного изгибался благодаря взаимному притяжению своих полюсов. Это действие весьма слабо, так как железный сердечник, проходящий через центр экспериментальной газовой камеры (2738), нигде не прерывался. Измерительным прибором было обнаружено только это явление, причем оно было одинаково при всех газах, и когда я принял его в расчет, то не осталось никаких смещений, которые могли свидетельствовать о каком-либо изменении объема самого газа.

2749. Воздух, кислород, азот, углекислота и закись азота были в различном порядке подвергнуты действию этого весьма мощного магнита, но ни в одном из них не было обнаружено ни малейшего следа изменения объема.

2750. По моему мнению, приведенных опытов во всех отношениях достаточно для того, чтобы прийти к заключению, что эти газы, если их рассматривать как магнитное или диамагнитное тело, или если они включают в себя тела из обоих этих классов (ибо кислород представляет собою поразительный контраст с остальными газами), не испытывают под влиянием магнитной силы изменения своего объема ни в полях равной силы (2737), ни в местах, где сила быстро уменьшается. Я считаю это заключение очень важным для уяснения истинной природы магнитной силы независимо от того существует ли

она в самых частицах тел или только действует на них; и поскольку в магнитном поле эта сила выявляется не в качестве центральной, а в качестве аксиальной силы, постольку является немаловажным и дальнейшее разделение этих явлений на явления, связанные с аксиальным направлением (2733), и явления, связанные с экваториальным направлением или включающие в себя последнее (2737); ибо они показывают, что частицы не стремятся отделиться друг от друга ни параллельно линиям магнитной силы, ни по направлению, перпендикулярному к этим линиям. При отсутствии опытов можно было бы считать весьма возможным, что имеет место один из этих видов расширения, а не другой.

2751. Без сомнения верно, что все же могли бы иметь место изменения в указанных направлениях, если только допустить, что изменение в одном направлении сводится к расширению, а в другом — к сжатию, и что эти два изменения по своей величине одинаковы. Частью в связи именно с возможностью подобных изменений (которые можно рассматривать как молекулярные) были произведены опыты с лучом света (2723, 2729); сверх того в этих опытах, а равно и в других, поставленных для этой цели, луч, служивший для испытаний, был взят поляризованный. Однако, когда опыты были многократно повторены и были приняты все меры предосторожности для исключения источников погрешности, результаты оказались неизменно отрицательными.

2752. Различия в степени диамагнитной восприимчивости и в том состоянии, которыми обладают и которые могут принять газы, изучавшиеся в вышеизложенных опытах, весьма велики, а поэтому склоняют к предположению, что если газы ни в одном случае не проявляют под действием магнита стремления к изменению объема, то и никакой другой газ или пар не проявит этого стремления, и что все вещества, принадлежащие к рассматриваемому обширному классу тел, будут в этом отношении одинаковы. В связи с этим заключением я позволю себе отметить, что как в прежних изысканиях, так

и в более недавних я пытался, пользуясь очень тонкими приборами и сильными электромагнитами, выяснить, не происходит ли какое-нибудь изменение в объеме таких жидкостей, как вода, спирт и раствор сульфата железа, но не мог заметить ни малейшего действия такого рода и не верю в его существование. Еще позднее, в отношении класса твердых тел, я подверг тому же испытанию железо в качестве магнитного металла и висмут в качестве диамагнитного тела. Эти металлы испытывались и в виде массивных цилиндров, и в виде опилок или мелких кусочков. Цилиндры вкладывались в стеклянные трубки, а мелкие частицы — в склянки. К ним прилаживались измерительные приборы вроде тех, какие описаны выше (2732), а та часть сосуда, которая не была занята металлом, была заполнена в одном ряду опытов воздухом, а в другом — спиртом. Однако ни в одном случае нельзя было заметить ни малейшего изменения в объеме железа или висмута, как бы ни была велика магнитная сила, действию которой их подвергали.

2753. Представлялся возможным еще один результат действия отталкивательной силы — даже в тех случаях, когда, согласно вышеизложенному предположению (2751), стремление к расширению в экваториальном направлении могло уравновешиваться одинаковым по величине стремлением к сжатию в аксиальном направлении, а именно, казалось возможным, что возникнут потоки, идущие наружу или в экваториальном направлении, т. е. по линиям, перпендикулярным к магнитной оси, в тех случаях, когда для опыта служили остроконечные полюсы или вышеописанный сердечник в форме песочных часов и другие потоки, движущиеся по направлению к указанной линии вдоль наклонных поверхностей полюсных накопителей; эти токи до известной степени похожи на те сильные потоки, которые легко прослеживаются, когда мы в воздухе наблюдаем пламя или горячий воздух или струю одного газа в другом.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 402, 404, 409.

2754. Однако, когда газ, заполнявший все магнитное поле, был однороден по своей природе и одинаков по температуре, нельзя было заметить ни малейшего следа потоков, подобных вышеупомянутым. Нелёгко придумать безупречное средство для выявления подобных движений; если ввести в подобное магнитное поле для обнаружения в нем движения воздуха видимое тело, которое само по себе диамагнитно и притом образует отдельное небольшое облачко, то последнее движется как целое в сторону от магнита, как должно двигаться диамагнитное тело. А если все поле почти равномерно заполнить очень легкими частицами пыли или ликоподия, то и при сильном действии магнита не было заметно никаких признаков потоков в воздухе. Далее, если струйке рассеянного холодного дыма от искры небольшой свечи<sup>1</sup> дать возможность немного падать или подыматься по одну сторону от аксиальной линии, то она отгопялась наружу в экваториальном направлении. Но хотя она отходила наружу с наибольшей силой, когда находилась на равном расстоянии от обоих полюсов или от соответственных им частей в двойном железном сердечнике (2738), она продолжала отходить наружу и в экваториальном направлении и тогда, когда я пропускал ее поблизости от одной стороны, даже в том случае, когда в силу тесной близости к поверхности железа она сама по себе должна была бы пройти над ней. Это показывает, что дым стремился наружу в *любой части* магнитного поля, заполненного воздухом и газом, и что, таким образом, его движение вызывалось действием на него магнита, как на диамагнитное тело, а не потоками воздуха; если бы последние существовали, они двигались бы в одном месте или направлений внутрь, а в другом наружу.

2755. Когда я, следуя остроумному методу Плюккера, подвергал магнитные или диамагнитные жидкости действию магнитной силы, помещая их на слюдяной пластинке над полюсами, то они быстро принимали различные формы, соответствующ-

---

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 403.

щие их природе, но после этого в них не замечалось никакого дальнейшего движения или потока. Эти случаи без сомнения отличны от тех, когда все магнитное поле заполняется одной и той же средой; но все же и в таком виде они подкрепляют наше заключение, что никаких потоков здесь не возникает. Когда я эти же жидкости помещал между полюсами в стеклянных сосудах, в них нельзя было заметить никаких магнитных потоков, хотя в жидкости вводились тонкие частицы с тем, чтобы сделать видимыми подобного рода перемещения, если они имеют место.

2756. Таким образом, не существует никаких доказательств, ни действием луча света (2727, 2729), ни расширением или сжатием (2750), ни возникновением потоков (2754), в пользу того, чтобы магнит проявлял какую-либо прямую силу притяжения или отталкивания по отношению к частицам различных подвергшихся испытанию газов или чтобы их движения в магнитном поле — в том виде, как они известны — вызывались каким-либо подобным непосредственным притяжением или отталкиванием.

## ГЛАВА II

### *Разностное магнитное действие*

2757. В чем же заключается тогда причина диамагнитного перемещения? Очевидно, это действие является разностным результатом, связанным с *различием* двух количеств или масс вещества, заполняющих магнитное поле, как например, воздух и струи другого газа в нем,<sup>1</sup> или ртуть и трубка с воздухом в ней (2407), или вода и кусок висмута в ней (2301). И хотя оно проявляется лишь как действие масс, последние без сомнения, обязаны своими различиями качествам тех частиц, из которых они состояли. Однако следует отметить, что до сих пор никогда еще не увенчалась успехом ни одна попытка разделить вполне перемешанные частицы весьма отличных друг

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 409.

от друга веществ, хотя они производились с наиболее мощными магнитами. Кислород и азот чрезвычайно сильно отличаются друг от друга, однако и в очень сильных магнитных полях не было обнаружено ни малейшей степени их разделения.<sup>1</sup> При других опытах я налил в трубку жидкий раствор сульфата железа и поставил нижний конец этой трубки между полюсами сильного подковообразного магнита, где он и простоял несколько дней подряд в помещении с совершенно однородной температурой, и однако без малейшего проявления какого-либо ступения раствора в этом конце трубки, что могло бы указать на стремление частиц к разделению.

2758. Диамагнитные явления газов, если их рассматривать как разностный результат действия объемов этих тел, могут быть произведены и исследованы нижеследующим весьма успешным способом, для чего приходится пользоваться мыльными пузырями. К стеклянной трубке были прилажены колпак, кран и животный пузырь, так что через нее можно было пропустить любой по желанию газ, содержащийся в пузыре; сюда же относилась подставка или штатив, так что можно было ставить трубку в любое желательное положение. Конец трубки был отогнут под прямым углом, и край был правильно срезан, так что он имел величину и форму, показанные на рис. 192.

2759. На конце подобной трубки легко выдуть мыльный пузырь любой величины до одного дюйма в диаметре и с помощью крана удерживать его в течение необходимого времени. Мыльную воду должно готовить перед употреблением (и по заранее), для чего развести в небольшом количестве холодной дистиллированной воды одну или две стружки мыла, ибо тогда можно выдувать пузыри самого тонкого и правильного строения; они оказываются в этом случае более подвижными, чем если пользоваться более жирной пеной; при небольшом старении их можно выдуть достаточно устойчивыми, чтобы

<sup>1</sup> Там же, стр. 416.

произвести с ними любой полезный опыт. Конец трубки должен быть совершенно чист и свободен от посторонних веществ (которые зачастую действуют на пузырь разрушительно); его следует смочить снаружи и внутри мыльной водой и *оставить в ней в течение короткого времени перед употреблением.*

2760. Если на конце повернутой вниз трубки выдуть пузырь диаметром в полдюйма, то обычно он будет внизу иметь некоторое количество избыточной воды и будет свисать из тонкого края трубы; поддержка, оказываемая последней, будет столь слаба, что пузырь будет весьма свободно двигаться. Он будет поэтому колебаться туда и назад, как маятник, и в зависимости от того, сколько у него внизу воды — больше или меньше — он будет колебаться более или менее быстро, будет как целое испытывать тяжесть более или менее сильно и, следовательно, будет сохранять свое отвесное положение вниз с большей или меньшей устойчивостью — обстоятельства, которые оказываются весьма полезными, когда пузырем пользуются в качестве магнитного или диамагнитного индикатора.

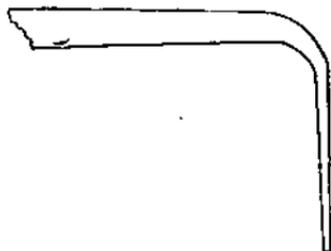


Рис. 192.

2761. Регулирование относительного количества воды, находящейся в пузыре или на последнем, можно в известных пределах легко осуществить. Если после того, как трубку окунули в мыльную воду, прикоснуться к ее концу кусочком дерева или стеклянной палочкой, которые точно также были предварительно опущены в мыльную воду, можно удалить большее или меньшее количество жидкости; а если наблюдать высоту, на которой жидкость устанавливается благодаря капиллярному действию внутри трубки и которая может варьировать между  $\frac{1}{20}$  и  $\frac{1}{2}$  дюйма, то после нескольких экспериментальных проб легко заметить, сколько ее требуется для того, чтобы изготовленный пузырь был нагружен известным количеством

воды, и сколь мало ее требуется для того, чтобы на пузыре совсем не было висящей внизу воды; после этого становится точно так же легко путем предварительного подбора количества воды выдуть пузырек с любыми свойствами по желанию. Даже в том случае, когда внизу пузыря не осталось водной капли, можно еще регулировать толщину стенок самого пузыря.

2762. По мере того как пузыри содержат в себе все меньше и меньше воды, они становятся все более чувствительными по своему действию. Они все медленнее колеблются и все легче приводятся в движение силами, приложенными к ним со стороны. Динамическое действие мыльной воды, из которой они сделаны, становится меньше, и потому динамическое действие содержащегося в них газа относительно возрастает. Когда пузырек очень тонкий, то висящее положение его становится положением неустойчивого равновесия, так как тогда наклоненные трубки или же действие со стороны какой-либо силы, хотя бы незначительной, заставляет пузырек сместиться в сторону, подняться вверх и пристать к стенке трубки, как это показано на рис. 193.

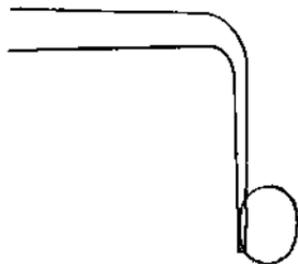


Рис. 193.

Висящее положение пузыря представляет собою в замкнутых объемах или атмосферах чрезвычайно чувствительный индикатор. Даже в том случае, когда пузырек находится сбоку на стенке трубки, он все же представляет собою весьма ценный прибор, так как он свободно движется вокруг трубки, как вокруг оси; а так как он обладает известной степенью устойчивости, то в магнитном поле его можно держать в любом положении, и тогда своим движением по направлению к аксиальной линии или же от нее он очень хорошо показывает магнитные или динамические свойства содержащегося в нем газа по отношению к окружающему воздуху.

2763. Если устье трубки повернуть вверх, то можно получить пузыри тончайшего строения; но в этом случае они неустойчивы по своему положению и смещаются на бок трубки. Ими можно воспользоваться в качестве индикатора, как это было указано выше (2762). Если устье трубки сделать более широким, то пузыри, поскольку они тонки, можно удерживать в стоячем положении над концом трубки; но так как они соприкасаются с трубкой на большом протяжении, то требуется больше силы для их смещения в сторону, и их показания становятся менее чувствительными. Целесообразно при работе с подобными пузырями делать их почти одинаковыми по размеру и толщине для одного и того же ряда сравнительных опытов. Я пользуюсь обычно пузырями с диаметром около поддюйма.

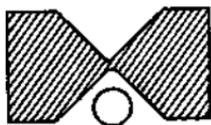


Рис. 194.

2764. Когда такой пузырь выдут с *воздухом* в висячем положении и помещен в углу двойного полюса на уровне аксиальной линии (рис. 194) и если затем возбуждена магнитная сила посредством двадцати пар пластин, то пузырь отклоняется наружу от аксиальной линии (т. е. в экваториальном направлении) с некоторой силой; он возвращается к первоначальному своему положению при прерывании электрического тока. Отклонение это невелико, и так как оно обязано своим происхождением воде пузыря, то оно дает показание о величине этого действия, которым и надлежало пользоваться в качестве поправки при опытах с другими газами.

2765. Азот а в воздухе. В обыкновенном воздухе пузырь с азотом отклонялся наружу, т. е. в экваториальном направлении, с силой, которая намного превосходила стремление наружу пузыря с воздухом (2764). Происходило это весьма поразительным и показательным образом. Зачастую пузырь отгонялся с конца трубки в ее сторону, а когда он находился возле трубки у внутренней ее стороны, то он отгонялся на внешнюю сторону; и если даже вращать трубку, он продол-

жает занимать это положение все время, пока поддерживается магнитная сила. Это явление представляется еще более поразительным, если принять во внимание, что четыре пятых части самого воздуха составляет газообразный азот.

2766. К и с л о р о д в в о з д у х е. Действие оказалось весьма внушительным: пузырь увлекался внутрь, т. е. по направлению к аксиальной линии, резко и внезапно, совсем так, как если бы кислород был в высокой степени магнитным. Этого результата следовало ожидать, так как он находился в согласии с явлениями, которые кислород и азот производили при прежнем исследовании диамагнитных явлений газов.<sup>1</sup>

2767. З а к и с ь а з о т а и м а с л о р о д н ы й г а з в в о з д у х е. Пузыри отходили наружу, т. е. диамагнитно, с силой, которая была гораздо больше той, которая вызывалась действием воды пузыря; этим указывалось отношение рассматриваемых газов к воздуху; наблюдения находились в согласии с теми результатами, которые были получены раньше со струями этих веществ.<sup>2</sup>

2768. Не имеется никаких затруднений для того, чтобы данным методом наблюдений воспользоваться при опытах с газами, когда они находятся в атмосфере не воздуха, а других газов; последние не должны только разрушать пузырь. Но я не буду тратить времени на подробное изложение результатов таких опытов, которые оказались в совершенном согласии с полученными ранее результатами.<sup>3</sup> Приведенного выше описания вполне достаточно для пояснения указанного выше положения, а именно, что движение газов в магнитном поле, когда один газ находится в другом, представляет собою разностный результат; отсюда можно почерпнуть достаточное количество примеров для последующих ссылок.

2769. Тот же вывод, что рассматриваемое действие является разностным результатом масс вещества, находящихся в маг-

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 410, 415.

<sup>2</sup> Там же, стр. 411.

<sup>3</sup> Там же, стр. 414, 415.

нитном поле, явствует и из рассмотрения случаев газообразных, жидких и твердых тел, приведенного в более ранней части настоящих Исследований (2405—2414), и такого же рода вывод по отношению к магнитным телам можно сделать на основании тех опытов, которые были тогда описаны (2361—2368).

### ГЛАВА III

#### *Магнитные свойства кислорода, азота и пустоты*

2770. Если разработать метод более тщательно, изучение разностного действия двух порций газов или вообще любых двух тел может дать гораздо более интересные и важные результаты, чем это было только что описано. Этого рода действия можно даже положить в основу устройства приборов, с помощью которых можно, вероятно, получить в высшей степени важные показания и измерения как магнитных, так и диамагнитных действий, а это приведет нас к таким результатам, которые мы до сих пор себе даже не представляли.

2771. Если две массы вещества, газообразного или жидкого, скрепить друг с другом и поместить в симметричном магнитном поле по обе стороны от магнитной оси, то они испытывают действие одновременно. Если оба эти тела будут диамагнитными или же менее магнитными, чем среда, заполняющая магнитное поле, то они будут оба стремиться уйти наружу, т. е. в экваториальном направлении, в одинаковой мере, если они одинаковы, но в неодинаковой, если они различны. В результате этого получится, что если их поместить, прежде всего, на равном расстоянии от магнитной оси, то возникновение магнитной силы не изменит их положения, если только они одинаковы. Если же они отличны друг от друга, то их положение изменится, ибо более диамагнитное вещество будет двигаться наружу в экваториальном направлении, увлекая менее диамагнитное тело внутрь, до тех пор пока оба они окажутся в таком положении, что действующие на них силы друг друга уравновесят, и тела займут положение устойчивого равновесия. Но расстоя-

ние, на которое тела переместятся, может быть использовано косвенно, или, еще лучше, сила, которая потребуется для возвращения их в прежнее положение равного расстояния, может быть использована непосредственно для того, чтобы определить величину присущего каждому из этих тел стремления отойти от магнитной оси, т. е. чтобы дать их относительные диамагнитные интенсивности.

2772. Для того чтобы получить возможность исследовать газы подобным методом, я выбрал кусок очень тонкой и правильной трубки из флинтгласа с внешним диаметром около  $\frac{3}{16}$  дюйма и не более чем  $\frac{1}{80}$  дюйма толщиной; затем я рас-

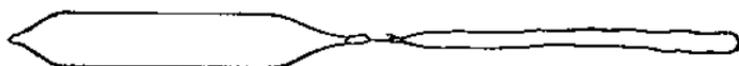


Рис. 195.

тянул с помощью паяльной лампы две равные доли этой трубки, так что они получили форму, показанную на рис. 195, где цилиндрическая часть имеет длину в  $1\frac{1}{2}$  дюйма, наполнил одну из этих частей кислородным газом, а другую азотным газом, а затем герметически их замазал. Концом удлиненной части каждой из них, пока он был еще теплым, я дотронулся до сургуча и посредством последнего прикрепил к нему нить, которая была завязана петлей, как это показано в  $\frac{4}{5}$  натуральной величины. С помощью этой нити трубки предполагалось подвешивать вертикально на крутильных весах, так что середина каждой из этих трубок, когда последние висели на своих местах, должна была находиться на одном уровне с магнитной осью.

2773. Крутильные веса состояли из связки в шестьдесят ровно натянутых коконовых шелковых нитей; наверху она была прикреплена к вертикальной оси, на которой имелись горизонтальный указатель и разделенная на градусы пластинка, а внизу — к горизонтальному коромыслу. К одному концу

этого коромысла был прикреплен поперечный стержень длиною около  $1\frac{1}{2}$  дюйма, точно также расположенный горизонтально, а на концах этого стержня и на расстоянии  $8\frac{1}{2}$  дюймов от центра движения были подвешены две трубки с кислородом и азотом (2772); они уравнивались грузом, помещенным на другом плече горизонтального коромысла. Все это было установлено и приложено к электромагниту, снабженному на это время двойным конусообразным сердечником или якорем (2764), таким образом, что средняя часть обеих трубок находилась на одном уровне с серединой якоря, на равном расстоянии по две стороны от него. Когда при таком расположении весам сообщалось какое-нибудь движение, так что их коромысло колебалось, то колебания совершались весьма медленно благодаря весу асей движущейся установки и благодаря незначительной величине силы кручения коконовых шелковинок.

2774. В тот момент, когда вводилась в действие магнитная сила, все резко изменялось. Трубка с кислородом тотчас же увлекалась внутрь по направлению к оси, а трубка с азотом на другой стороне отгонялась наружу. Весы переходили за свое новое положение покоя и затем возвращались обратно со значительной силой, совершая несколько колебаний за тот промежуток времени, в течение которого они раньше выполняли лишь одно колебание; а когда они приходили в свое место покоя или устойчивого равновесия, то трубка с кислородом оказалась на расстоянии около одной восьмой части дюйма от железа сердечника, а трубка с азотом — на расстоянии четырех восьмых от него. Десять оборотов оси кручения лишь в незначительной степени изменили эти относительные расстояния.

2775. Действия, определяющие относительное расположение кислорода и азота, поскольку речь идет об их месте по отношению к магнитной оси, весьма просты и очевидны. Прежде всего, *стекло* трубок является более диамагнитным, чем окружающая воздушная среда (2424), и потому каждая из трубок стремится двигаться наружу; но так как они одина-

ковы по своей природе и устройству, то, находясь на одинаковых расстояниях, они стремятся двигаться с одинаковой силой и на этих расстояниях друг друга уравнивают. Когда одна из них увлекается внутрь, то она подвергается большему действию силы, так как вступает в более интенсивную часть магнитного поля; другая трубка, которая в то же время выводится наружу, оказывается по соответственным причинам в таком месте, где интенсивность действия меньше. Поэтому, как только принуждение устраняется, система возвращается в свое положение устойчивого равновесия, при котором оба эти тела оказываются на равном расстоянии от магнитной оси.

2776. *Содержимое* трубок точно также подвергается действию магнитных сил и, как это показывает результат (2774), в весьма различной степени. Либо кислород стремится внутрь гораздо сильнее, чем азот, либо азот стремится наружу с большей силой, чем кислород. Различие это должно быть весьма значительным; ибо оно таково, что уносит стекло трубки с кислородом в положение, весьма близкое к оси, в котором оно само, или если бы оно содержало только воздух, не могло бы остановиться и на мгновение без содействия значительного принуждения. Если учесть силу, с какой сами трубки стремятся сохранить свое равноотстоящее положение, и расстояние, на которое они смещаются из этого положения, то они укажут нам, как велика та сила, которую это совместное действие кислорода и азота развивает в одном и том же направлении, а именно от кислорода внутрь, т. е. в направлении к оси; хотя действие является сложным, его результат оказывается простым. Благодаря прежним опытам известно, что в воздухе азот стремится стать в экваториальном направлении, а кислород — в аксиальном,<sup>1</sup> и, значит, трубка с азотом движется в экваториальном направлении под действием некоторой разностной силы, зависящей от флинтгласа и азота, с одной стороны, и от

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 409.

объема вытесняемого ими воздуха, с другой стороны. Подобным же образом трубка с кислородом стремится переместиться аксиально благодаря разностной силе, величина которой зависит от стремления кислорода двигаться в аксиальном направлении, от стремления его трубки двигаться в экваториальном направлении и от совместного их отношения к воздуху, который они вытесняют. Но трубки и их содержимое одинаково связаны с воздухом и механически связаны друг с другом; вследствие этого, если посредством какой-нибудь силы (например, кручения) возвращать их к их равноотстоящему положению по отношению к магнитной оси, то можно совершенно оставить без рассмотрения вещества трубок и воздуха, как окружающей среды. Содержащиеся в трубках газы можно рассматривать как находящиеся в непосредственной взаимной связи и в связи с магнитной осью и как свободные от всех прочих влияний, и сила, которая окажется необходимой, чтобы установить их *на равном расстоянии от магнитной оси*, является мерой их магнитных или диамагнитных различий.

2777. Я изложил, таким образом, общие принципы действия; в рассмотрение их применения для устройства измерительного прибора или полученных с его помощью результатов я буду здесь входить только в той мере, как это необходимо для общего понимания магнитных и диамагнитных тел и для определения истинной нулевой точки (2721, 2722).

2778. Описанные только что принципы дали мне возможность вернуться к одному методу исследования, который раньше возбуждал у меня большие надежды (2433), но затем сразу показался отпавшим вследствие малой чувствительности. Различные тела, если рассматривать их как магнитные или диамагнитные вещества, допускают два вида трактовки, которые обещают быть чрезвычайно поучительными с точки зрения свойств этих тел и предопределенных им целей в явлениях природы. Газ можно *нагреть* или *охладить* и можно выявить действие температуры, которая, как известно, оказывает в данном случае очень большое влияние, без какого-либо изменения

объема газа; или же газ можно *разредить* или *сгустить* в очень широких пределах и выявить действие подобного рода изменения, независимо от температуры или от присутствия какого-либо другого вещества. Твердые и жидкие тела не допускают этих методов исследования, вследствие чего они непригодны для определения нулевой точки и правильного различения магнитных и диамагнитных тел тем путем, какой допускают газы.

2779. Мне представлялось, что если газообразное тело является магнитным, то его магнитные свойства должны ослабляться в соответствии с тем, насколько оно разрежено, т. е. равные объемы такого газа при различных давлениях должны быть тем более магнитными, чем более они сгущены. С другой стороны, если какой-нибудь газ оказывается диамагнитным, то разрежение должно ослаблять его диамагнитные свойства, пока при достижении вакуума последние не исчезнут. Другими словами, если две противопоставляемые друг другу порции одного и того же магнитного газа, из которых одна является более сгущенной, чем другая, одновременно подвергнуть действию магнитной силы, то *более сгущенная* должна приближаться к аксиальной линии, т. е. она должна стремиться в место более интенсивного действия; если, наоборот, магнитному действию подвергнуть две таким же образом противопоставленные друг другу порции диамагнитного газа, то в место более сильного действия должен был бы устремиться более расширенный или более *разреженный* газ.

2780. Было изготовлено несколько ампул с кислородом (рис. 196), схожих по форме с теми, которые были описаны выше (2772), и почти одинаковых по объему; они были герметически закупорены после того, как количество содержащегося в них газа было доведено с помощью насоса до определенной степени разрежения. Первая содержала в себе газ под давлением одной атмосферы. Во второй газ находился под давлением полуатмосферы, т. е. 15 дюймов ртути. Третья содержала в себе газ под давлением в 10 дюймов ртути. Четвертая же после заполнения ее кислородом была доведена

до столь хорошего вакуума, какого только можно было добиться с помощью превосходного воздушного насоса. Когда первая из этих ампул была подвергнута сравнению с остальными тремя, то результат оказался совершенно поразительным. При сравнении ее с половиной атмосферы, она двинулась по направлению к оси, выталкивая оттуда разреженную порцию газа. Когда ее сравнивали с одной третью атмосферы, то она с еще большей силой двинулась по направлению внутрь, т. е. в аксиальном направлении. А когда ее противопоставили кислородному вакууму, то она заняла свое место настолько же близко к железному сердечнику, как и в прежнем случае, когда ее противопоставляли азоту (2774); таким образом стало очевидно, что диамагнитная сила стеклянной трубки, в которой был заключен кислород (2775), оказалась единственным предметом, который помешал ей быть прижатой к железному сердечнику, занимавшему центр магнитного поля.



Рис. 196.

2781. При опытах с другими трубками был получен совершенно тот же результат. Так, трубка с одной третью атмосферы в соединении с вакуумной трубкой двигалась внутрь, отгоняя другую трубку наружу, т. е. она оказалась более магнитной, чем вакуум. Но в соединении с полуатмосферной трубкой она двигалась наружу, а более сгущенный газ двигался внутрь. Любая из трубок, будучи соединена с другой трубкой, имеющей более разреженную атмосферу, двигалась внутрь, т. е. как магнитное вещество; если же она была соединена с другими трубками, имеющими более сгущенную атмосферу, она двигалась наружу, отгоняемая превосходящей магнитной силой более сгущенного газа. Поскольку я мог установить при этих опытах предварительного характера, стремление внутрь, т. е. в магнитном смысле, оказалось, по-видимому, пропорциональным плотности газа; однако точное намерение этих сил будет дано далее.

2782. Таким образом, кислород является, по-видимому, весьма магнитным веществом, так как он со значительной силой движется аксиально, т. е. из более слабых мест магнитной силы в более сильные, вывод, который находится в согласии с результатами прежних наблюдений.<sup>1</sup> Сверх того, он движется с большей силой, когда находится в сгущенном состоянии, чем когда в разреженном, причем его стремление внутрь, по-видимому, пропорционально его плотности. Вследствие этого по мере удаления кислорода магнитная сила уходит вместе с ним — до тех пор, пока, с достижением вакуума, остается лишь немного или же совершенно не остается следов притяжения, или силы, направляющей внутрь. Без сомнения, можно было бы утверждать, что сгущенный кислород является менее диамагнитным, чем разреженный кислород или чем вакуум. Но это означало бы, что действующая сила какого-нибудь вещества, как кислород, может увеличиваться по мере уменьшения количества этого вещества, что, как я думаю, вряд ли является научным допущением. Сверх того, скоро у нас появятся другие соображения в пользу того, что магнитное состояние, прекращающееся после удаления кислорода, принадлежит веществу и связано с последним и что таким образом кислород является подлинно магнитным телом.

2783. Затем был подвергнут испытанию а в о т, представляющий собою вторую и большую составную часть атмосферы. Были изготовлены три трубки (2780), из которых одна содержала в себе газ под давлением 30 дюймов ртутного столба, вторая — под давлением 15 дюймов и третья, которая была доподена, насколько это оказалось возможным, до вакуума. Когда эти трубки сравнивались друг с другом в магнитном поле, то оказалось, что они были настолько схожи друг с другом, что их нельзя было отличить друг от друга, т. е. они оставались на одинаковом расстоянии от магнитной оси. Я не хочу этим сказать, что при указанных выше различных давлениях

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 410, 415.

азот ведет себя совершенно одинаково при одном и том же объеме (изготавливаемый ныне прибор даст мне в дальнейшем возможность произвести сравнение и измерение с бесконечно большей точностью и выяснить эти моменты); но при сравнении с кислородом тем большим и необычайным различиям, которые вызываются разрежением в кислороде, различия в азоте далеко не соответствуют. А если какие-либо различия и имеются, то в настоящее время они неощутимы, и для главной цели настоящего доклада и для определения нулевой точки между магнитными и диамагнитными телами их можно считать несуществующими.

2784. Таким образом азот оказывается как будто не магнитным и не диамагнитным. Если бы он был магнитным или диамагнитным, то по мере разрежения он должен был бы постепенно терять свои специфические свойства; в своем собственном виде он эквивалентен вакууму. Если некоторый данный объем рассматривать как вакуум, в который постепенно нужно ввести кислород или азот, то по мере введения в него кислорода этот объем становится все более и более магнитным, т. е. все более способным воспринять тот род действия, который выражается этим словом; но соответственное постепенное введение в пустое пространство азота не вызывает никакого подобного или же противоположного ему действия, и, значит, азот не является ни магнитным, ни диамагнитным, но подобен (пустому) пространству.

2785. До сих пор я не нашел ни одного газа, который, находясь на диамагнитной стороне от нуля, мог бы вполне сравниться с кислородом по величине действия, вызываемого разрежением. В настоящий момент я могу указать только на масляродный газ и на циан, как на вещества, которые, по-видимому, движутся внутрь, т. е. по направлению к аксиальной линии, по мере того, как их все больше разрежают. Следовательно, они находятся не просто на нуле, а стоят на стороне, противоположной кислороду, и являются диамагнитными телами. Но когда мы ищем такое тело, которое

является строго и бесспорно диамагнитным и которое, будучи прибавлено к (пустому) пространству или введено в последнее, делает его диамагнитным подобно тому, как кислород делает его магнитным, то такое вещество мы имеем в виде флинтгласа или фосфора. Если этим телам придать такую форму, что по своему размеру и виду они становятся подобными объемам азота или вакуума, и сравнить их с последними на крутильных весах, то они уходят наружу с большой силой; возможно, что значительная диамагнитная сила стекла трубок не позволяет действию разрежения стать более заметным в маслородном газе и в других газах.

2786. Когда трубку заполняют определенным газом, затем, насколько это возможно, откачивают и герметически закупоривают, то можно считать, что она содержит в себе то, что обычно называют вакуумом. Я изготовил много подобных вакуумов и позволю себе различать их по названию тех газов, следы которых в них еще остаются. Когда эти вакуумы подверглись сравнению в магнитном поле (2773), то они показались мне во всех отношениях тождественными: кислородный вакуум оказался не более магнитным, чем водородный, азотный или маслородный вакуум. Различия между ними, если вообще они существуют, оказались гораздо меньше тех, какие могли бы вызываться изменениями размера и другими особенностями стеклянных ампул, и их можно выявить лишь с помощью тех средств, которые будут применены в дальнейшем (2783). Я вполне убежден в том, что в конце концов они окажутся почти тождественными, приближаясь вплотную с той или другой стороны к *совершенному* вакууму.

2787. Раньше, чем определить местонахождение нуля между магнитными и диамагнитными телами, нам следует рассмотреть истинный характер и значение *пространства*, свободного от какой бы то ни было материальной субстанции. Хотя нет возможности создать пространство, совершенно свободное от материи, к нему можно сильно приблизиться в тщательно подготовленном Торричелиевом вакууме. Быть может, нет

необходимости отмечать, что, согласно моим наблюдениям, как железо, так и висмут в подобном вакууме превосходно подчиняются магниту. Из таких опытов, а также из общих наблюдений и теоретических соображений, по-видимому, явствует, что линии магнитной силы (2149) могут проходить через пустое пространство совершенно так же, как через него проходит сила тяготения и как проходят статические электрические силы (1616); таким образом (пустое) пространство обладает своим особым отношением к магнетизму, и притом таким, что в дальнейшем мы признаем его имеющим чрезвычайно важное значение в явлениях природы. Но это свойство (пустого) пространства не тождественно по своему роду с тем свойством, которое по отношению к веществу мы стараемся выразить с помощью терминов магнитный и диамагнитный. Смешать эти свойства значило бы смешать (пустое) пространство с материей и затемнить все те представления, с помощью которых мы стремимся уразуметь характер действия и выработать более ясное воззрение на законы сил природы. Это было бы похоже на то, как если бы в тяготении или в электрических силах (1613) мы смешали частицы, действующие взаимно друг на друга, с пространством, через которое они действуют, и таким образом, полагая, закрыли бы дверь для дальнейших успехов. Чистое пространство не может действовать так, как действует вещество, если даже предоставить широчайший простор гипотезе об эфире; а если принять эту гипотезу, было бы большим дополнительным допущением предположить, что магнитные силовые линии представляют собою колебания, передаваемые эфиром (2591), между тем как до сих пор мы не имеем еще доказательств или указаний на то, что для их распространения требуется время, или в каком отношении они по общим своим свойствам могут быть подобны соответствующим линиям сил тяготения, передачи света и электричества или же отличаться от последних.

2788. Нользя также предположить, чтобы в пустом пространстве существовали круговые токи около рассеянных

в нем точек, аналогичные тем токам, которые, согласно теории Ампера, обтекают частицы обычного магнитного вещества, и которые, как я когда-то предположил, могут существовать, но с противоположным направлением, около частиц диамагнитного вещества (2429, 2640 и т. д.). Воображение, сдерживаемое научными соображениями, отказывается найти в пустом пространстве что-либо такое, около чего могли бы циркулировать эти токи или около чего они удерживались бы какой-либо связью. Еще большая трудность, — быть может, превосходящая даже всякую меру, — создалась бы для тех, если бы также оказались, кто принял бы, что магнитные и диамагнитные тела тождественны по своей природе; они вынуждены были бы допустить также, что в тех и других телах имеются одинаковые токи; но ведь представляется невозможным, чтобы прибавление (например) фосфора, имеющего подобное магнитное строение, к (пустому) пространству, которое, согласно допущению, имеет такое же строение, дало в результате не-таки уменьшение магнитных сил заполненного указанным образом пространства.

2789. Так как, стало быть, пустое пространство имеет свойства, независимые от вещества, и притом иные, чем последнее, то вещества различных видов, в отношении соответствующих им качеств, следует сравнивать друг с другом. Те вещества, которые, будучи прибавлены к (пустому) пространству, не вызывают никакого действия, являются, по моему мнению, нейтральными, или стоят на нуле. Те вещества, которые приносят с собой действие одного рода, находятся на одной стороне от нуля, а те вещества, которые вызывают действие противоположного рода, находятся на другой стороне от нуля. При этом делении они образуют два подразделения магнитных и диамагнитных тел. Тот закон, который я позволил себе дать раньше (2267, 2418), все же точно выражает их отношения, ибо в абсолютном вакууме, или в пустом пространстве магнитное тело стремится перейти из более слабых мест магнитного действия в более сильные, а диамагнитное тело при

подобных же условиях стремится перейти из более сильных мест действия в более слабые.

2790. Теперь, когда мы получили *истинный муть* и когда великое многообразие материальных субстанций удовлетворительно разделено на два основных класса, мне представляется, что у нас возникает потребность в другом названии для магнитного класса веществ, дабы избежать путаницы. Слово *магнитное* должно быть общим и должно охватывать *все* явления и действия, вызываемые этой силой. Но в таком случае необходимо слово для наименования подразделения тел, противоположного диамагнитному классу. Так как язык интересующей нас сейчас отрасли знания может в скором времени потребовать общих и тщательных изменений, то я, пользуясь любезной помощью одного друга, пришел к мысли, что временно было бы полезно и слово, выбранное без особой тщательности; и так как магнетизм железа, никеля и кобальта, когда они находятся в магнитном поле, подобен магнетизму Земли как целого, и, став активными, они располагаются параллельно ее оси, или магнитным силовым линиям, то я полагаю, что указанные тела, а также им подобные (включая теперь и кислород) можно назвать парамагнитными телами и таким образом дать следующее деление:

Магнитные { Парамагнитные.  
                  { Диамагнитные.

Если эта попытка облегчить способ выражения не будет принята, то, надеюсь, ее все же мне извинят.

2791. Благодаря присутствию кислорода в воздухе последний в целом является магнитной средой немалой силы. Ввиду этого все сравнительные опыты над диамагнетизмом других газов, выполненные путем пропускания струй этих газов через воздух и друг через друга,<sup>1</sup> требуют поправки, которая, быть

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 407, 420 и след.

может, приведет некоторые из этих тел на парамагнитную сторону от нуля. Это может повлиять также на твердые и жидкие вещества, и с этой точки зрения потребуются изменить и тот предварительный перечень, который я дал раньше (2424). Но я надеюсь, что в скором времени буду располагать средствами определения не только места тел, но и относительных степеней их силы, при одной и той же температуре и при различных температурах, с такой степенью точности, что она со-служит большую службу в дальнейшем развитии этой отрасли знания.

2792. Среди исследованных до сих пор газов нет ни одного, который сравнился бы с кислородом. Нижеследующие газы являются по сравнению с ним относительно безразличными: пары хлора и брома, циан, азот, водород, углекислота, окись углерода, маслородный газ, закись азота, окись азота, пары азотной кислоты, соляная кислота, серная кислота, иодисто-водородная кислота, аммиак, сороводород, светильный газ, пары эфира и сероуглерода; ибо хотя некоторые из них, как маслородный газ и циан, кажутся несколько диамагнитными, а другие, как закись азота и окись азота, являются магнитными, однако их действия исчезают по сравнению с теми результатами, которые дает кислород.

2793. Я надеюсь, что в дальнейшем дам точное выражение парамагнитной силы кислорода (2783); тем временем у меня возникает соблазн дать здесь одну-две грубые иллюстрации степени этой силы в дополнение к той, которую я привел раньше (2774). Емкость ампулы с кислородом, находящимся под давлением одной атмосферы, составляет без малого 0.34 кубического дюйма и, стало быть, вес кислорода в ампуле равен 0.117 грана. Я попытался сравнить это количество прежде всего с мягким железом. Для этой цели кусочек названного металла, имевший вес в одну десятую часть приведенного выше веса, т. е. 0.012 грана, я подвесил на тонкой платиновой проволочке, которая была закреплена в одном конце сосуда, соответствующего по своему размеру сосуду, содержавшему в себе кислород,

таким образом, что железо оказалось посередине этого сосуда, затем ампула была выкачана и герметически закрыта. Когда я затем противопоставил ее в магнитном поле кислородной трубке, то оказалось, как я этого и ожидал, что по магнитной силе железо далеко превосходит кислород. Так как было неудобно дальше уменьшить вес железа или же увеличить вес кислорода, то для сравнения я выбрал другое магнитное вещество.

2794. Сто гранов чистого, хорошего, кристаллического протосульфата железа было растворено в дистиллированной воде и затем разведено настолько, что склянка, примерно такого же размера как склянка с кислородом, будучи заполнена этим раствором, оказалась равной по своей силе ампуле с кислородом и установилась на одинаковом с ним расстоянии от аксиальной линии, поскольку я мог об этом судить с помощью моих нынешних средств наблюдения. Когда раствор обладал указанной выше концентрацией, он занимал объем в  $17 \frac{1}{2}$  куб. дюйма. Так как объем кислорода составлял лишь 0,34 кубического дюйма (2793), то такой же объем раствора содержал бы в себе примерно 2 грана кристаллического сульфата железа, что соответствует 0,4 грана металлического железа. Таким образом, при равном объеме кислород магнитен в такой мере, как водный раствор сульфата железа, содержащий в себе семнадцатикратный вес кислорода в кристаллическом протосульфате железа или взятый 3,4 раза вес металлического железа в этом состоянии соединения.

2795. Далее две кислородные трубки, содержавшие в себе соответственно одну атмосферу и вакуум (2780), были установлены на расстоянии около дюйма друг от друга и помещены по обе стороны от магнитной оси; затем была возбуждена сила магнита. Кислород, конечно, приблизился к магнитной оси, а вакуум отошел в экваториальном направлении. На паяльной лампе была вытянута тонкая стеклянная нить длиной около 6 дюймов и укреплена на ножке; концом этой нити я воспользовался для того, чтобы заставить трубку с кислородом отойти в первоначальное ее положение и установить

на одинаковом с вакуумной трубкой расстоянии от магнитной оси. В этом положении трубки в отношении стекла должны друг друга нейтрализовать (2775); если считать вакуум за нуль, то можно считать активным только кислород, и силу, необходимую для того, чтобы удержать его на месте, можно рассматривать как силу, с какой кислород на расстоянии половины дюйма стремится идти по направлению к магнитной оси. Отклонение стеклянной нити или пружинки на том месте, где она удерживала трубку с кислородом, было немного более дюйма от того положения, которое она заняла, когда я освободил ее от давления трубки. Вынув эту нить, я расположил ее в горизонтальном положении (повернув ее предварительно на  $90^\circ$  около оси с тем, чтобы изгибание происходило по отношению к нити в том же направлении, что и раньше). Отметим положение ее конца, я накладывал в месте прежнего соприкосновения нити с кислородной трубкой грузы до тех пор, пока они по произволу такое же по величине отклонение, как раньше. Для того чтобы получить указанный результат, потребовалось несколько более одной десятой части грана; если принять во внимание, что весь кислород весил лишь 0.117 грана, что ни одна часть его не находилась ближе к магнитной оси, чем на полдюйма, и что среднее расстояние его массы от магнитной оси составляло более дюйма, то все это дает высокую величину для магнитной силы кислорода.

2796. Едва ли мне нужно говорить здесь о том, что этот кислород, проявляющий столь замечательную и высокую степень магнитной силы, не может существовать в атмосфере без того, чтобы оказывать чрезвычайно важное влияние на распределение магнетизма Земли как планеты, и особенности, если принять во внимание, что магнитные свойства его очень сильно изменятся с изменением его плотности (2781) и температуры.<sup>1</sup> Я склонен в этом усмотреть действительную причину многих изменений этой силы, которые тщательно наблю-

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 417.

дали — и теперь продолжают наблюдать — в различных местах поверхности земного шара. Это относится как к суточным, так и к годовым изменениям, а также ко многим нерегулярным беспрерывным изменениям, которые так прекрасно выявляются с помощью фотографического метода регистрации. Если эти ожидания оправдаются и окажется, что влияние атмосферы способно вызывать результаты, подобные вышеуказанным, тогда мы, вероятно, найдем новую зависимость между северным сиянием и магнетизмом Земли — зависимость, устанавливаемую в большей или меньшей мере самим воздухом в соединении с расположенным над ним (пустым) пространством. При дальнейшем развитии того, что я позволю себе назвать *атмосферным магнетизмом* (2847 и т. д.), можно будет предугадать, выявить и подчинить измерению и такие магнитные зависимости и изменения, которых до сих пор мы и не подозревали. Возможно, что я слишком оптимистичен в этих ожиданиях, но до сих пор меня поддерживали и них очевидная реальность, простота и достаточность предполагаемой причины — в том виде, как она представляется мне в настоящее время. Как только я в достаточной мере подвергну эти мысли ближайшему рассмотрению и проверю их соответствие с наблюдением, а где окажется возможным — и с опытами, я буду иметь честь представить их Королевскому обществу.

*Королевский институт.*

*2 августа 1850 г.*

---

---

# ДВАДЦАТЬ ШЕСТАЯ СЕРИЯ<sup>1</sup>

---

---

*Раздел 32. Способность проводить магнетизм.* Глава I. Магнитная проводимость. Глава II. Полярность проводимости. Глава III. Магнетокристаллическая проводимость.

*Раздел 33. Атмосферный магнетизм.* Глава I. Общие принципы.

Поступило 9 октября.<sup>2</sup> Доложено 28 ноября 1850 г.

## РАЗДЕЛ 32

### Способность проводить магнетизм

#### ГЛАВА I

##### *Магнитная проводимость*

2797. В предыдущих сериях настоящих исследований (2757 и след.) были изложены достопримечательные результаты, касающиеся сильного стремления некоторых газообразных веществ двигаться по направлению к центральной линии магнитной силы или же отходить от нее в соответствии с их отношением к другим одновременно присутствующим веществам; при этом, однако, не наблюдалось никакого сгущения или расширения этих тел (2756), чего можно было бы ожидать в результате действия столь большой силы притяжения или отталкивания, каковая, казалось бы, необходима для того, чтобы породить указанную склонность и стремление занимать определенное место. Все это привело меня после известного

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1851, стр. 29.

<sup>2</sup> Запово просмотрено автором и возвращено им 12 ноября 1850 г.

размышления к мысли, что если тела обладают в различной степени *способностью проводить* магнетизм, то этим различием и можно объяснить все упомянутые выше явления; и далее, что если как следует рассмотреть эту мысль, она может содействовать выяснению природы магнитной силы. Я позволю себе поэтому пока смело думать и говорить на эту тему, имея намерение и других вовлечь в обсуждение этого вопроса, хотя, поступая так, я рискую впасть в ошибку из-за несовершенства опытов и заключений. Но я выдвигаю это положение пока еще только как гипотезу и пользуюсь термином *способность проводить*, чтобы как-нибудь назвать присущую, быть может, телам способность осуществлять передачу магнитной силы; при этом я не строю никаких предположений о том, каким именно образом осуществляется процесс передачи. В таком ограниченном смысле упомянутый термин может оказаться весьма полезным, так как он позволит нам на некоторое время охватить с некоторой связью, лишенной противоречий и общей точки зрения большой класс явлений. Он может служить для наших представлений некоторой вехой, не вовлекая нас непременно в какую-либо ошибку, ибо, каковы бы ни были основания и условие проводимости, связанные с нею явления должны находиться в полном взаимном согласии.

2798. Когда магнитное поле занято средой, обладающей известной способностью проводить, и затем в этом поле помещено некоторое количество другой среды или вещества, обладающего этой способностью в большей мере, то последнее устремляется к месту наибольшей силы, вытесняя первую. Так во всяком случае обстоит дело с теми телами, которые являются определенно магнитными, как железо, никель, кобальт и их соединения (2357, 2363, 2367 и т. д.), и этот результат аналогичен явлениям, вызываемым электрической индукцией. Если в поле внести некоторое количество вещества с еще большей проводящей способностью, то оно приблизится к аксиальной линии и вытеснит тело, которое перед этим туда пришло. Таким образом будет казаться, что благодаря рав-

ностному действию такого вида (2367, 2414) тело, обладающее известной степенью проводящей способности, в среде с меньшей способностью кажется нам притягивающимся, а в среде с большей способностью — отталкивающимся.

2799. Определяя таким образом место, какое займет данное вещество, указывая, например, что кислород расположится на аксиальной линии, находясь в азоте, или что азот расположится на некотором расстоянии от этой линии, находясь в кислороде, я согласовываю представление о проводимости и с тем фактом, что когда магнитное поле бывает занято единым газом, то в нем не возникает никаких потоков (2754), так как в этом случае каждая частица может проводить столь же хорошо, как и любая другая, и потому сохраняет свое место; полагаю также, что она согласуется и с неизменяемостью объема (2750).

2800. Что касается последнего вопроса, то нам следует принять в соображение, что сила, побуждающая такое тело, как кислород, двигаться по направлению к середине поля, не является центральной силой, подобной тяготению или взаимному притяжению ряда частиц; это — аксиальная сила, которая, будучи весьма неодинаковой по своему характеру, по направлению оси и по направлению радиусов, может и должна проявлять свое действие совершенно иначе, чем чисто центральная сила. Что подобные различия существуют, это явствует из действия прозрачных тел на луч света, когда эти тела находятся в магнитном поле, а также из обычного действия магнитных тел. Этим, вероятно, объясняется то обстоятельство, что когда кислород увлекается в середину поля в результате своей проводящей способности, то его частицы все же не прижимаются друг к другу (2721), если бы даже сила при других обстоятельствах была способна вызвать это действие (2766).

2801. Таким образом, когда две отдельные массы кислорода или азота находятся в магнитном поле, то одна из них перемещается внутрь, а другая наружу без какого-либо сжатия

или расширения их относительно объемов, и результат является разностным, ибо эти два тела находятся в известном отношении друг к другу и в известной зависимости друг от друга в результате того, что они одновременно связаны с линиями магнитной силы, которые проходят через оба эти тела или же через эти тела и через среду, в которую они вместе погружены.

2802. По поводу передачи магнитной силы я уже сказал (2787), что пустое пространство, или вакуум, допускает эту передачу независимо от того, чтобы ему была присвоена какая-либо функция, тождественная по своей природе проводящей способности материи; эта передача происходит скорее способом, подобным тому, каким через пустое пространство проходят линии силы тяготения или линии статической электрической силы. В таком случае те тела, которые, подобно кислороду, в большей или меньшей степени облегчают передачу этой силы, совместно образуют класс магнитных или парамагнитных веществ (2790), а те тела, которые, подобно маслородному газу или фосфору, в большей или меньшей степени затрудняют эту передачу, могут быть объединены в класс диамагнитных веществ. Быть может, будет неправильно выражать оба эти качества термином *проводимость*; но при нынешнем состоянии этого вопроса и со сделанной выше оговоркой (2797) этот термин, думаю, можно с удобством применять, не создавая этим какой-либо путаницы.

2803. Если таково правильное общее представление о природе парамагнитных и диамагнитных веществ и о различиях между ними, то внутренние процессы, с помощью которых они выполняют свои функции, едва ли являются тождественными, хотя они и могут быть схожими. Так, возможно, что у них имеются круговые токи, текущие в противоположных направлениях; напротив, едва ли можно допустить, чтобы их отличие объяснялось только различием силы токов, а последние протекали в одном и том же направлении. Если последняя точка зрения правильна, то, правда, результаты, получающиеся

в том случае, когда два тела находятся в магнитном поле, можно рассматривать как разностные (2770, 2768), даже в том случае, когда одно из них является общей средой, но наличие в веществе проводящей способности *заставляет* тело, даже, когда оно одно находится в (пустом) пространстве подчиняться магнитной силе. В результате, когда парамагнитное вещество находится в магнитном поле неодинаковой силы, оно стремится перейти из более слабых мест действия в более сильные, т. е. оно *притягивается*. Когда в таких же условиях находится диамагнитное тело, то оно стремится перейти из более сильных мест действия в более слабые, т. е. оно *отталкивается* (2756).

2804. Когда рассматривают силы, присущие веществу, то количество вещества можно брать либо по весу, либо по объему. В рассматриваемом здесь случае, когда явления находятся в непосредственной связи с пустым пространством (2787, 2802), представляется правильным принять за основу объем и при сравнении одного вещества с другим пользоваться для получения точных результатов равными объемами. При разностной системе наблюдения (2772, 2780) нельзя пользоваться никаким другим методом.

2805. Можно с полным основанием ожидать, помимо изменения положения, других экспериментальных доказательств существования этой проводящей способности, различием которой я пытаюсь объяснить особые свойства парамагнитных и диамагнитных тел. Подобные доказательства существуют; но так как некоторые соображения, связанные с полярностью, не дают мне возможности слишком свободно ссылаться в качестве пояснительных примеров на железо, кобальт или никель (2832) и так как в остальных телах, которые являются парамагнитными, равно как в телах, которые являются диамагнитными, эти явления оказываются очень слабыми, то их легче будет понять в дальнейшем после некоторого общего рассмотрения этого вопроса (2843).

2806. Я попытаюсь теперь рассмотреть, какое влияние оказывают парамагнитные и диамагнитные тела, если их рассматривать как проводники (2797), на силовые линии в магнитном поле. Таким полем можно считать любую часть пространства, через которую проходят линии магнитной силы, и нет, вероятно, пространства, в котором бы их не было. Свойства поля могут изменяться от места к месту по интенсивности силы как вдоль линий, так и поперек последних; но для настоящего исследования будет лучше предположить поле равной повсюду силы, и я раньше описал, каким образом его можно создать в известном ограниченном объеме (2465). В таком поле сила не изменяется ни вдоль, ни поперек линий, но различие направления остается здесь столь же большим и важным, как всегда, что было уже отмечено и выражено терминами «аксиальное» и «экваториальное», в соответствии с тем, как оно направлено относительно магнитной силы: параллельно ей или поперек ее.

2807. Если в такое магнитное поле, которое, как мы предположим, до этого было свободно от вещества, ввести парамагнитный проводник, например шар кислорода, то это вызовет сгущение силовых линий на нем и через него, так что занимаемое им пространство станет пропускать больше магнитной силы, чем раньше (рис. 197). Если же, с другой стороны, в подобном поле поместить шар из диамагнитного вещества, то он вызовет расхождение или раскрытие линий в экваториальном направлении (рис. 198) и через занимаемое им пространство будет проходить меньше магнитной силы, чем если бы его не было.

2808. Таким образом мы находим, что упомянутые два тела влияют, во-первых, на направление силовых линий не только внутри занимаемого ими объема, но и в прилегающем к нему пространстве, через которое следуют линии, прошедшие через тело, и это изменение хода линий происходит в указанных двух случаях в противоположном направлении.

2809. Во-вторых, они влияют на величину силы в каждой отдельной части пространства внутри тела и вблизи от него.

В самом деле, в каждом сечении поперек линии такого магнитного поля сила должна иметь определенную величину, и каждое сечение должно быть в этом отношении тождественно с каждым другим сечением; а потому, если произвести сгущение (силовых линий) внутри кислородного шара (рис. 197), это невозможно сделать без того, чтобы одновременно не произвести сгущение в участках пространства, расположенных аксиально вне шара, каковы *aa* и соответствующее уменьшение в экваториально расположенных участках *bb*. С другой сто-

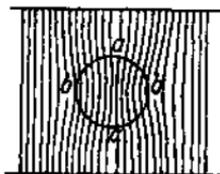


Рис. 197.

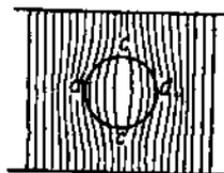


Рис. 198.

роны, диамагнитное тело (рис. 198) вызывает уменьшение магнитной силы в тех частях пространства, которые расположены по отношению к нему аксиально, каковы *cc* и сгущение в близких к нему экваториальных участках, каковы *dd*. Если представить себе, что магнитное поле ограничено в своем протяжении железными стенками, образующими поверхности противостоящих полюсов (2465), то присутствие парамагнитных и диамагнитных тел повлияет даже на распределение магнетизма в самом железе, и, конечно, это влияние будет весьма сильным, если из тел парамагнитного класса выбрать такие тела, как железо, никель или кобальт.

2810. О влиянии этого возмущения сил на место и на положение как парамагнитного, так и диамагнитного тела, помещенного в магнитном поле, можно легко заключить путем рассуждения, и его нетрудно выявить на опыте. Железный шарик, помещенный в поле равной магнитной силы, ограниченном железными полюсами, пребывает в положении неустой-

чивого равновесия, когда находится на равном расстоянии от обоих полюсов, и в это время происходит большое сгущение силы в нем, а также на противолежащих ему поверхностях и в промежуточных аксиальных участках пространства. Когда шарик находится по ту или другую сторону от среднего расстояния, то он летит к ближайшей поверхности железа, и тогда он может придать наибольшую величину магнитной силы проходящим через него аксиальным линиям или сосредоточить ее на последних.

2811. Если железо представляет собою сфероид, то наибольший его диаметр располагается аксиально — все равно, как расположено железо: находится ли оно в положении неустойчивого равновесия, или же оно приходится ближе к железным стенкам поля, или в соприкосновении с ними. Так как в данном случае обстоятельства более благоприятны, чем это было раньше, для сгущения силы по аксиальной линии, проходящей через тело, то этот опыт можно произвести с гораздо более слабым парамагнитным телом, чем железо, и я не сомневаюсь в том, что его можно легко произвести, если взять сосуд, содержащий в себе кислород или окись азота (2782, 2792). В таком виде, хотя он и не наилучший, мы можем воспользоваться этим опытом, чтобы с наибольшей чувствительностью испытывать магнитные свойства тел.

2812. Относительно малая величина силы в диамагнитных телах несколько затрудняет воспроизведение явлений, обратных тем, какие получаются с железом. Поэтому, для улучшения условий опыта я воспользовался насыщенным раствором протосульфата железа, помещенным в магнитном поле. Таким способом я усилил проходящие через него силовые линии, не нарушая их равномерности в использованных частях поля, т. е. не вводя какой-либо погрешности в принципиальную сторону опыта, и затем в качестве диамагнитного тела взял висмут. Цилиндр этого вещества, подвешенный вертикально, определенно устремился к среднему расстоянию и нашел свое положение устойчивого равновесия в том самом месте, где пара-

магнитное тело находилось в неустойчивом равновесии. Когда цилиндр был подвешен горизонтально, то он располагался в экваториальном направлении. Это явление оказалось точно так же очень ясным и отчетливым.

2813. Эти относительные и взаимнопротивоположные положения парамагнитных и диамагнитных тел в поле равной магнитной силы находятся в хорошем согласии с известными их взаимоотношениями и с изложенным выше в принципе родом действия (2807), равно как с тем родом действия, которое они оказывают на магнитную силу, влиянию которой их подвергают. Эти положения можно запомнить, если сообразить, что, если на месте действия находится жидкий шар из парамагнитного проводника и затем возбуждена магнитная сила, то шар изменит свою форму и растянется по аксиальному направлению, превратившись в удлинненный сфероид; а если в этом месте находится такой же шар из диамагнитного вещества, то он растянется в экваториальном направлении и превратится в сплюснутый сфероид.

2814. Когда две массы парамагнитного вещества находятся в таком поле равной магнитной силы, взаимодействие этих масс можно предвидеть, исходя из принципов (2807, 2830) или соответствующих фактов, которые являются общеизвестными. Два железных шара, удерживаемые в одной и той же экваториальной плоскости, очень сильно друг друга отталкивают. Но когда им предоставляют возможность выйти из этой плоскости, то они сначала теряют свою силу взаимного отталкивания, а затем друг друга притягивают, причем они делают это с наибольшей силой, когда расположены в аксиальном направлении.

2815. У диамагнитных тел гораздо труднее выявить их взаимодействие, так как это свойство выражено у них сравнительно слабо. Поэтому я прибегнул к описанному ранее средству и взял насыщенный раствор протосульфата железа в качестве среды, заполняющей поле равной магнитной силы, а в качестве диамагнитных тел — два цилиндра из фосфора

длиною около дюйма при диаметре в полдюйма. Один из них был подвешен на конце коромысла, которое в свою очередь было подвешено на коконовой нити, так что он мог двигаться чрезвычайно свободно, и установка была такова, что когда фосфорный цилиндр находился посередине магнитного поля, то он имел возможность двигаться экваториально, т. е. поперек магнитных силовых линий. Однако он под влиянием магнитной силы не проявлял стремления двигаться указанным образом. Другой цилиндр был прикреплен к ручке из медной проволоки и его можно было установить по любую сторону от первого цилиндра. Он был установлен вплотную возле первого цилиндра, а затем оба цилиндра удерживались неподвижно, пока не прекратилось всякое возмущение, которое могло вызваться движением жидкости или воздуха. После этого придерживающее тело удалялось, а оба фосфорных цилиндра продолжали оставаться на своих местах. Наконец, была введена в действие магнитная сила, и тотчас же подвижной цилиндр медленно отделился от неподвижного и отошел от него на некоторое расстояние. Когда я отводил его обратно при продолжающемся действии магнита, он при освобождении отходил; но если я возвращал его в положение тесного соседства в то время, когда магнитная сила отсутствовала, то он сохранял это положение. Указанное действие имело место или в одном, или в другом направлении в соответствии с тем, по какую сторону от подающего находился неподвижный цилиндр, но в обоих случаях движение происходило поперек магнитных силовых линий и, конечно, было механически и умышленно ограничено этим направлением самым способом подвеса. Когда два висмутовых шарика были помещены друг за другом по направлению магнитной оси таким образом, что один из них имел возможность двигаться, но только по направлению этой оси, то его положение не испытывало на себе заметного влияния со стороны другого шарика. Стремление свободного шарика двигаться к середине поля (2812) брало верх над всяким другим стремлением, какое фактически могло иметь место.

2816. Таким образом, два диамагнитных тела, находясь в магнитном поле, определенно действуют друг на друга, но результат этого действия не противоположен по своему направлению результату взаимодействия парамагнитных тел, так как в обоих случаях он сводится к тому, что тела отходят друг от друга.

2817. Сравнение взаимодействия пара- и диамагнитных тел было дополнено тем, что в качестве среды в поле равной магнитной силы я взял воду и в ней на крутильных весах подвесил кусок фосфора. Когда магнитная сила была включена, то фосфор, как и раньше, отталкивался по экваториальному направлению другим куском фосфора, но притягивался трубкой, наполненной насыщенным раствором протосульфата железа. Таким образом парамагнитные и диамагнитные тела в среде со средними свойствами взаимно притягиваются в экваториальном направлении, но каждое из них отталкивает тело того же вида (2831).

## Г Л А В А И

### *Полярность проводимости*

2818. Рассмотрев таким образом вкратце те действия, которые может вызвать возмущение силовых линий вследствие присутствия парамагнитных и диамагнитных тел (2807 и т. д.), я попрошу уделить внимание тому, что можно рассматривать как их полярность; этим термином я хочу обозначить не какое-либо внутреннее состояние вещества или его частиц, но свойство массы как целого; я имею в виду состояние, в какое вещество приходит благодаря возмущению им самим магнитных силовых линий; я учитываю при этом как его свойства по отношению к другим телам, испытывающим на себе такое же влияние, так и различия, существующие в отдельных участках его собственной массы. Свойство, сюда относящееся, можно было бы назвать полярностью проводимости. Тела в пустом пространстве, находясь под действием магнетизма, обладают

ею в простейшем ее виде; но тела, погруженные в другие среды, также обладают ею, но в более сложном виде; может тогда измениться и величина ее: она может перейти в противоположную, либо в очень высокой степени увеличиться или уменьшиться.

2819. Возьмем простейший случай парамагнитной полярности, т. е. тот случай, который представлен на рис. 197 (2807); он состоит в схождении магнитных силовых линий в двух противолежащих участках тела, расположенных один и другой по направлению магнитной оси. Различие в свойствах двух полюсов на этих участках очень велико; это — известное качественное различие в двух противоположных направлениях магнитных силовых линий. Существует ли полярное притяжение или отталкивание у парамагнитных тел, когда они дают только случай проводимости (как например кислород), это еще неизвестно (2827), но, вероятно, оно существует. А если так, то оно, без сомнения, однородно с притяжением и отталкиванием *магнитов*, обладающих соответствующими полюсами.

2820. Когда мы рассматриваем полярность проводимости диамагнитного тела, то дело представляется в совершенно ином виде. Полярность этого тела — не такая, как полярность парамагнитного вещества; она не является и просто противоположной полярности такого вещества (по названию или по направлению силовых линий), как это раньше принимали я, Вебер и другие (2640); это — совершенно особое состояние. Его полярность заключается в расхождении силовых линий в двух противолежащих участках, расположенных друг по отношению к другу по направлению магнитной оси, или в схождении силовых линий вне этих участков. Таким образом, хотя эти полюсы и находятся между собою в *тех же* общих и обратных отношениях, которые соответствуют различиям полюсов парамагнитных тел, тем не менее они разительно отличаются от полярности этих последних тел; этот контраст заключается в схождении силовых линий у одних и расхождении — у других.

2821. Пусть рис. 199 представляет ограниченное магнитное поле с парамагнитным телом  $P$  и диамагнитным телом  $D$  в нем, и пусть  $N$  и  $S$  представляют собою две соединенных с магнитом железных стенки (2465), образующих границы поля; тогда мы будем иметь возможность составить себе ясное представление о направлении магнитных силовых линий в поле. Так вот, эти два тела  $P$  и  $D$  нельзя характеризовать, если только допустить одно, что полярности, которыми они обладают, имеют противоположные направления. Полярность (1) тела  $P$  су-

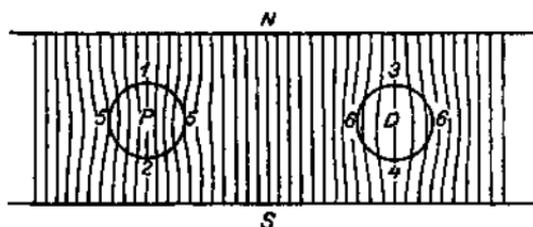


Рис. 199.

щественно отличается от полярности (3) тела  $D$ ; но если принять, что полярность, которой обладает  $D$ , противоположна полярности  $P$ , то в этом случае полярность (1) тела  $P$  должна была бы быть подобной полярности (4) тела  $D$ , между тем как в действительности она отличается от нее больше, чем от полярности (3) тела  $D$  и даже от своей собственной полярности (2).

2822. Таким образом, имеется два существенных различия в природе полярностей, связанных с проводимостью: различие в направлении силовых линий, кончающихся у поверхностей полюсов, если сравнивать их с обращенным в противоположную сторону магнитом, и различие в схождении и расхождении, если производить сравнение с магнитом, не повернутым в противоположную сторону. Поэтому состояние полярности, в котором находится диамагнитное тело, не таково, чтобы его можно было представить, переставив местами оба конца парамагнитного тела, сохраняя при этом его общее магнитное состояние.

2823. Диамагнитные тела в средах более диамагнитных, чем они сами, должны иметь полярное состояние парамагнитных тел (2819); совершенно так же парамагнитные проводники в средах более парамагнитных, чем они сами, должны иметь полярность диамагнитных тел.

2824. Помимо указанных различий для тел, характерно их экваториальное состояние, которое должно быть способно вызывать в этих двух классах проводников соответствующие действия. Вся экваториальная часть тела  $P$  (рис. 199) подобна в отношении полярности телу  $P$  или силовым линиям в окружающем пространстве, и такое же соответствие имеется между экваториальными участками тела  $D$  и им самим, а также окружающим пространством. Но эти участки тел  $P$  или  $D$  отличаются друг от друга по интенсивности силы, и оба они — от общей интенсивности окружающего пространства. Я полагаю, что подобные экваториальные состояния должны существовать как следствие определенного характера каждого данного сечения магнитного поля (2809).

2825. Хотя и имеются экспериментальные доказательства этих полярностей, но они не очень показательны, т. е. вид, который им можно придать, не будет очень нагляден. Причиной этого является крайняя незначительность участвующих здесь сил по сравнению с теми большими силами, которые обнаруживаются при взаимодействии магнитов. Именно по этой причине потерпели неудачу многократные попытки показать полярность в висмуте, или же другие явления ошибочно принимались за такие, которые с основанием можно отнести к такой причине. Наилучшее и, следовательно, наиболее чувствительное испытание на полярность, каким мы располагаем, заключается в том, чтобы подвергнуть полярное тело линии направления очень мощных магнитных сил, которые вокруг него возбуждаются; вот почему для данной цели всегда предлагается наблюдать, каким образом вещество располагается между полюсами сильного магнита. Было бы тщетно — и в самой крайней степени — ожидать какого-либо

взаимодействия между полюсами двух слабых парамагнитных или диамагнитных проводников во многих случаях, когда действие этих же полюсов прекрасно обнаруживается в их отношении к почти бесконечно более сильным полюсам мощного подковообразного магнита или электромагнита.

2826. Я взял трубку *a* (рис. 200), наполненную насыщенным раствором сульфата кобальта, и подвесил ее между полюсами большого электромагнита; она легко и хорошо устанавливалась в определенном направлении. После этого другую трубку *b*,

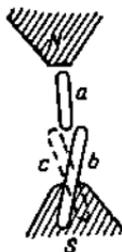


Рис. 200.

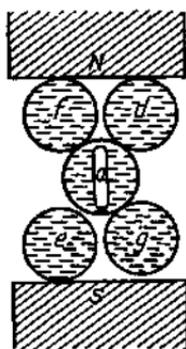


Рис. 201.

наполненную насыщенным раствором сульфата железа, я приложил к полюсу S магнита и поднес, как показано на рис. 26, к трубке с кобальтом; однако при этом нельзя было заметить никакого влияния на положение трубки *a*. Для того, чтобы усилить вдвое возможное действие, я перевел трубку *b* в положение *c*; однако никакого следа взаимодействия между полюсами *a* и *b* не обнаружилось (2819).

2827. Для того, чтобы усилить действие, я подвесил трубку с магнитным раствором в воде, как в хорошей диамагнитной среде, между плоскими полюсами (рис. 201). Она хорошо устанавливалась в определенном направлении. В *d* и *e* я поместил две склянки с насыщенным раствором сульфата железа, но они не изменили положения *a*. Когда я перемещал склянки

в положения  $f$  и  $g$ , то это не вызывало никакого заметного изменения положения  $a$ . Я произвел такой же опыт с воздушной трубкой в воде [при этом она устанавливается аксиально (2406)], но с тем же отрицательным результатом. Я не хочу утверждать, что в приведенных выше случаях не было произведено абсолютно никакого действия (2819), но думаю, что если какое-нибудь действие было, то оно должно было быть неощутимо мало; это показывает, насколько непригодны эти методы по сравнению с теми, какие дает стремление тела установиться в определенном направлении, когда это тело находится под влиянием сильных магнитов. Если с помощью этих методов нельзя установить полярности в столь сильно парамагнитных телах, как насыщенный раствор железа, никеля или кобальта, то едва ли приходится ожидать, чтобы с помощью подобных действий ее можно было обнаружить в гораздо более слабых диамагнитных веществах.

2828. Когда сферический парамагнитный проводник приведен на середину поля равной магнитной силы, то он находится там в положении неустойчивого равновесия, из которого, если его хоть сколько-нибудь сместить, он продолжает двигаться дальше, пока не дойдет до железной пограничной стенки поля (2465, 2810); это является следствием его особых полярных свойств. Если бы шар имел возможность изменить свою форму, то он вытянулся бы по направлению магнитной оси; а если бы он представлял собою твердое тело продолговатой формы, то он стремился бы занять аксиальное направление: то и другое было бы следствием его полярных свойств (2811).

2829. Точно так же в случае диамагнитных тел их особые полярные свойства обнаруживаются в соответствующих фактах, а именно в том, что сферическая масса, находясь посередине магнитного поля (2812), занимает там место устойчивого равновесия, что жидкая масса стремится расширяться в экваториальном направлении и превращается в сплюснутый сфероид (2813) и что продолговатая масса стремится занять

экваториальное направление (2812). В том случае, когда опыты производятся с остроконечными полюсами, действия оказываются гораздо более сильными, но они совершенно те же по своему характеру и зависят от тех же причин и полярных свойств.

2830. Существует другой ряд явлений, которые или являются результатом только что упомянутой аксиальной полярности, или могут быть рассматриваемы как следствия состояния экваториальных участков проводников (2824). Если два железных

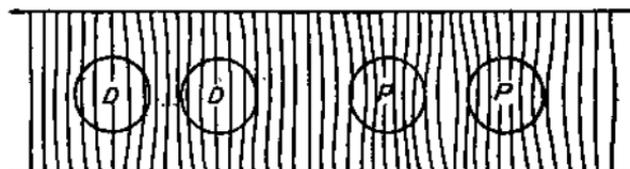


Рис. 202.

шара в поле равной силы удерживать в плоскости, нормальной к силовой линии, т. е. таким образом, чтобы их экваториальные участки были обращены друг к другу, то они отойдут друг от друга со значительной силой (2814), и представляется вероятным, что два бесконечно более слабых тела из парамагнитного класса отошли бы друг от друга таким же образом. Было установлено, что два куска фосфора, являющегося диамагнитным веществом, при тех же обстоятельствах тоже отходят друг от друга (2815).

2831. В данном случае движения оказываются тождественными по роду, хотя и можно было ожидать, что они будут противоположны друг другу. Тем не менее они вполне согласуются. Диамагнитные тела должны расходиться, так как на магнитных силовых линиях между ними поле сильнее, чем на линиях вне их, что можно легко видеть на двух шарах *DD* (рис. 202). Поэтому данное движение находится в полном соответствии с расхождением линий или с экваториальным положением, которое занимают как отдельные куски, так

и вся масса подобных веществ (2829), ввиду их стремления переходить из мест более сильного действия в места более слабого действия. С другой стороны, в случае двух железных шаров *PP* в промежутке между ними находятся более слабые линии силы, чем в стороне от них; и так как им присуще стремление переходить из мест более слабого действия в места более сильного действия, то они точно так же отходят друг от друга, дабы выполнить необходимое условие равновесия сил. Наконец; парамагнитное и диамагнитное тела друг друга притягивают (2817), и они должны это делать, так как диамагнитное тело находит место более слабого действия в направлении к парамагнитному телу, а парамагнитное тело находит место более сильного действия вблизи диамагнитного тела (см. *DP* на рис. 202).

2832. Для пояснения действия парамагнитных проводников я зачастую говорил о железе и рассматривал приобретаемую им полярность как тождественную с полярностью этих проводников; но теперь я должен выявить различие, которое, по-моему, существует между полярностью магнита и той полярностью, которая, как я выразился, вызывается только проводимостью. В случае железа это различие имеет важное значение. Постоянный магнит имеет в самом себе полярность, которой обладают и его частицы, и эта полярность существенно связана с силой, которая присуща самому магниту. Она, равно как вызывающая ее сила, по своей природе такова, что мы не можем себе представить, чтобы пустое пространство, лишенное вещества, обладало той или другой, какую бы форму ни имело это пространство или как бы ни были сильны проходящие через него магнитные силовые линии. Полярность проводника не имеет обязательно тот же характер; она не вызывается определенным расположением причины или источника магнитного действия, который в свою очередь диктует и предопределяет особое направление силовых линий (2807); она — простое следствие сгущения или разрежения этих силовых линий, в зависимости от того, что рассматриваемое вещество оказы-

вается более или менее приспособленным к тому, чтобы передавать дальше их влияние. Это, очевидно, две совершенно различные вещи: порождать такие линии силы или *определять их направление*, с одной стороны, и только содействовать их прохождению или же его замедлять, не оказывая никакого влияния на их направление — с другой стороны. Говоря фигурально, это различие можно сравнить с различием между гальванической батареей и проводами или веществами, соединяющими ее концы. Поток силы проходит через то и другое, но порождает ток и определяет его направление батарея; провод же представляет собою только более хороший или более плохой проводник, но при изменении его формы или качества он может рассеивать, сгущать или изменять поток силы.

2833. Если допустить это различие, то нам следует обсудить, становится ли железо, находясь под влиянием линий магнитной силы, магнитом и получает тогда свою собственную полярность, или же оно является только парамагнитным проводником с наибольшей возможной проводимостью. В первом случае оно должно обладать действительно полярностью магнита, во втором случае — только той полярностью, которую я приписываю кислороду и другим проводящим телам. По моему мнению, железо является магнитом. Его можно как *источник* магнитных силовых линий довести до наивысшей степени энергии в электромагните, и хотя, если оно очень мягко, оно обычно теряет почти всю эту силу при прекращении электрического тока, однако не так обстоит дело, когда масса металла образует сплошной круг или кольцо, ибо в этом случае оно способно сохранять эту силу в течение часов и даже недель и является, очевидно, в течение указанного времени первоисточником силы, не зависящим от какого бы то ни было гальванического тока. Поэтому я и думаю, что под влиянием линий магнитной силы железо становится магнитом. И хотя при этом оно приобретает полярность, направленную совершенно так же, как у простого парамагнитного проводника, находящегося под действием тех же силовых линий, однако в данном случае

имеется большое различие: так как каждая внутренняя частица железа становится до некоторой степени системой, вызывающей магнетизм, то полярность частичек связывается и объединяется в полярное целое, которое, будучи бесконечно более интенсивным, может быть также весьма отличным по расположению своей силы в различных участках от того эквивалента полярности, которым обладает простой проводник.

2834. Мне кажется также весьма вероятным, что, когда железо, никель и кобальт нагревают до соответствующих температур, при которых они теряют удивительную по ее степени силу (2347) и сохраняют лишь столь малую долю ее, что для выявления ее требуются самые чувствительные средства испытания (2343), то они переходят тогда в состояние парамагнитных проводников, теряют всякую способность получить то состояние внутренней полярности, которое они могли иметь как магниты, и обладают тогда лишь той полярностью, которая присуща им как массам парамагнитного вещества (2819). Представляется также вероятным, что во многих соединениях эти металлы могут принимать лишь состояние простой проводимости. Так, например, в то время, как в виде протоксида железо может образовать магнит, в перекиси оно является только проводником, и с этой точки зрения несколько не странно, что кислород, который как газ является парамагнитным телом (2782), изводит равное весовое количество железа до своего собственного состояния и даже значительно ниже последнего. В различных своих солях и растворах эти металлы в сочетании с соединяющимся с ними веществом могут действовать только как проводники.

2835. Может быть, мне следовало бы называть полярностью состояние сгущения или разрежения магнитных силовых линий в телах, действующих как проводники, поскольку действительная магнитная полярность по существу и целиком связана с направлением силовых линий, а не только со сгущением или расхождением этих линий. Я поступил так лишь с той целью, чтобы иметь возможность легче сослаться на

факты и точки зрения, связывавшиеся до сих пор с предполагаемой полярностью в телах, которые — все равно, парамагнитные они или диамагнитные — я рассматривал просто как проводники; я надеюсь, что это не приведет к превратному толкованию моих мыслей. Я уже раньше просил предоставить мне право с некоторой свободой пользоваться различными выражениями (силовые линии, проводящая способность и т. п.) (2149, 2797), что на время даст мне возможность не быть связанным предвзятыми мнениями. Именно поэтому указанные выражения являются чрезвычайно полезными, если только на время достаточно ограничить их смысл и не допускать никакой вредной небрежности или неточности в изложении фактов.

### ГЛАВА III

#### *Магнекристаллическая проводимость*<sup>1</sup>

2836. Прекрасные исследования Плюккера о магнеоптических явлениях не могли еще быть забыты, и я надеюсь, что в связи с ними вспомнят и о моих опытах с магнекристаллическими явлениями (2454 и т. д.). Я полагаю, что описанные нами обоими явления вызываются одной и той же причиной и одинаковы по своему происхождению, а поскольку они обнаруживаются чистыми прозрачными телами, то Плюккер, как и думаю, привел их в надлежащую связь с положительной и отрицательной оптическими осями таких тел.<sup>2</sup> В этих случаях кристаллическое тело с большой силой устанавливается или занимает особое положение, когда его помещают в поле магнитной силы (2464, 2479, 2550), безотносительно к его парамагнитным или диамагнитным свойствам (2562); при этом оно не принимает какого-либо состояния, которое оно могло бы унести с собой при своем удалении из поля (2504).

<sup>1</sup> Я должен указать здесь на важную работу по данному вопросу гг. Тиндаль и Кноблауха в *Philosophical Magazine*, 1850, XXXVII, стр. 1. — *М. Ф.*, 6 января 1851 г.

<sup>2</sup> *Philosophical Magazine*, 1849, XXXIV, стр. 450.

2837. Если к этим магнекристаллическим телам применить представление о проводимости, то это как будто удовлетворит всему тому, что требует объяснения в связанных с ними особых явлениях. В таком случае магнекристаллическое тело будет телом, которое в кристаллическом состоянии может пропускать через себя магнитную силу, т. е. давать ей возможность проявиться в одном направлении легче, чем в другом, и это направление будет магнекристаллической осью. Поэтому в магнитном поле магнекристаллическая ось будет приводиться в положение, совпадающее с магнитной осью, приводиться силой, соответствующей указанной разности; совершенно так же, как когда взяты два различных тела, то одно из них, обладающее большей проводящей способностью, вытесняет более слабое тело.

2838. Таким образом, было бы объяснено влияние положения (2586), а также большая способность проводить магнетизм в одном направлении, чем в другом (2588, 2591); при этом отпало бы и то, что мне представлялось аномальным в допущении, что силовая линия может находиться в безразличном отношении к любой части плоскости (2600). Что теплота уничтожает рассматриваемую проводящую способность (2570), это представлялось вполне согласным с тем, что нам известно о влиянии теплоты на магнитные свойства железа, кислорода и т. д., а также на проводящую способность в отношении электричества у таких тел, как платина, сернистое серебро и т. д. Наконец, данное допущение кажется вполне совместимым с состоянием, которое тело, по-видимому, принимает в то время, когда оно находится под влиянием магнитной силы (2609 и др.).

2839. Но если подобная точка зрения правильна, то не менее как будто следует, что диамагнитное тело вроде висмута должно быть менее диамагнитным, когда его магнекристаллическая ось параллельна (насколько только это возможно) магнитной оси, чем когда она к ней перпендикулярна. В этих двух положениях это тело как будто эквивалентно двум веществам, с двумя различными проводимостями по отношению к маг-

нетизму, а потому, если его подвергнуть испытанию на разностных весах, оно должно будет дать разностные явления, соответствующие по своему роду тем явлениям, которые дают кислород и азот (2774), или фосфор и висмут, или два других различающихся друг от друга тела. Хотя я раньше сообщал о некоторых опытах, которые как будто имеют отношение к данному вопросу (2551, 2552, 2553), однако при нынешнем состоянии нашего знания они являются неудовлетворительными, так как разность, если она вообще существует, должна быть мала (2552), а если при опыте только один полюс, и притом остроконечный, то она легко скрывается. Другие ранее описанные опыты (2554—2561) не могли бы обнаружить небольшую разность диамагнитной силы (хотя они и были вполне приспособлены для поставленной тогда цели), так как они были проведены с плоскими полюсами и в поле почти постоянной магнитной силы.

2840. Дифференциальные крутильные весы (2773) дали мне возможность вернуться к данному вопросу с лучшими видами на успех. Была отобрана группа однородных кристаллов висмута (2457); она была подвешена на одной стороне двухконусного сердечника (2738), а на другой стороне его был подвешен цилиндр из флинтгласа. Этот флинтглас должен был служить образцом для сравнения; поэтому в течение опыта я не изменял ни его места на весах, ни его состояния. Висмутовую группу, с горизонтально расположенной магнекристаллической осью, я укрепил в таком положении, что она могла вращаться в горизонтальной плоскости и чтобы при этом ее ось можно было расположить то параллельно магнитной оси (или силовым линиям), то перпендикулярно к ней, однако без всякого изменения расстояния ее центра тяжести от стоящего против нее стеклянного цилиндра. Таким образом, занимая или одно или другое положение, она могла подвергаться сравнению с цилиндром.

2841. Сначала магнекристаллическая ось была установлена параллельно сердечнику или магнитной оси; была во-

буждена магнитная сила, и когда диамагнитные тела заняли свое положение покоя или устойчивого равновесия, я наблюдал и отмечал положение коромысла весов, для чего пользовался лучом света, отраженного от зеркала, прикрепленного к коромыслу. После этого висмут был повернут на  $90^\circ$ , т. е. настолько, что его магнекристаллическая ось стала перпендикулярной к оси двухконусного сердечника. Когда затем был возбужден магнит, то оказалось, что висмут находится теперь на большем расстоянии от сердечника, чем раньше. Когда я его повернул еще на  $90^\circ$ , так что он оказался в положении, диаметрально противоположном первому (2461), то его местоположение снова оказалось несколько более близким к магниту. В четвертом положении, диаметрально противоположном второму, висмут оказался снова на большем расстоянии. Таким образом, было доказано, что кристаллический висмут диамагнитен в рвальной степени в зависимости от определенных направлений его магнекристаллической оси, причем он более диамагнитен, когда эта ось перпендикулярна к линиям магнитной силы или стоит поперек, чем когда она им параллельна. Таким образом, ожидание, основанное на теоретических соображениях (2839), подтвердилось.

2842. Я попробовал получить те же явления с кубиком из известкового шпата (2597), ибо ясно, что если его оптическую ось, которая находится в горизонтальной плоскости, расположить сначала параллельно магнитной оси, а затем перпендикулярно к ней, то это тело должно оказаться более диамагнитным в первом положении, чем во втором, поскольку последнее является тем положением, которое тело занимает под влиянием своего магнекристаллического или магнеоптического состояния. Однако я не мог получить отчетливых результатов — частью потому, что у известкового шпата диамагнетизм во всех отношениях гораздо слабее, чем у висмута, частью вследствие того, что моя крутильные весы в настоящее время несовершенны; частью, наконец, из-за раамеров и формы известкового шпата. Шар или цилиндр, у которых оптическая ось была бы направ-

лена перпендикулярно к оси цилиндра, представляли бы собою более подходящие формы для испытываемых веществ.

2843. В заключение настоящей части работы, касающейся магнитной проводящей способности, я укажу теперь на некоторые из тех случаев, которые, как я полагаю, экспериментально устанавливают ее *наличие* в двух разделах магнитных тел (2805). Место и положение железа в поле равной силы (2810, 2811) являются без сомнения результатом присущей этому телу необыкновенной способности пропускать магнитную силу через занимаемый им объем, как ни рассматривать железные частицы: как полярные или неполярные (2832). Поэтому я рассматриваю противоположные, в смысле места и положения, явления у диамагнитного тела (2812, 2813), как доказательство того, что это тело обладает меньшей способностью пропускать магнитную силу, чем занимаемый им (пустой) объем, и на этом основании заключаю, что оно проводит диамагнитно (2802).

2844. Отдаление друг от друга парамагнитных тел в экваториальном направлении является доказательством того, что благодаря лучшей своей проводимости они возмущают положение силовых линий в окружающей их среде (2831). Отдаление друг от друга двух диамагнитных тел при тех же обстоятельствах является точно также доказательством того, что вследствие различия проводимости эти тела тоже возмущают распределение силы (2831). Экваториальное взаимное притяжение парамагнитного и диамагнитного тел, когда эти тела находятся в среде, которая по своей проводимости находится между указанными двумя телами (2831), является доказательством не только наличия проводимости в обоих этих телах, но и доказательством противоположного их состояния как по отношению друг к другу, так и по отношению к среде.

2845. То обстоятельство, что кристалл висмута либо приближается к магнитной оси, либо удаляется от нее (2841), в зависимости от того, как направлена его магнекристаллическая ось: параллельно аксиальной линии или же перпендикулярно

к ней, точно также указывает на различие проводимости и, следовательно, на существование этой способности у диамагнитного тела. Можно было бы привести много других фактов, указывающих на существование той способности, которую я рассматриваю как проводящую способность (2797) и которую, вероятно, никто не станет отрицать. Я полагаю, что приведенных выше фактов достаточно для того, чтобы пояснить мою мысль.

2846. Едва ли мне нужно говорить, что магнитная проводимость не означает электропроводности или чего-либо ей подобного. Наилучшие проводники электричества, как серебро, золото и медь, уступают пустому пространству в своей способности благоприятствовать прохождению магнитной силы: настолько им нехватает того, что я назвал магнитной проводимостью. Имеется разительная аналогия между этой проводимостью магнитной силы и тем, что раньше применительно к статическому электричеству я назвал удельной индуктивной способностью (1252 и след.), и я надеюсь, что эта аналогия приведет нас к дальнейшему выяснению того, каким образом силовые линии в телах подвергаются воздействию и частью ими пропускаются.

## РАЗДЕЛ 33

### Атмосферный магнетизм<sup>1\*</sup>

#### ГЛАВА I

##### *Общие принципы*

2847. Мы должны ясно представлять себе, что две девятых по весу атмосферы являются весьма магнитным телом, магнитные свойства которого подвергаются очень большим измене-

<sup>1</sup> В Philosophical Transactions за 1827 г., стр. 308, имеется очень важная статья профессора Кристи (Christie): «О теории суточной вариации»

\* Я должен обратить внимание читателей моей работы на предложение г. де ла Ривом теорию *причины* суточных вариаций, основанную

нием при изменениях его физических условий — температуры и сгущения и разрежения (2780), и что это тело и на деле подвергается указанным физическим изменениям, годовым и суточным, в высокой мере, в связи со своим отношением к Солнцу; поэтому я вполне уверен в том, что оно должно играть большую роль в распределении магнитных сил на поверхности Земли (2796) и что за его счет следует, вероятно, отнести большую часть годовых, суточных и неправильных вариаций короткого периода, которые, как это установлено, испытывает

магнитной стрелки». Под влиянием открытий Зеебеком термомагнетизма в опытах Кэмминга (Cushning) он возымел мысль исследовать, в какой мере к явлениям природы можно применить идею термомагнитной полярности, и приходит к следующему заключению (стр. 327): если допустить, что в *Земле и атмосфере* при некоторых обстоятельствах может иметь место подобное действие, то эти опыты показывают, что *каждый участок Земли, ограниченный параллельными плоскостями и окружающей атмосферой, должен одинаково поляризоваться, если одна сторона окажется более нагретой, чем другая*. Таким образом, если рассматривать только экваториальные области Земли, мы должны иметь *два магнитных полюса на северной стороне и два подобным образом расположенных полюса на южной стороне; при этом противоположные полюса лежат друг против друга на противоположных сторонах от экватора*.

на идее термоэлектрических токов в атмосфере и Земле; изложение ее можно найти в мемуаре, озаглавленном «О суточной вариации магнитной стрелки», *Annales de Chimie*, 1849, XXV, стр. 310.

Недавно один мой друг обратил мое внимание на наблюдение г. Беккереля, которое имеет отношение к настоящему вопросу и которое гласит: «Если мы сообразим, что Земля окружена массой воздуха, эквивалентной по своему весу слою ртути в 30 дюймов, то мы можем поставить пред собою вопрос, не участвует ли в некоторых явлениях, связанных с земным магнетизмом, такого рода масса магнитного газа, находящегося в постоянном движении и подвергающегося правильным и неправильным изменениям давления и температуры. В самом деле, если произвести расчет, какова магнитная сила этой жидкой массы, то мы найдем, что она эквивалентна огромной железной пластине толщиной несколько больше  $\frac{1}{20}$  части миллиметра в диаметре (?), покрывающей всю поверхность земного шара». Это место находится на стр. 341, 342 т. XXVIII *Annales de Chimie*, 1850, в прекрасном мемуаре, в котором автор хорошо развил равнопоступные действия различных сред, которые в общем виде я изложил

рассматриваемая сила. Я не могу претендовать на то, чтобы обсудить этот большой вопрос с большой компетенцией, так как вижу, что располагаю лишь очень немногими из тех специальных знаний, которые были собраны благодаря трудам больших и известных исследователей Гумбольдта (Humboldt), Ганстена (Hansteen), Араго (Arago), Гаусса (Gauss), Сэбайна (Sabine) и многих других, столь усердно писавших по вопросам земного магнетизма на поверхности всей Земли. Но на мою долю вышло ввести в обиход некоторые фундаментальные физические факты, и я, естественно, много размышлял над общими принципами, которые требуют установления их связи с магнитными явлениями в атмосфере, а потому да будет мне позволено изложить по мере моих сил эти принципы, дабы и другие получили возможность овладеть этим вопросом. Если эти принципы правильны, то они скоро найдут свое специальное применение к магнитным явлениям, протекающим в различных местах Земного шара.

2848. Земля представляется нам в виде сфероидального тела, которое состоит как из парамагнитных, так и из диамагнитных лет тому назад в Экспериментальных Исследованиях (2357, 2361, 2406, 2414, 2423 и т. д.). Этим путем он заново открыл магнитный характер кислорода и измерил его силу, не будучи, очевидно, знаком с сообщением, которое я сделал об этом веществе в отношении его к азоту и другим газам три года тому назад в письме, опубликованном в Philosophical Magazine за 1847 г., XXXI, стр. 401, а также в Poggendorff's Annalen и в других местах. Отсюда — приведенные выше замечания. Я не могу этому удивляться, так как лично я только недавно узнал о работе г. Беккереля. В своем письме 1847 г. я говорю о кислороде, что он является магнитным в обыкновенном воздухе (стр. 410), в углекислоте (стр. 414), в светильном газе (стр. 415), в водороде (стр. 415) и что сила его тогда равна его весу. Я говорю, что воздух обязан своим местом содержащемуся в нем кислороду и азоту (стр. 416) и что я пытался отделить друг от друга эти составные части, заставляя кислород притягиваться, а азот отталкиваться. В конце работы я затрудняюсь решить, где следует поместить истинный нуль между магнитными и диамагнитными телами, и указываю на то, что атмосфера подвергается магнитному влиянию Земли. Именно эти старые опыты и привели меня к настоящему исследованию. — М. Ф., 28 ноября 1850 г.

нитных тел, расположенных весьма неравномерно, если иметь в виду крупные подразделения ее на сушу и океан; они расположены столь же неравномерно и перемешаны в меньших ее участках. Тем не менее Земля в целом представляет собою магнит и, насколько мы знаем об этом в настоящий момент, она является первоисточником этой силы. И хотя мы не можем в настоящее время представить себе, чтобы все частицы Земли участвовали в качестве источника в ее магнетизме, поскольку многие из них являются диамагнитными, а многие — непроводниками электрического тока, тем не менее трудно утверждать, что какая-нибудь крупная часть Земли не участвует в создании этой силы. Позднее окажется, быть может, необходимым рассматривать некоторые части Земли просто как проводники, т. е. такие участки, через которые силовые линии, берущие свое начало где-то в других местах, только проходят, но в настоящее время можно всю Землю в целом рассматривать, в соответствии с теорией Гаусса, как мощный составной магнит.

2849. Магнитная сила этой большой системы распределена до известной степени правильно. Мы имеем возможность судить об этом лишь по тому, как это обнаруживается в одном слое или одной поверхности, которая, несмотря на то что она очень неправильна по форме, представляется нам всегда одной и той же, так как мы редко, если это вообще когда-нибудь случается, выходим из нее, а если и выходим, — например на воздушном шаре, — то лишь на неощутимо малое расстояние. Это — поверхность суши и моря нашей планеты. Силовые магнитные линии, которые проходят в *этой поверхности* или через нее, мы выявляем, с точки зрения их направления и интенсивности, по их действию на небольшие стандартные магниты; но на средний их путь или на временные отклонения *вверху или внизу*, т. е. вверху в воздухе или внизу в Земле, лишь неясно указывают изменения силы на поверхности земли, и данные об этих изменениях столь ограничены, что по ним мы не можем судить, где лежит их причина: наверху или внизу.

2850. Силовые линии исходят из Земли в северной и южной частях с различным по величине наклоном; на севере и на юге последний находится в некотором соответствии; они наклонятся одни по направлению к другим и сходятся друг с другом над экваториальными участками Земли. Общее их распределение может быть представлено с помощью системы линий, исходящих из шара, внутри которого имеется один или два коротких магнита, установленных определенным образом по отношению к его оси. На основании аналогии между подобными шарами и Землей можно, по-видимому, полагать, что магнитные силовые линии, исходящие из Земли, возвращаются в последнюю; но в своем кружном пути они могут уйти в пространство на расстояние многих земных диаметров, на десятки тысяч миль. Гг. Гей-Люссак (Gay-Lussac) и Био (Biot) при своем подъеме на воздушном шаре наблюдали некоторое ослабление интенсивности магнитной силы на высоте около четырех миль над поверхностью Земли, но мы в скором времени увидим, что они могли в это время находиться в области таких влияний, которых достаточно для объяснения асего этого явления, так что, быть может, ничто в нем не вызывается удалением от Земли как от магнита. Увеличение интенсивности магнитной силы по мере нашего продвижения от экватора к полюсам находится в согласии с мыслью об огромном протяжении этой силы.

2851. Эти линии проходят через пространство с известной легкостью, о степени которой можно составить себе представление на основании наших обычных знаний или же на основании опытов и наблюдений, сделанных раньше (2787). Существуют ли какие-либо обстоятельства, которые могут влиять на их прохождение через пустое пространство и таким образом вызывать изменения их свойств; могут ли изменения того, что называется температурой (небесного) пространства, если таковые происходят, изменять его способность передавать магнитное влияние, это — вопросы, на которые в настоящее время невозможно ответить, хотя последний из них, по-

видимому, не выходит полностью за пределы эксперимента.

2852. Это пространство образует огромную бездну, в которую попадают те силовые линии, о которых мы с помощью наших наблюдательных приборов можем установить, что они исходят из Земли, во всяком случае, во всех тех местах Земного шара, где имеется заметное наклонение. Но как бы то ни было, в промежутке между Землей и этим пространством располагается атмосфера. Как бы ни была значительна высота последней по нашей оценке, в действительности она чрезвычайно мала по сравнению с размерами Земли или с протяженностью расположенного за ней пространства, в которое входят силовые линии; поэтому представление, что она является чем-то изменчивым, активным, расположенным *между* двумя гораздо более протяженными и устойчивыми по своей природе и состоянию системами, не приведет к серьезной ошибке. На две этой-то атмосферы мы живем и производим наши изыскания, пользуясь наблюдением или опытом.

2853. Насколько нам в настоящее время известно, атмосфера состоит из четырех объемов азота и одного объема кислорода, или по весу из трех с половиной частей первого и одной части второго. Эти вещества перемешаны повсюду почти равномерно, так что, как земная оболочка, они в магнитном отношении ведут себя как единая среда. Земные магнитные силы, по-видимому, не стремятся отделить эти газы друг от друга,<sup>1</sup> хотя они поразительно различаются между собою своими свойствами, поскольку дело идет об этой силе.

2854. А з о т воздуха, по-видимому, не имеет ни парамагнитных, ни диамагнитных свойств. Если он и отклоняется от нуля в ту или другую сторону, то лишь в незначительной степени (2783, 2784). Как в более плотном, так и в разреженном состоянии, он, по-видимому, находится в одном и том же отношении к (пустому) пространству — в отношении равенства,

---

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 416.

несколько об этом можно судить при имеющихся средствах наблюдения. Что касается другой причины изменения, а именно температуры, то на основании прежних несовершенных опытов<sup>1</sup> я заключил, что азот становится более диамагнитным, когда он нагрет; но так как в то время он был смешан с кислородом воздуха и результаты говорят лишь об одновременном изменении обоих газов, то для настоящего исследования я повторил эти опыты с гораздо большей тщательностью.

2855. Небольшую катушку из платиновой проволоки, прикрепленную к концам более толстых медных проводов, можно было установить в любом положении между полюсами большого электромагнита; при накаливании с помощью гальванической батареи эта катушка служила для повышения температуры окружающего ее газа. Магнитные полюсы были приподняты; они заканчивались полушариями из мягкого железа с диаметром в 0.76 дюйма, находившимися друг от друга на расстоянии 0.2 дюйма. Они были покрыты стеклянным колпаком, который стоял на толстой плоской подставке из вулканизированного каучука. Через подставку была пропущена трубка, доходившая до верха колпака; через нее можно было ввести туда любой по желанию газ. Очень тонкую слюдяную пластинку размером около 3 квадратных дюймов я покрыл сверху слабым слоем воска и поместил под колпаком горизонтально над магнитными полюсами. Платиновую катушечку я установил таким образом, что она находилась ниже промежутка между полюсами и несколько в сторону от аксиальной линии, так что поднимающийся от нее ток горячего воздуха мог дойти до слюдяной пластинки и плавлением воска отметить место, где он достиг слюды.

2856. Все действовало чрезвычайно хорошо, когда в стеклянном колпаке находился воздух. Когда магнитная сила отсутствовала, то горячий воздух от накаленной катушки поднимался вертикально и расплавлял четко очерченный

<sup>1</sup> Там же, стр. 418.

круглый участок воска, отмечая таким образом место потока при естественных условиях. Но когда вводился в действие магнит, то воск на слюдяной пластинке не подвергался никаким изменениям: горячий воздух отбрасывался столь далеко от аксиальной линии и настолько охлаждался благодаря насильственному смещению его с окружающим воздухом, что он нигде не был в состоянии проплавить на воске пятно. Как только прекращалась магнитная свла, столб горячего воздуха тотчас же начинал подниматься вертикально и снова занимал свое первоначальное положение.

2857. После этого я пускал в стеклянный колпак углекислый газ — пускал до тех пор, пока через трубку (2855) его прошло больше, чем удвоенный объем колпака; но так как этот газ очень тяжел, а обыкновенный воздух мог выходить только у дна колпака, то в последнем без сомнения и смеси с углекислым газом был воздух, который во всяком случае оставался около полюсов. Когда после этого платиновая катушка накаливалась, то столб горячего газа стал подниматься, как раньше, вертикально. Когда вводилась в действие магнитная сила, он отклонялся от аксиальной линии, отходя в экваториальном направлении, и растопил воск на расстоянии около половины дюйма от прежнего места. Подозревая, что и это действие может производиться воздухом, примешанным к газу, я пустил в колпак и через него еще два объема углекислого газа. После этого магнитная сила стала производить гораздо меньшее отклонение поднимающегося столба. Я пропустил через колпак еще два объема углекислого газа, и тогда горячая струя газа стала подниматься столь близко к вертикали, что получалось только едва заметное различие в его положении, когда магнитная сила находилась в полном действии и когда она совершенно отсутствовала. Отсюда я заключаю, что диамагнитные свойства углекислого газа очень мало зависят от температуры, когда разность крайних температур такова, какая имеется между обычной температурой и температурой ярко-красного каления.

2858. Азот. Этот газ получался медленным пропусканием обыкновенного воздуха над горящим фосфором; после промывания в течение двенадцати или четырнадцати часов он пускался в колпак и должен был вытеснить оттуда углекислоту. Так как азот легче последней, то он очень хорошо справлялся с этой задачей, и оставшаяся в сосуде порция азота, вероятно, не содержала в себе кислорода или воздуха, помимо того, который азот принес с собой. Затем азот нагревался с помощью платиновой катушки; он оказался при этом почти столь же безразличным по отношению к магниту, как углекислота. Нагретый столб его поднимался к слюдяной пластинке (почти) в одном и том же месте как при действии магнитной силы, так и без нее. Когда магнит действовал, то столб слегка перемещался наружу, т. е. в экваториальном направлении, но я отпошу это за счет небольшого количества кислорода, которое еще оставалось в азоте. И, действительно, окись азота выявляет наличие кислорода в полученном указанным путем азоте. Платиновая катушка накаливалась до такой высокой температуры, какую она могла только выдержать не плавясь, и все-таки продолжало наблюдаться лишь указанное выше слабое действие. Отсюда я заключаю, что горячий азот диамагнитен не более, чем холодный, и что такое изменение температуры совершенно не влияет на его магнитные свойства.

2859. Я на один момент приподнял французский колпак (2855) на высоту в дюйм и тотчас же быстро опустил его обратно. Когда после этого я привел в действие магнит и накалил спираль, то получилось такое сильное действие от рассеяния газа в колпаке, что расплавленный след воска оказался смещенным в сторону почти на дюйм от обычного места, хотя при указанных выше обстоятельствах в сосуд могло проникнуть лишь очень небольшое количество воздуха или кислорода.

2860. Таким образом, азот воздуха является в отношении магнитной силы весьма индифферентным газом: он представляется ни парамагнитным, ни диамагнитным; он не обнаруживает никакого различия в свойствах — все равно, сжущен он или раз-

режен, находится при высокой или низкой температуре. Ранее я нашел, что диамагнитные металлы, будучи нагреты, не изменяют видимым образом своих магнитных свойств (2397), а теперь, по-видимому, так же дело обстоит с такими нейтральными или диамагнитными телами, как газы — азот и углекислота.

2861. Кислород воздуха в чрезвычайно сильной степени отличается от азота. Он очень сильно парамагнитен: при равном объеме он эквивалентен раствору железного купороса, содержащему, в виде кристаллической соли, семнадцатикратный вес кислорода (2794). Он становится менее парамагнитным при равном объеме (2780), когда его разрезают, и, по-видимому, в прямом отношении к степени разрежения, если температура его при этом остается неизменной. Если его температуру *повысить* и дать ему возможность расшириться,<sup>1</sup> то он теряет весьма значительную часть своей парамагнитной силы, а прежние результаты, полученные с воздухом,<sup>2</sup> дают достаточное основание полагать, что с понижением температуры его парамагнитные свойства усиливаются. Насколько может повыситься его парамагнитная сила при понижении его температуры до температуры замерзающей ртути, как это имеет место у северного или южного полюса Земли, этого мы в настоящее время сказать не можем. Хотя и будучи газом, он, по-видимому, сходен (в этом отношении) с твердыми металлами — железом, никелем и кобальтом, когда они находятся в пределах тех температур, которые влияют на их магнитные силы; как у последних, при охлаждении парамагнитная сила кислорода, может быть, возрастает в очень высокой степени.

2862. Эти свойства он сохраняет, будучи смешан в воздухе с азотом, пока его физическое и химическое состояние остаются неизменными; но бесполезно отметить, что всякое действие, при котором эта активная часть атмосферы изме-

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 417.

<sup>2</sup> Там же, стр. 406.

няется по своей природе, вступая в соединения, лишает ее парамагнитной силы, независимо от того, что получается в результате: твердое тело, жидкое или газообразное.

2863. Таким образом, атмосфера является, выражаясь просто, сильно магнитной средой. Воздух, стоящий над каждым квадратным футом поверхности Земли, эквивалентен по своей магнитной силе 8160 фунтам кристаллического протосульфата железа (2794, 2864). При всех изменениях плотности — как тех, которые отмечаются барометром, так и тех, которые зависят от того, светит или не светит Солнце — магнитные свойства этой среды изменяются. Далее, каждое изменение температуры, очевидно, вызывает свое изменение магнитной силы — в дополнение к тому изменению, которое вызывается просто объемным расширением или сжатием, и каждое из этих изменений обязательно влияет на магнитную силу, исходя от Земли, и вызывает на земной поверхности изменения как в интенсивности, так и в направлении этой силы. Происходят ли эти изменения в надлежащем направлении и достаточна ли их величина, чтобы в них можно было найти причину вариаций земной магнитной силы, это — вопрос, который подлежит сейчас рассмотрению; для его пояснения я попытаюсь вообразить типичный пример и затем применю его, как смогу, к явлениям, имеющим место в природе.

2864. Предположим, что имеется два шара воздуха, отличающиеся от окружающей атмосферы температурой или плотностью. Для нашего примера это предположение не будет слишком странным, поскольку Прут (Prout) показал, что существуют большие или меньшие массы воздуха, которые плавают в атмосфере и заметно отличаются от окружающих ее частей температурой и другими свойствами. Для того чтобы не усложнять изложения, мы оставим в настоящее время без внимания разрежение воздуха с высотой и примем, что один из этих шаров более холоден и более плотен, чем окружающие массы; мы предположим, что пространство, в котором он находится, при отсутствии шара представляло бы собою

поле равной магнитной силы, т. е. поле, через которое проходят параллельные силовые линии равной интенсивности.

2865. Воздух такого шара будет *облегчать* прохождение магнитной силы через занимаемое им пространство (2807), создавая для него преимущество в этом отношении перед окружающей атмосферой или пространством, вследствие чего через шар будет проходить больше магнитных силовых линий, чем в других местах (2809). Эти линии по отношению к линии наклона в данном месте будут распределены как-то вроде того, что представлено на рис. 203 (2872), и, следовательно, шар окажется поляризованным как проводник (2821, 2822) парамагнитного класса. Следовательно, интенсивность магнитной силы и ее направление изменяются не только внутри шара, но и вне его, причем эти два изменения будут происходить в противоположных направлениях, сообразно точно действующим и известным законам.

2866. Прежде всего остановимся на *интенсивности*, которая перед этим была однородной (2864). Как нами принимается, интенсивность выражает количество силы, проходящей через данное место; а так как каждому сечению, например, сечению *aa*, данного количества магнитных силовых линий (2809) соответствует определенное количество силы, то сгущение этих линий по направлению к середине *P* вызовет повышение интенсивности в этом месте и уменьшение ее в некоторых других местах, например в *bb*, где влияние силы частью уничтожено. Следовательно, если допустить, что в *a* существует нормальное состояние, то, перемещая какой-нибудь измеритель интенсивности из *a* в *P*, мы будем последовательно переносить его в пункты *b* и *c*, где интенсивность меньше нормальной, и эти пункты могут находиться вне или внутри шара *P* или одновременно здесь и там (в соответствии с его температурой по сравнению с окружающим воздухом, с его величиной и другими обстоятельствами); затем он дойдет до мест, где интенсивность нормальна и, наконец, до мест, где интенсивность больше, чем в окружающем пространстве. По выходе его отсюда на

противоположную сторону от  $P$  соответствующие изменения будут протекать в обратном порядке.

2867. Если измеритель интенсивности перенести вверх по направлению наклона, исходя из  $e$ , где интенсивность можно считать нормальной, то он будет последовательно занимать положения в  $f$ ,  $g$  и т. д., в которых интенсивность будет нарастать, пока дойдет до  $P$ , после чего в местах, в которых он будет проходить, интенсивность будет все меньше и меньше; наконец, в  $p$  он снова найдет силу в нормальном состоянии. Если измеритель интенсивности перенести вверх не вдоль *линии наклона*, то он, конечно, пройдет через изменения, подобные тем, какие были описаны на линии  $aP$ , причем последние будут все более возрастать по своей величине до тех пор, пока направление движения измерителя не совпадет с линией  $aP$ , перпендикулярной к наклону, где изменения достигнут максимума. Следовательно, пройти вверх через подобный шар холодного воздуха в наших широтах, где наклонение составляет около  $70^\circ$ , и пройти через него на экваторе, где оно равно  $0^\circ$ , это — совершенно различные вещи; необходимые и естественные следствия такого различия будут выявлены в дальнейшем.

2868. Однако магнитная стрелка или магнитный стержень плохо подходит для таких измерений интенсивности, т. е. они не укажут этих различий и могут дать даже противоположные указания. Для того чтобы это понять, следует принять во внимание, что магнитная стрелка колеблется благодаря тому, что вследствие своих магнитных свойств и полярности она вбирает в себя известное количество силовых линий, которые в противном случае проходили бы через окружающее ее пространство; и если предположить, что она сама не претерпевает никакого изменения при изменении температуры, то при всех прочих равных условиях она будет подвергаться влиянию соразмерно любым изменениям интенсивности этих линий. Но в естественных условиях она окружена атмосферой, представляющей собой среду, магнитные свойства которой могут изме-

няться как от теплоты, так и от разрежения; при этих изменениях атмосфера влияет на интенсивность или на количество силы, а потому при изменении этих состояний показания стрелки тоже будет изменяться. Так, например, если бы она находилась в большом шаре кислорода, то я ожидал бы, что числом своих колебаний или как-либо иначе она указала бы на наличие определенной интенсивности; если бы кислород расширился, то она показала бы большую интенсивность, хотя через кислород проходило бы такое же количество силовых линий и магнитной энергии, как и раньше. Если бы кислород сгустился и при этом его проводимость стала лучше, то, я думаю, он стал бы пропускать через себя *больше* линий, а магнит — *меньше*, так как сила отчасти перешла бы от неизменявшегося магнита к улучшившемуся вокруг него проводнику.

2869. Эти опыты едва ли можно проивести с кислородом, разве только с помощью крайне чувствительных приборов, но подобные явления легко показать экспериментально на особо подобранных аналогичных примерах. Так, например, наполним небольшую тонкую трубку из флинтгласа, длиною около дюйма, с диаметром в  $\frac{1}{2}$  дюйма, насыщенным раствором протосульфата железа и подвесим ее горизонтально на коконовой нити (2279) между полюсами электромагнита в сосуде, в котором может находиться воздух или вода, или еще иные среды (2406). В воздухе трубка займет аксиальное направление; она будет тогда подобна стрелке, когда она находится под влиянием Земли, и будет стоять в определенном направлении с известной силой. Если сосуд наполнить водою, то эта сила, при том же определенном направлении, будет больше, чем раньше, хотя вода, как проводник магнетизма, хуже, чем находившийся там раньше воздух. Именно потому, что вода является более плохим проводником, сила, которую показывает теперь жидкий магнит или измерительный прибор, больше. Повысим проводящую способность окружающей среды, для чего прибавим к ней сульфат железа; тогда трубка будет показывать уменьшение силы; при этом сначала она вернется

к той степени силы, какой она обладала в воздухе, а затем последняя станет опускаться еще ниже, и если выводить ее из аксиального направления, то сила, с которой она будет к нему возвращаться, будет все меньше и меньше. Таким образом, когда магнитной стрелкой пользуются для измерения интенсивности или магнитной силы (ибо сейчас оба эти выражения понимают в одном и том же смысле), она указывает, в известном смысле, силу, сосредоточенную в ней самой; как я полагаю, она это делает точно, если только состояние окружающей среды остается в магнитном отношении неизменным. Но если поместить ее в различных средах или в изменяющейся среде, то, как я думаю, она не будет точно измерять интенсивности в этих средах, т. е. она не будет прямо измерять относительное количество проходящей через них силы. В воздухе различие при изменении условий будет весьма незначительно; но именно это и есть то различие, которое интересует нас в *атмосферном магнетизме*, и когда магнит указывает на увеличение интенсивности силы, то очень важно знать, чем это увеличение вызывается: исключительно действительным увеличением количества силы в ее источнике — в Земле, откуда она к нам приходит, или же оно отчасти объясняется изменением магнитных свойств пространства, окружающего магнит, свойств, остающихся для нас до сих пор неизвестными.

2870. Мы легче разберемся в этом вопросе, если в том, что теперь мы зачастую безразлично называем магнитной силой или интенсивностью, мы будем различать две стороны, а именно *количество* и *напряжение*. В настоящее время мы пользуемся показаниями магнитной стрелки как данными вообще о магнитной силе, не делая этого различия; тем не менее они часто действуют на нее в противоположных направлениях. В самом деле, когда они оба увеличиваются или уменьшаются, то они действуют на магнитную стрелку одинаково; но так как принимается, что напряжение может измениться в то время, как количество остается неизменным, и что количество может

претерпеть изменение, а напряжение останется при этом прежним, то показание магнитной стрелки становится ненадежным. Когда напряжение в данном месте увеличится благодаря уменьшению проводящей способности, то магнитная стрелка покажет *увеличение силы*; когда оно увеличится благодаря увеличению магнитной силы в Земле, производимому некоторым внутренним действием, то стрелка опять-таки покажет *увеличение силы*: она не будет отличать одного явления от другого. Если в каком-либо месте количество силы увеличится благодаря увеличению проводящей способности, то стрелка не покажет этого увеличения; наоборот, она покажет *уменьшение силы*, так как напряжение уменьшилось; а если количество уменьшится благодаря уменьшению проводящей способности, то она покажет *увеличение силы*. Сила может даже потерять в количестве и выиграть в напряжении в таких взаимных отношениях, что стрелка не покажет никакого изменения; она может также выиграть в количестве и потерять в напряжении, а стрелка все же останется совершенно индифферентной к общему результату.

2871. Если моя точка зрения правильна, то мера магнитной силы Земли, которую дает магнит в том виде, как им пользуются в настоящее время, не совершенна; сила может не измениться, а магнит под влиянием различных условий дня и ночи, или лета и зимы, может показать различие. В какой мере эта ненадежность показаний магнита может влиять на цепность наблюдений над горизонтальной и вертикальной составляющими магнитной силы Земли, если эти наблюдения должны показать именно то, что мы ожидаем от них получить, этого я не знаю. Но поскольку получаемые показания в действительности отражают два совершенно различных обстоятельства, а именно изменение проводящей способности и именно воличины силы в источнике ее возникновения, из которых одно имеет место главным образом в атмосфере, а другое в Земле, то мне представляется, что для развития теории земного магнетизма было бы очень важно иметь, если это

возможно, такой метод, который позволил бы отличать друг от друга указанные два момента или влияния.

2872. Обратимся вновь к шаровой модели на рис. 203; мне кажется, что если пользоваться магнитом в качестве указателя интенсивности, то в  $P$  он будет показывать скорее слишком малую, а не слишком большую интенсивность; дело в том, что проводящая способность всего шара повысилась; я полагаю

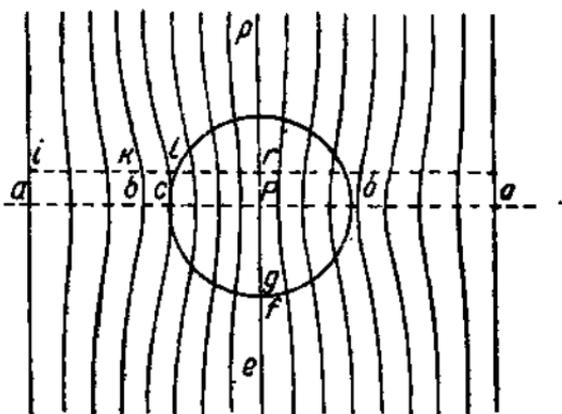


Рис. 203.

гаю также, что кажущееся уменьшение интенсивности здесь будет, вероятно, больше, чем в любом другом месте, но все же это явление будет наблюдаться и в других местах, в особенности в местах, расположенных справа и слева, и даже в  $b$  и  $c$ , где пропускаемая сила не больше (как и  $P$ ), а фактически меньше той порции, какая пропускается при нормальном или невозможном состоянии магнитного поля. Когда мы имеем дело с диамагнитным шаром воздуха, т. е. когда воздух в шаре теплее или более разрежен, чем в окружающем пространстве (2877), то этот шар, будучи более плохим проводником, пропускает меньше силы; однако магнит будет устанавливаться с большей силой, и таким образом показания магнита будут

говорить об увеличении интенсивности и притом как внутри шара, так и в экваториальном направлении вне последнего.

2873. Если верно, что изменения среды (2869) могут указанным образом влиять на магнит и что такие изменения могут в газах достигать заметной величины, то количество колебаний, которое магнит мог бы совершать в данный промежуток времени, находясь в кислороде и в азоте одинаковой плотности, будет различно, так как эти газы весьма отличаются друг от друга по своим магнитным свойствам; число колебаний в азоте было бы больше. Возможно, что тонкие крутильные весы оказались бы еще более чувствительным прибором для таких опытов; но, вероятно, объем вокруг магнитной стрелки должен быть велик; сверх того следовало бы установить, что обе эти среды оказывают колеблющейся стрелке одинаковое механическое сопротивление.

2874. Изменение *направления*, вызываемое шаром-моделью (2864), может быть наклонено к горизонтальной и вертикальной плоскости и, следовательно, давать явления склонения и наклона каждого в отдельности или того и другого вместе. На центральной линии, параллельной общему направлению в окружающем пространстве (рис. 203), направление не должно измениться. На другой центральной линии, перпендикулярной к вышеупомянутой (т. е. на какой-нибудь линии в экваториальной плоскости)  $a'$ , точно так же не должно происходить изменения направления, но во всех других направлениях изменения должны происходить. Так, например, при перемещении свободной магнитной стрелки по линии  $ig$  на  $i$  в  $k$  ее нижний конец будет отклониться внутрь по направлению к центральной линии наклона  $p$ . Это явление, достигнув своего максимума (где-нибудь у  $l$ ), будет затем постепенно вновь уменьшаться, и в тот момент, когда стрелка дойдет до  $r$ , наклонение станет нормальным. Соответствующие явления будут иметь место на противоположной стороне от аксиальной линии  $pe$ . Если представить себе, что стрелка находится в каком-нибудь месте, где ее наклонение подверглось указанному выше изменению,

и ватем предположить, что она перемещается по окружности около аксиальной линии  $pe$ , то она все время будет лежать на поверхности конуса, вершина которого обращена вниз.

2875. Если, с другой стороны, рассмотреть изменения наклонения ниже экваториальной плоскости  $aP$ , то они окажутся такими же по величине, но будут направлены в противоположную сторону, так что у магнитной стрелки, выведенной из своего нормального положения, верхний конец отклонится внутрь по направлению к аксиальной линии  $pe$ ; а если ее перемещать вокруг аксиальной линии, то она все время будет оставаться на конической поверхности, вершина которой будет направлена вверх.

2876. Именно таким образом наклонение будет изменяться в таком шаре с воздухом в каждом азимуте; оно будет изменяться в противоположных направлениях в верхней и нижней части шара, а также в окружающем пространстве, которого коснется его действие.

2877. Представим другую шаровую модель (рис. 204), и пусть воздух (2864) в ней имеет более высокую температуру, чем окружающая его атмосфера; тогда он будет иметь свойства диамагнитного проводника, как это изображено на рис. 205 (2807). Он будет обладать способностью влиять на интенсивность и на направление силовых линий так же, как действовал предыдущий шар, но в обратном порядке. В известной мере действие таких шаров на направление силовых линий внутри них и возле них, а значит, на магнитную стрелку, попадающую под их влияние, можно изобразить с помощью магнита, помещенного либо в направлении стрелки (для холодного шара), либо в противоположном направлении (для теплого шара). Но силовые линии всей системы: Земля и такой магнит — сильно отличаются по своему расположению от силовых линий

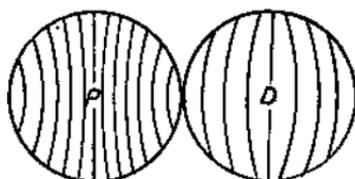


Рис. 204. Рис. 205.

Земли, когда на них влияют массы теплого и холодного воздуха, полярность которых связана только с проводимостью (2820); потому было бы неосторожно утверждать, что они вполне им соответствуют и что влияния на интенсивность и на направление будут тождественны при одинаковом расстоянии от центра шара с воздухом и от представляющего его магнита.

2878. Эти гипотетические и сравнительно простые примеры были приведены лишь для того, чтобы от результатов опыта направить нашу мысль на предполагаемое состояние вещей в отношении нашей атмосферы и Земли; если теперь попытаться пойти дальше, то мы должны принять во внимание, что хотя известные действия будут происходить, интенсивность и направление магнитной силы на поверхности Земли при изменении температуры и плотности атмосферы будут меняться, однако эти изменения будут весьма сильно отличаться от тех, которые мы изучали на модели в виде шара с воздухом; ибо последний является особым случаем, который вряд ли когда может осуществиться, хотя разнообразие случаев, происходящих в природе, почти бесконечно. Тем не менее такое сравнение принципиально сохраняет свой смысл, и мы можем ожидать, что когда Солнце покидает нас на западе, то получается некоторое действие, соответствующее тому, какое получилось бы при приближении с востока массы холодного воздуха; это действие нарастает и затем уменьшается, а за ним следует другой ряд действий, когда Солнце вновь восходит и приносит с собою теплый воздух.

2879. Плотность атмосферы по направлению вверх уменьшается, и это уменьшение влияет на прохождение магнитной силы, но поскольку оно является постоянным, вызываемое им действие является точно так же постоянным. Часть атмосферы, на которую распространяется нагревательное действие Солнца, по сравнению с ее толщиной, напоминает скорее воздушную плоскость, облегающую Землю, чем шар. Тем не менее как над этим слоем, так и под ним происходит искривление силовых

линий, и оно простирается как вверх в пустое пространство, так и вниз в Землю (2848), в соответствии с известным влиянием магнитной силы и вполне определенным ее характером (2809). Мы находимся на дне этого слоя воздуха, но так как здесь атмосфера плотнее, чем на высоте, и так как здесь она во многих случаях находится под более сильным влиянием температурных изменений, то в месте, в котором мы находимся, искривления и колебания, вызываемые нашими гипотетическими причинами, вероятно, достигают значительной степени.

2880. Существует бесчисленное множество обстоятельств, которые в большей или меньшей степени нарушают общее или среднее распределение температуры воздуха. Так, например, чередование моря и суши вызывает колебания температуры, которые оказываются неодинаковыми в различные времена года; о раамере этих колебаний можно судить по превосходным картам изотерм Дова (Dove), которые, к счастью, теперь можно иметь в нашей стране.<sup>1</sup> Можно думать, что эти колебания вызывают не только различия в правильности, направлении и величине магнитных колебаний, но, в силу своей близости, и столь большие различия, что часто они могут превышать среднюю вариацию за данный короткий период времени; они могут причинять также неправильности в момент их наступления.

2881. Когда я думаю о вероятных результатах магнитного действия атмосферы, то мне представляется, что если бы земную магнитную силу можно было освободить от всех периодических и малых возмущений и установить ее распределение на данное время вперед, то она все-таки включала бы в себе некоторые также явления, которые представляют собой действие атмосферного магнетизма. Так, например, на данной площади Земли в широтах, лежащих между  $24^{\circ}$  и  $34^{\circ}$ , имеется больше по весу воздуха, чем в каком-либо другом месте на больших широтах или на экваторе, и это должно вызвать отличие от того распределения силовых линий, какое имело бы

<sup>1</sup> Report of the British Association, 1848, стр. 85.

место, если бы в указанном отношении существовало равенство или если бы не было атмосферы. Далее, в экваториальных частях Земли температура воздуха выше, чем на широтах, расположенных к северу или к югу от них; а так как повышение температуры понижает проводимость по отношению к магнетизму, то доля силы, проходящая через указанные места, должна быть меньше, а доля силы, проходящая через более холодные места, должна быть больше, чем она была бы, если бы температура воздуха достигала одной и той же средней величины на всей поверхности земного шара или если бы атмосферы не существовало. Далее, на экваторе при подъеме вверх наблюдается большая разность температуры воздуха, чем в других местах; вследствие этого здесь нижняя часть атмосферы является не столь хорошим проводником по сравнению с ее верхней частью или с пустым пространством, как в других местах, где эта разность не столь велика. Следовательно, здесь магнитная сила должна в известной мере ослабляться, и силовые линии, в соответствии с изложенными ранее принципами (2808, 2821, 2877), должны в большей или меньшей мере отклониться от теплого воздуха и перейти в другие места, как напр. холодная атмосфера и пустое пространство наверху или Земля вниз.

2882. По магнитному строению и свойствам атмосферы можно, как мне кажется, ожидать, что *годовая вариация* будет иметь следующий вид. Допустим, что ось вращения Земли перпендикулярна к плоскости ее орбиты около Солнца, и отвлечемся на время от других причин магнитной вариации, кроме тех, которые зависят от атмосферы; тогда в обоих полушариях Земли и частях покрывающего их воздуха влияние Солнца и нагревание были бы одинаковы, или во всяком случае они пришли бы в некоторое постоянное относительное состояние, которое зависело бы от распределения суши и воды; а линии магнитной силы, расположившись определенным образом под влиянием больших преобладающих сил, в чем бы последние ни заключа-

лись, не изменялись бы благодаря каким-либо годовым изменениям, вызываемым атмосферой, поскольку суточная средняя атмосферного действия в данном месте была бы в течение всех времен года одинакова. При таких обстоятельствах можно было бы интенсивность и направление магнитных сил считать постоянными — при условии, что не происходило бы никаких заметных изменений благодаря различию расстояния от Солнца в различных частях орбиты; что же касается обоих магнитных полушарий, то каждое из них было бы эквивалентно и равно другому, и их можно было бы в это время считать находящимися в среднем или нормальном состоянии.

2883. Но так как ось вращения земли наклонена на  $23^{\circ}28'$  к плоскости эклиптики, то оба полушария будут попеременно становиться одно теплее или холоднее другого, и это может вызывать изменение магнитных свойств. Воздух охладившегося полушария будет проводить магнитное действие лучше, чем если бы он находился в среднем состоянии, и количество проходящих через него силовых линий увеличится; в то же время в другом полушарии более теплый воздух будет проводить хуже, чем прежде, и интенсивность здесь уменьшится. В дополнение к указанному действию температуры здесь должно иметь место и другое действие, зависящее от увеличения весов доли воздуха в охладившемся полушарии, вследствие его сжатия здесь и одновременного расширения воздуха в более теплой половине: оба эти обстоятельства стремятся усилить отклонение силы в двух полушариях от нормального состояния силы. Таким образом, когда Земля проходит свой годичный путь, то полушарие, которое когда-то было более холодным, становится более теплым, и следовательно, его магнитная интенсивность становится настолько ниже средней, насколько раньше она была выше ее; в то же время в другом полушарии магнитное состояние изменяется от менее интенсивного к более интенсивному.

2884. Сумма магнитных сил, исходящих из Земли в каком-либо месте, где существует накопление, по одну сторону от

магнитного экватора, должна соответствовать сумме тех же сил по другую сторону от него (2809), и если эти силы станут более интенсивными на одном полушарии и более слабыми на другом, обязательно должно произойти соответствующее сжатие их на одной стороне и расширение на другой. Можно поэтому ожидать, что линия, на которой наклонение равно нулю, ежегодно передвигается попеременно к северу и к югу или что происходит какой-либо другой эквивалентный процесс. Мы можем себе представить состояние обоих полушарий с указанной точки зрения, если допустим существование некоторого колебательного перехода силы из одного полушария в другое, в течение которого характер и общее распределение этой силы остаются неизменными, но во время нашей зимы происходит концентрация и усиление ее интенсивности на севере и соответствующее рассеяние и ослабление интенсивности на юге; летом имеет место обратное явление.

2885. Можно предвидеть также изменения в отношении *направления*. Прежде всего, если допустить, что магнитные полюсы совпадают с полюсами Земли, то в охлаждающемся полушарии наклонение должно расти по направлению к средним и полярным областям этого полушария, но должно падать по направлению к магнитному экватору, что необходимо для соответствия (всей картины) со сжатием полушария большей силы и расширением полушария меньшей силы. С другой стороны, в нагреваемом полушарии наклонение должно уменьшаться в полярных и в средних его областях и увеличиваться по направлению к магнитному экватору. Магнитный экватор должен в течение каждого года перемещаться немного на север и на юг от среднего своего положения вместе со всей системой магнитных линий. Но так как магнитные полюсы не совпадают с полюсами Земли или с тем, что можно было бы назвать полюсами изменения температуры, то отсюда возникает некоторое изменение направления.

2886. Далее, возможно, что при охлаждении кислорода его парамагнитные свойства увеличиваются быстрее, чем изме-

няется температура, так что главное изменение в распределении силы земного магнетизма будет происходить в крайних северных и южных областях земли; в сочетании с задерживающим свойством Земли (2907) это может даже вызвать изменение, обратное тому, какое ожидалось ранее в более низких широтах. Если бы в течение нашей зимы силовые линии сходились в полярных областях и расходились в более низких широтах, то равновесие магнитной силы поддерживалось бы столь же хорошо, как если бы *все* силовые линии в нашем полушарии сжались и усилились и компенсировались бы соответствующим изменением на юге. В первом случае каждое полушарие приводило бы в равновесие собственные свои силы, в последнем случае они взаимно уравнивали бы друг друга. Не может быть, полагаю, сомнения в том, что, поскольку масса Земли и (пустое) пространство над нашей атмосферой остаются неизменными при годовой и суточной вариации, поскольку они стремятся ограничить каждое изменение, которое может зависеть только от изменения температуры состояния воздуха; они как бы ставят вариациям пределы по обе стороны — и при повышении и при понижении интенсивности, а при вариации направления — и справа и слева, более тесные пределы, чем это было бы при иных условиях.

2887. Далее, если предположить, что при изменении температуры все полушарие в целом *сразу подвергается влиянию* в одном и том же направлении, то все же это влияние в *различных широтах не тождественно, а различно*, так как величина указанного изменения в последних неодинакова.

2888. Различие между сушей и водой (2880) еще больше нарушает ожидаемое единообразие общего результата и приводит к тому, что в известных областях охлаждающегося полушария сила увеличивается в большей пропорции, чем в других областях, а когда эти обе части расположены на противоположных сторонах от магнитного меридиана какого-либо места, то они, вероятно, могут вызывать изменение склонения магнитной стрелки в этом месте.

2889. Так как на экваторе годовые изменения меньше, чем в тех областях Земли, которые расположены севернее или южнее его, то здесь, вероятно, имеет место лишь небольшая годовая вариация или же ее нет вовсе; совсем нет, конечно, вариации, связанной с изменением температуры воздуха или с его расширением, а есть лишь та часть ее, которая вызывается чередующимися изменениями в частях Земли, расположенных по обе стороны от экватора (2884).

2890. Можно ожидать другого явления, которое можно рассматривать как годовую вариацию, но которое связано с суточным изменением. Так как величина суточных изменений температуры атмосферы в данном месте, в средних северных и южных широтах, бывает летом больше, чем зимой, то можно ожидать, что так изменяются и соответствующие магнитные вариации, и что в северном полушарии они бывают больше, когда солнце находится на северной стороне экватора, и меньше, когда оно находится в южном полушарии и вызывает здесь соответствующие изменения.

2891. Из очень важного исследования полковника Сэббейна,<sup>1</sup> основанного на результатах наблюдения в Торонто и Гобартоне, следует, по-видимому, тот факт, что в обоих полушариях магнитная интенсивность бывает больше в течение тех месяцев, которые в северном полушарии приходятся на зиму, а в южном полушарии на лето. Было бы чрезвычайно желательно произвести аналогичные наблюдения в других местах: они выяснили бы, не имеет ли какое-нибудь отношение к данному вопросу различное распределение суши и моря, или же результаты наблюдения в Торонто и Гобартоне являются правильными показателями влияния полушарий. Если допустить, что Торонто и Гобартон являются такими показателями, то в обоих полушариях наклонение больше (т. е. в Торонто больше северное, а в Гобартоне больше южное) в тече-

<sup>1</sup> On the means adopted for determining the Absolute Values, Secular Change, and Annual Variation of the Magnetic Force, *Philosophical Transactions*, 1850, стр. 201.

ние тех месяцев, которые являются в северном полушарии зимними, а в южном полушарии — летними. Было бы очень важно выяснить, существует ли какая-нибудь *годовая* вариация наклона или полной магнитной силы в экваториальных областях земного шара. Стоило бы специально для этой цели устроить наблюдательную станцию. Необходимые для этого приборы очень просты, и наблюдения требовали бы лишь одного наблюдателя. Эти наблюдения описаны в упомянутой выше работе. К несчастью, подобных наблюдений в Великобритании даже не производили.

2892. Выше было в общем указано, каким образом действие Солнца на нашу атмосферу может производить суточную вариацию или оказать на нее влияние, когда Земля вращается в его лучах. Вся часть атмосферы, обращенная к Солнцу, получает способность преломлять проходящие через нее магнитные силовые линии, а вся часть ее, покрывающая менее освещенное полушарие, приходит в столь же измененное, но в противоположном направлении состояние по сравнению к среднему состоянию воздуха. Получается так, как будто бы Земля была заключена между двумя огромными магнитными липзами, которые способны влиять на направление проходящих через них силовых линий.

2893. Я уже говорил, что действие атмосферы, подвергающейся такому влиянию, можно до некоторой степени сравнить, в ночное время, с действием некоторого огромного, рассеянного и очень слабого обыкновенного магнита; этот магнит занимает то положение, какое он должен был бы естественно занять соответственно линии наклона, перемещается над ним с востока на запад и включает нас в течение этого времени в сферу своего влияния. В дневное время это действие подобно влиянию такого же перемещения, но не магнита, повернутого в противоположную сторону, а соответствующего шара диамагнитного вещества (2821). Если допустить, что максимум тепла и холода приходится на полдень и полночь, то мы можем ожи-

дать, что максимальные влияния будут иметь место также примерно в эти периоды, поскольку это относится к изменениям интенсивности (2824, 2866), ибо при прочих равных условиях именно в центральных участках нагретых и охлажденных масс различные интенсивности должно быть наибольшим.

2894. Можно было бы ожидать, что это изменение *интенсивности* окажется наибольшим в той части земного шара, над которой Солнце проходит отвесно или почти отвесно; однако это может зависеть по меньшей мере от двух обстоятельств: во-первых, от того, будет ли в данном месте разность между дневной и ночной температурой больше, чем в других местах, ибо величина изменения может зависеть частью от этой разности, а затем от того, будет ли величина ожидаемого действия одинакова в любой части шкалы (2886) при одной и той же разности (в градусах) температуры. Если в результате будущих экспериментальных измерений (2960) будет установлено, что проводимость кислорода (2800) при более низкой температуре увеличивается при понижении на данное число градусов в большей пропорции, чем при более высокой [учитывая здесь и явление сжатия при этом понижении (2861)], тогда возможно, что влияние, которое испытают места, отстоящие от Солнца более далеко, будет больше, чем влияние на места, находящиеся под ним; а при обратном отношении влияния, которое они испытают, будет меньше, чем этого можно было бы ожидать при других обстоятельствах.

2895. Что касается суточных вариаций, то выше (2879) были указаны те принципиальные изменения, которых можно ожидать в *направлении* магнитных силовых линий Земли, или в *наклонении* и *склонении* магнитной стрелки. Мне остается сравнить эти ожидания с небольшим числом простых случаев наблюдения и сделать это в таком виде, чтобы отсюда можно было бы усмотреть следующее: тождественны ли два *направления* действия: то, которое вытекает из теории, и то, которое наблюдается в действительности; и далее: насколько пригодно, что рассматриваемое явление отнесено к под-

линной своей причине. Для этой цели я ограничусь сейчас исключительно одной стороной суточной вариации, а именно, влиянием Солнца и воздуха, когда светило подходит к меридиану и переходит через последний.

2896. Я воспользуюсь для этой цели последним томом, являющимся плодом глубокого ума и исключительного трудолюбия полковника Сэбайна;<sup>1</sup> я возьму случай Гобартона. Обсерватория расположена здесь на  $42^{\circ}52'.5$  южной широты и  $147^{\circ}25'.5$  восточной долготы от Гринвича. Абсолютное склонение составляет  $9^{\circ}60'.8$  на восток, а наклонению —  $70^{\circ}39'$  на юг. Для того, чтобы иметь в одном месте положение Солнца и время максимума и минимума температур, я перенес среднюю температуру за январь (лето) за семь лет (1841—1848) и среднюю температуру за июнь (зима) за тот же период, соответствующие каждому часу дня и ночи, со страниц тт. XXXIV и CVIII на рис. 206, табл. I, где средний ряд чисел дает часы, ближайшая под ним внизу линия представляет собою основную линию температуры в  $30^{\circ}$  Фаренгейта, а расположенные еще ниже две линии дают среднюю часовую температуру летом и зимой. Короткие линии указывают вообще направление магнитной стрелки к востоку или к западу от среднего ее положения, причем верхний их конец является, конечно, северным. Положения около полудня показаны с помощью сплошных линий, так как эти положения понадобятся нам ближайшим образом в качестве иллюстрации.

2897. Северный конец магнитной стрелки в Гобартоне отклоняется дальше всего на восток в 2 ч. и дальше всего на запад — около 21 ч. Находясь в крайнем западном положении в указанное время, он затем проходит всю шкалу вариаций, т. е. доходит до крайнего восточного положения, за пять часов, т. е. к 2 ч., а после этого остальные девятнадцать часов требуются ему для того, чтобы вернуться к крайнему западному положению. Максимумы восточного и запад-

<sup>1</sup> *Magnetical and Meteorological Observations, Hobarton, I, 1850.*

ного склонения приходится на 2 ч. и 21 ч. летом и на 3 ч. и 22 ч. зимою. Вертикальные положения показывают, в какие часы склонение было равно 0, и они соответствуют нулю Сэбайна. От 21 до 2 ч. стрелка переходит от одного крайнего положения своей вариации до другого, причем северный или верхний конец в направлении, обратном Солнцу, так что этот конец стрелки и Солнце вместе пересекают меридиан в противоположных направлениях примерно около полуночи или немного раньше этого. Около 2 ч. стрелка останавливается, а затем обращается на запад, следуя за Солнцем. Будет уместно отметить, что северный конец стрелки, движения которого были только что описаны, является тем концом, который обращен к экватору, а также верхним концом стрелки наклонения в Гобартоне. Эта особенность в дальнейшем приобретет еще большее значение.

2898. Таким образом, в то время, когда есть Солнце, причина, действующая на стрелку, оказывается более мощной и более сконцентрированной, чем когда оно отсутствует. Здесь имеется соответствие между моментом действия и моментом, когда Солнце может оказать наибольшее влияние на те магнитные состояния атмосферы, которые согласно настоящему предположению обуславливают это действие.

2899. При рассмотрении рис. 206 можно увидеть, что время максимальной температуры не совпадает с тем временем, когда Солнце находится в меридиане, но наступает как летом, так и зимой на два часа позже. Но когда мы говорим о температуре и ее влиянии на магнитное состояние воздуха, а через него — на магнитную стрелку, то, как мы предполагаем, на стрелку влияет не температура данного места, а температура огромных масс воздуха над ним, равно как и под ним; о ней температура в данном пункте (впрочем, она все же может представлять некоторую важность, если мы сумеем надлежащим образом истолковать ее) дает нам лишь очень слабое представление, а то и никакого. Тем не менее существует несколько моментов, к которым температура имеет более прямое отноше-

ние. Так, величина вариации температуры бывает летом вдвое больше, чем зимою, а величина вариации склонения возрастает в той же пропорции (2890). Температурный минимум наступает зимою позднее, чем летом; равным образом и крайнее западное склонение магнитной стрелки в этот же период наступает позднее.

2900. Изменение *направления магнитных линий Земли* мы познаем путем наблюдений в двух плоскостях: во-первых, в горизонтальной плоскости, в которой наблюдается положение к востоку или западу, дающее склонение; во-вторых, в вертикальной плоскости, проходящей через линию среднего склонения; в этой плоскости наблюдают наклонение. Направление силовой линии, отнесенное к этой плоскости, может изменяться таким образом, что наклонение будет увеличиваться или уменьшаться; в некоторых местах оно увеличивается в тот самый час по местному времени, когда в других местах оно уменьшается. Так, оно увеличивается в Гринвиче в то время, как на Св. Елене, лежащей почти на том же меридиане, оно уменьшается. В Гобартоне оно быстро изменится при крайних отклонениях на восток и на запад, т. е. около 2 ч. и 21 ч. С полудня примерно до 3 ч. оно убывает, затем летом сохраняет наибольшее свое отклонение до 18 или 19 ч., а с этого времени начинает увеличиваться примерно до 22 ч. и остается почти на максимуме до полудня. Отсюда понятно, что наклонение вообще бывает наибольшим в то время, когда северный конец магнитной стрелки между 21 и 2 ч. дня быстро перемещается с запада на восток, и наименьшим — в течение остальной, т. е. более продолжительной части ее пути. Хотя изложенный здесь порядок отчасти нарушается явлениями, происходящими ночью (они будут рассмотрены ниже), тем не менее он всегда наблюдается, как общее правило.

2901. Все это можно грубо представить с помощью рис. 207 (2909), на котором *EW* — путь Солнца во время суточного его пробега между тропиками в 21 час, в 22 часа и т. д., а *e* изображает путь, описываемый северным, или верхним концом

магнитной стрелки, свободно подвешенной в Гобартоне и показывающей, таким образом, как склонение, так и наклонение, т. е. все направление. Если смотреть сверху на такую магнитную стрелку, то верхний конец ее опишет путь, показанный стрелкой, а ее положение в каждый данный час в достаточной мере дается пунктирными линиями.

2902. Эта связь между движением магнитной стрелки и движением Солнца была известна уже давно; она имеет большое значение для моей гипотезы о физической причине этих изме-

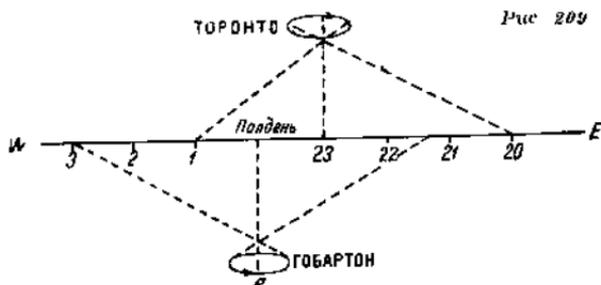


Рис. 209

Рис. 207.

нений. По отношению к рассматриваемой мною части действия дело обстоит таким образом, как если бы магнитный полюс той же природы, что и верхний конец Гобартонской магнитной стрелки, взшел вместе с Солнцем и прежде всего отогнал бы этот конец на запад. К 19 ч. стремление на запад уменьшается, но увеличивается стремление на юг. В 21 ч. солнечная сила, исходящая не прямо из Солнца, но из области атмосферы, находящейся под ним, возрастает; однако этого увеличения оказывается недостаточно, чтобы уравновесить более благоприятное его положение: сила Земли ведет магнитную стрелку назад по склонению, и она идет тогда на восток, но движение на юг, т. е. наклонение, продолжает увеличиваться. Около 24 ч., т. е. в полдень, Солнце ведет себя индифферентно по отношению к восточному и западному склонению, но его южное действие сильно, и тогда, или же немного позд-

нее, оно доводит наклонение до максимума. Когда затем Солнце уходит на запад от магнитной стрелки, то в течение некоторого времени его способность отгонять на восток находящийся позади него полюс возрастает, между тем как сила, вызывающая наклонение, уменьшается до тех пор, пока в 2 или 3 ч. сила Земли снова одерживает верх, так как сила Солнца с увеличением расстояния убывает, и тогда магнитная стрелка возвращается к наименьшему своему наклонению и среднему склонению.

2903. Все вышеизложенное можно показать на опыте, если магнитный полюс перемещать на северной стороне от магнитной стрелки наклонения таким образом, чтобы он представлял собою место нагретого Солнцем воздуха в Гобартоне; полюс этот должен быть того же рода, что и северный или верхний конец магнитной стрелки. Я уже указывал (2877, 2863), что когда масса воздуха нагревается в магнитном силовом поле, то ее магнитная проводимость должна уменьшаться, и тогда в соединении с менее нагретым воздухом она должна отклонять силовые линии, приходя в то состояние, которое я обозначил как состояние диамагнитной полярности проводимости; она дает тогда действительную полярность, или скорее действительное изгибание силовых линий, которое должно действовать на магнитную стрелку именно так, как это происходит в действительности. Когда Солнце восходит и продвигается к северу от такого места, как Гобартон, то под приближающимся его влиянием атмосфера под ним все больше и больше нагревается и расширяется, и если вспомнить шаровую модель с воздухом (2864, 2877), получается так, как если бы подобная теплая масса воздуха перемещалась с солнцем через все экваториальные области, одновременно расширяясь далеко на север и на юг от экватора; включая в сферу своего влияния Гобартон, она должна вызывать в нем те явления, которые там наблюдаются на самом деле.

2904. Если принять такую картину явления, можно понять причину того, что для возвращения магнитной стрелки с за-

пада на восток, когда Солнце проходит через свой меридиан, требуется короткое время, а для прохождения ее с востока на запад, когда влияние Солнца медленно убывает, а затем в течение оставшейся части его пути медленно возобновляется, требуется продолжительное время, причем в данном случае следует отвлечься от парамагнитных явлений, которые вызываются холодом.

2905. Я рассмотрю теперь суточные вариации в Торонто; они даны в томе магнитных наблюдений, опубликованном трудами того же автора, которому принадлежат и предыдущий том,<sup>1</sup> а также в последующих наблюдениях вплоть до 1848 г.; я получил их благодаря любезности полковника Сэбайна. Эта обсерватория расположена на  $43^{\circ}39'35''$  северной широты и  $79^{\circ}21'30''$  западной долготы. Абсолютное склонение составляет здесь  $1^{\circ}21'3''$  на запад, а среднее или абсолютное склонение равно  $75^{\circ}15'$  на север, так что по отношению к Гобартону Торонто находится на другой стороне от экватора и почти на противоположном краю света. Результаты за месяцы июнь и декабрь представлены на чертеже (табл. I, рис. 208), аналогичном чертежу для Гобартона (2896); при этом часы показаны по времени в Торонто.

2906. Когда речь идет о склонении, обычно имеют в виду северный конец магнитной стрелки. Ход этого конца в Торонто во время прямого действия Солнца таков: с 16 ч. он постепенно движется на восток, в 20 ч. достигает крайнего восточного положения, а затем в течение шести часов возвращается из восточного положения в крайнее западное, после чего снова движется на восток от Солнца. Но мы переделаем все сказанное так, чтобы следить за движением экваториального конца магнитной стрелки, так как этот конец является *верным*, когда стрелка свободна, и именно он нас больше всего интересует в целях сравнения с Гобартоном; тогда мы

<sup>1</sup> *Magnetical and Meteorological Observations*. Toronto, 1840, 1841, 1842, Sabine.

увидим, что этот конец занимает крайнее западное положение в 19 или 20 часов; оставив это положение в указанное выше время, он быстро движется на запад, проходя весь ряд вариаций, т. е. достигая крайнего восточного положения за шесть часов, т. е. к 2 часам, после чего он возвращается, идя вслед за Солнцем.

2907. По поводу этих результатов я мог бы повторить те же слова, которыми я пользовался раньше при разъяснении явлений в Гобартоне; однако в интересах краткости я просто сошлюсь на них. Как и там, величина вариации склонения летом вдвое больше, чем зимою. Разность температур втрое больше. Как наибольшее западное склонение, так и наибольшее восточное бывают и зимою и летом в 20 часов и в 2 часа, так что и зимою и летом магнит придерживается этих сроков. Но моменты максимумов и минимумов холода, как это было показано раньше, летом и зимой неодинаковы, ибо максимум холода бывает летом в 4 ч., а зимою — в 2 ч.; максимум тепла бывает летом в 16 ч., а зимою — в 20 ч. Однако в этом различии не имеется ничего странного, так как можно сразу увидеть, что зимою максимум тепла передвигается ко времени наиболее сильного действия в одном направлении, а минимум передвигается к нему в другом направлении. Таким образом, прохождение Солнца через меридиан и период быстрого движения с запада на восток все же друг с другом совпадают.

2908. Другим элементом направления является наклонение. Его изменение очень невелико, но протекает следующим образом: главный максимум наклонения приходится на 22 ч., а минимальное наклонение — на 4 ч.

2909. Таким образом, все эти явления могут быть тоже в общем представлены с помощью эллипса (рис. 209), как это было сделано для Гобартона, и я могу сослаться на сказанное там, если вместо слова Гобартон буду употребить Торонто и вместо юга север (2901). Когда Солнце проходит с востока при своем движении между этими двумя местами, то

действием изменяющейся под ним атмосферы оно отгоняет верхние концы их магнитных стрелок вперед от себя и прочь со своего пути, как если бы оно было северным полюсом по отношению к Гобартоновскому магниту и южным полюсом по отношению к магниту Торонтовскому. В 22 часа (магнитная) сила Земли и действие воздуха, вызываемое положением Солнца, позволяют верхнему концу магнитной стрелки вернуться на восток, хотя наклонение в течение некоторого времени продолжает увеличиваться (2902). Обе стрелки быстро выполнят круговое колебание с запада на восток, когда Солнце проходит через меридиан, и затем, достигнув своего крайнего восточного положения, вскоре следуют за ним под влиянием силы Земли, которой все меньше и меньше противодействует удаляющееся Солнце. Сходство между Гобартоном и Торонто столь поразительно, что полковник Сабайн уже раньше его заметил и особо описал;<sup>1</sup> он показал, что если изобразить направление движения в обоих случаях с помощью кривых и если эти кривые наложить друг на друга лицевыми сторонами, то они почти в точности совпадут, с тем лишь единственным отличием, что изменения в Гобартоне происходят раньше соответствующих изменений в Торонто на час или несколько больше по местному времени.

2910. Мы не можем экспериментально показать это суточное действие на такие две стрелки, как стрелку в Гобартоне и Торонто, если у нас имеется только один магнитный полюс, но мы в состоянии это сделать с каждой из них в отдельности, пользуясь различными полюсами. Впрочем, из нашей гипотезы мы сразу видим, почему Солнце влияет указанным выше образом (2877) и каким образом получается, что область влияющей атмосферы, сопровождающая его в его суточном движении вокруг земного шара, оказывает одно действие на северных широтах и другое — на южных (2903). Точно так же ясны причины того, почему дневное перемещение кратковре-

<sup>1</sup> Hobarton Magnetical Observations, 1850, стр. XXXV.

менно, а ночное движение продолжительно (2904). Существование возмущений или вторичных силовых полн в ночное время, а также свойства основной вариации и вторичных колебаний летом и зимой будут рассмотрены в дальнейшем.

2911. Гринвич. Нижеприведенные данные взяты из тома гринвичских наблюдений за 1847 г. Гринвич расположен на  $51^{\circ}31'$  северной широты, и поскольку эта станция по долготе находится почти на  $80^{\circ}$  к востоку от Торонто, она образует довольно яркий контраст по отношению к последнему, а равно к Гобартону. Среднее склонение здесь составляет  $22^{\circ}51'18''$  к западу, а среднее наклонение —  $69^{\circ}$  к северу. Так как для удобного сравнения с наблюдаемым суточным влиянием Солнца (2906) мы должны следить за верхним концом стрелки наклонения, то я опишу те части его пути и местоположения, которые нас теперь интересуют, относя их при этом к гринвичскому времени. Начиная двигаться на запад перед 19 или 20 ч., конец стрелки возвращается затем на восток и за шесть часов, т. е. к 1 ч. или к 2 ч. проходит весь большой солнечный путь, после чего возвращается на запад, следуя за светилом. Вертикальная сила оказывается наибольшей между 3 и 4 ч., а наименьшей — между 11 и 13 ч. Таким образом, южный конец стрелки оказывается приподнятым выше в первый из этих промежутков и ниже — во второй. А так как последнее имеет место в течение продолжительной части обратного движения с востока на запад, включая и ночные часы, то нам понятно, что верхний конец стрелки выполняет свой суточный путь по неправильной замкнутой кривой, которую в основном может представить эллипс для Торонто, показанный на рис. 209 (2902). Он проходит его в течение ночных часов медленно с востока на запад, приближаясь одновременно к экватору, и затем возвращается с запада на восток с гораздо большей скоростью, проходя эту часть своего пути на большем расстоянии от экватора и ближе к полюсу.

2912. Вашингтон С. Ш. Северная широта  $38^{\circ}54'$ , западная долгота  $77^{\circ}2'$  от Гринвича. Среднее склонение  $1^{\circ}25'$  на запад; среднее наклонение  $71^{\circ}20'$  на север. Южный или верхний конец магнитной стрелки утром, около 20—22 ч., занимает крайнее западное положение, а около 2 ч. — крайнее восточное; затем он медленно возвращается на запад, действуя ночью так же, как в приведенных выше случаях, и около 20—22 ч. снова приходит в крайнее западное положение. По отношению к местоположению Солнца это в точности то же самое движение склонения, что и в приведенных выше местах. У меня нет данных об изменении наклонения, но, исходя из теоретических соображений, можно заключить, что оно будет наибольшим между 22 и 2 ч. и наименьшим в вечернее и ночное время. Общая величина изменения склонения бывает максимальной, как и раньше, летом в июле она составляет  $9'.87$ , а в декабре — лишь  $4'$ . Максимальная разность земной температуры приходится точно так же на июль и составляет почти  $20^{\circ}$  Фаренгейта, между тем как в декабре и январе она равна лишь  $10^{\circ}$  Фаренгейта. Кратчайший промежуток между крайними температурами, в течение которого, значит, происходит наиболее быстрое изменение температуры, приходится на время от 16—18 ч. до 2 ч. и, таким образом, он попадает и на полдень. Все эти обстоятельства, действуя совместно, вызывают максимальное магнитное действие, и последнее происходит в том направлении, какое предусматривает наша гипотеза.

2913. Озеро Атабаска. Северная широта  $58^{\circ}41'$ , западная долгота  $111^{\circ}18'$  от Гринвича, среднее склонение  $28^{\circ}$  на восток. Наблюдения имеются лишь за пять месяцев, но так как этот пункт расположен на большой широте и может оказаться важным для последующих соображений, то я припожуж здесь соответствующие данные. Крайнее западное положение верхнего конца магнитной стрелки приходится примерно на 17 или 18 ч., а крайнее восточное — на 1 или 2 ч.; таким образом, поскольку речь идет о склонении, действие

Солнца и атмосферы таково же, как в вышеприведенных случаях. Величина вариации склонения очень велика; она составляет в октябре  $21'.32$ , в ноябре  $10'.8$ , в декабре  $9'.78$ , в январе  $16'.29$  и в феврале  $14'.87$ .

2914. Форт Симпсон. Северная широта  $61^{\circ}52'$ , западная долгота  $121^{\circ}30'$  от Гринвича, среднее склонение  $38^{\circ}$  на восток. Эти наблюдения охватывают лишь два месяца, а именно апрель и май 1844 г. Крайнее западное положение верхнего или южного конца магнитной стрелки приходилось на 19 ч., а крайнее восточное положение — на 2 ч. Таким образом, эти данные находятся в совершенном согласии с предшествующими наблюдениями и выводами. Величина вариации, как она дана в горизонтальной плоскости, очень велика: она составляет  $36'.26$  в апреле и  $32'$  в мае.

2915. С. Петербург. Северная широта  $59^{\circ}57'$ , восточная долгота  $30^{\circ}15'$  от Гринвича, среднее склонение  $6^{\circ}10'$  на запад, наклонение  $70^{\circ}30'$  на север. Данные наблюдения представляют среднее за шесть лет; они показывают, что верхний конец магнитной стрелки, по отношению к полудню, в течение месяцев от марта до августа достигает крайнего западного положения примерно около 19—20 ч. дня, а в течение остальных месяцев он в те же часы занимает западное положение. Крайнее восточное положение приходится для всех месяцев примерно на  $1\frac{1}{2}$  ч., так что влияние Солнца при прохождении его через полуденный период оказывается таким же, как и в предыдущих случаях. Наибольшая величина изменения составляет  $11'.52$  в июне; зимою она понижается до  $1'.77$ . Согласно теории можно ожидать, что наклонение в течение дневных часов увеличивается, а ночью уменьшается.

2916. Таким образом, все приведенные выше случаи, которые, охватывая основные особенности суточного изменения и действия Солнца, были выбраны в качестве первого и проверочного испытания правильности гипотезы, согласно свидетельствуют, насколько они могут это сделать, в пользу той точки зрения, которую я выдвигаю в качестве их причины;

и я до сих пор не нашел ни одного примера, который хоть видимо противоречил бы действию Солнца. Они значительно помогают нам выработать ясное представление о том, каким образом действует предполагаемое влияние Солнца и воздуха не только в подобных случаях, но и в отношении других последствий, т. е. в отношении всего того, что собственно падает под понятие атмосферного магнетизма. Поэтому я теперь заново изложу с большей подробностью те принципы, которые, согласно нашей гипотезе, лежат в их основе; я надеюсь, что мне, быть может, выпадет счастье помочь постепенному выяснению *истинной физической причины* рассматриваемых магнитных изменений.

2917. Пространство, в котором нет вещества, допускает прохождение через него магнитной силы (2787, 2851). Парамагнитные тела либо увеличивают, либо уменьшают величину этого пропускания (2789). Это действие тел я временно назвал магнитной проводимостью и, как мне думается, я дал поначалу достаточно экспериментальных доказательств существования этой способности и ее возмущающего действия на магнитные силовые линии (2843). Атмосфера, благодаря содержащемуся в ней кислороду (2861, 2863), является парамагнитной средой, и ее проводимость сильно понижается при повышении температуры (2856) и при разрежении (2782, 2783), как это было в полной мере доказано и на опыте, Солнце является фактором, который как нагревает, так и разрежает атмосферу, и при суточном его движении место наибольшего нагревания и разрежения должно находиться, вообще говоря, под ним. Неправильности в свойствах земной поверхности и другие причины вызывают местные отклонения от точного местоположения максимума, но в верхних слоях воздуха эти отклонения, вероятно, частью, если не полностью, исчезают.

2918. Мы примем, что *воздух под Солнцем* претерпевает наибольшее магнитное изменение; ограничим наше внимание тем местом, над которым Солнце стоит вертикально; рассмотрим, в этих предположениях, состояние атмосферы в этом месте и

в других связанных с ним местах; тогда, конечно, предположение о шаре воздуха над этим местом не будет подходящим (2877). Мы должны сначала предположить, что Солнце далеко и что атмосфера находится в некотором среднем, в отношении температуры, состоянии, и затем допустить, что Солнце находится в меридиане данного места. Тогда нас будет интересовать величина, которой достигнет изменение температуры и расширение воздуха под местом Солнца и вокруг него, а также — каким образом изменение возникает и прекращается. Что касается земной поверхности, то ее изменение будет наибольшим где-нибудь под Солнцем и будет уменьшаться в каждом направлении вокруг этого места, сводясь почти к нулю, с точки зрения прямого действия, в той части Земли или на том круге ее, где солнечные лучи падают по касательной. Что касается (влияния) высоты, то еще неизвестно, точно ли действие имеет наибольшую величину на поверхности Земли и действительно ли оно уменьшается по мере подъема. По вопросу об атмосфере: ее действие, конечно, должно прекращаться вместе с ней; впрочем, по отношению к самой пустоте (2851) могут возникнуть некоторые особые соображения и оговорки. Что касается изменений, которые могли бы вызываться влиянием Солнца в противоположном полушарии, то хотя здесь нет никакого прямого влияния, однако имеется косвенное; оно вызывается понижением температуры воздуха по сравнению с тем состоянием, до которого Солнце довело его, когда оно находилось над горизонтом. Это изменение должно быть более медленным и неправильным и должно нарушаться местными и другими обстоятельствами в большей мере, чем противоположные изменения, вызываемые прямым влиянием светила. Это изменение, согласно нашей гипотезе, и вызывает второй максимум или минимум или иные повторяющиеся ночные действия, которые обнаруживаются магнитной стрелкой в те часы, когда Солнце отсутствует.

2919. Исходящие из магнита силовые линии как бы прикреплены особым образом своими концами к определенным местам, как это хорошо известно из опыта лицам, работавшим над этим

предметом. Таким же образом и линии, которые исходят из Земли, более или менее круто, в соответствии с величиной наклона, удерживаются снизу силой, прикрепляющей их к определенному месту; а так как действие Земли по сравнению с действием атмосферы, неизменно, то эти линии внизу в большей или меньшей мере ограждаются от изменения во время изменений действий атмосферы. Эта связанность с Землей является главной причиной известных особенностей явлений, наблюдаемых нами в атмосфере, и она вызывает то вращение силовой линии около среднего ее положения, которое, как мы видели выше, происходит при обороте Солнца; мы встретимся с ним снова при рассмотрении действий холодного воздуха. Это свойство привязанности силовых линий в их нижнем конце имеет место на любой станции, где вообще существует хоть какое-либо наклонение; вследствие этого для каждой из них имеется некоторая точка сходимости, около которой происходит движение верхнего конца магнитной стрелки (2909, 2932).

2920. Итак, атмосфера под влиянием Солнца претерпевает на Земле наибольшее изменение в том месте, которое лежит под этим светилом. Она приобретает при этом способность влиять на магнитные силовые линии иначе, чем она влияет на них при отсутствии Солнца. Она превращается при этом в огромную магнитную линзу, способную преломлять эти линии, и она производит это, по-видимому, нижеследующим образом. Все линии, проходящие через этот нагретый и расширившийся воздух, окруженный другим не столь сильно нагретым воздухом, должны, ввиду того что теплый является более плохим магнитным проводником, чем холодный (2861, 2862), стремиться отходить друг от друга (2807), а масса нагретого воздуха, как целое, должна прийти в состояние диамагнитной полярности. Следовательно, если для простоты допустить, что магнитный и астрономический полюсы нашей земли совпадают, и если рис. 240 представляет сечение через эти полюсы и через место, где находится Солнце, то  $N$  и  $S$  будут магнитными полюсами, а различные кривые, пересекающие контур круга, достаточно хорошо пред-

ставят ход магнитных линий у поверхности Земли;  $H$  будет Солнце,  $a$  будет тем местом, которое лежит прямо под Солнцем, причем это место совпадает и с магнитным экватором. С помощью рис. 210 мы получим также пояснение предположенного (нами) действия на наклонение магнитной стрелки.

2921. Если прежде всего рассмотреть точку  $a$  и временно допустить, что максимальное изменение воздуха претерпевает всегда на поверхности Земли, то мы найдем, что здесь силовые линии разойдутся, сохраняя до известной степени свое параллельное или концентрическое расположение. Следовательно, магнитная стрелка, способная двигаться в любом направлении и потому располагающаяся по силовой линии, будучи помещена в данном месте, не изменит своего положения. Она, быть может, покажет некоторое ослабление магнитной силы, проходящей через это место. Однако в силу того соображения, которое я изложил раньше (2868), я полагаю, что стрелка покажет возрастание интенсивности,

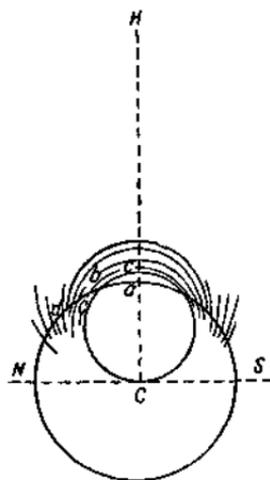


Рис. 210.

так как прирост сосредоточенной в ней силы, вызванной понижением проводимости воздуха в данном месте, приедет к тому, что она будет действовать, как более мощная стрелка.

2922. Если перейти к точке  $b$ , то здесь силовые линии имеют уже наклонение. Они будут здесь испытывать на себе то же самое физическое влияние, что и раньше, т. е. их части в воздухе будут расходиться; однако и здесь, как равно и в предыдущем случае, их кривизна не останется прежней, так как по направлению к Земле и внутри последней, где они берут свое начало, они в большей или меньшей степени ограждаются от изменения благодаря неизменности действия Земли (2919); в то же время своими участками, более выдвинутыми вперед, напр. в  $c$ , они

входят в такие места атмосферы, которые расположены ближе к наиболее интенсивным линиям солнечного действия  $HC$ ; вероятно, они попадают и в область наиболее интенсивного действия, а также в (пустое) пространство; а вследствие этого стремятся разойтись под действием напряжения своих частей, претерпевших изменение в воздухе, и смещение их делается больше, чем это может произойти внутри Земли (2848). Таким образом, силовая магнитная линия в  $b$  не останется уже параллельной самой себе: будучи при нормальных условиях несколько наклонена к горизонту, она теперь наклонится сильнее, т. е. ее наклонение благодаря присутствию Солнца делается больше. Это — факт, который обнаруживается стрелкой, когда движением своего верхнего конца она показывает положение линии наклонения (2908) в Гобартоне, Торонто и в других местах; ибо ясно, что все, происходящее на одной стороне от местоположения Солнца и магнитного экватора, когда, как мы приняли (2920), они совпадают, случится и на другой стороне.

2923. Рассматриваемый случай можно для более легкого запоминания описать проще; действие Солнца заключается в том, что оно приподнимает магнитные кривые над экваториальными и соседними с ними местами поверхности Земли выше их нормального положения; этим самым оно одновременно влияет на северное и южное наклонение и их увеличивает.

2924. В месте  $a$  должно получиться подобное же влияние на наклонение; рассуждая теоретически, это влияние должно быть таково же даже у  $N$  и  $S$ . Согласно нашему предположению, в точке  $a$  наклонение совершенно не изменяется, но если двигаться отсюда на юг или на север, то изменения возникают и увеличиваются. Представляется маловероятным, чтобы у  $N$  или  $S$  изменение было максимальным, но широта, на которой это происходит, должна зависеть от совокупности многих обстоятельств, возникающих, когда около шара непрерывно обращается магнитная линза, как я это пытался описать.

2925. Мы принимали до сих пор, что Солнце находится в  $H$ ; теперь предположим, что мы смотрим на чертеж по вертикали,

ставши лицом яа восток. Солнце появляется с востока, проходит над нашей головой и приносит с собою то состояние атмосферы, которое является причиной изменения. При этом все магнитные кривые будут подниматься; наклонение в  $b$  и  $d$  будет увеличиваться; равным образом во всех местах по обе стороны от  $a$ , где раньше наклонение имелось, оно будет увеличиваться в противоположных направлениях. Это будет продолжаться до тех пор, пока Солнце не окажется в зените, а когда оно затем продвинется дальше и зайдет позади нас, силовые линии вновь сойдутся, а наклонение уменьшится до первоначальной своей величины. Максимальное наклонение будет иметь место, когда Солнце будет находиться вблизи зенита, а минимальное — когда Солнца совсем не будет (над горизонтом).

2926. Но если бы результирующая силы находилась в верхних слоях атмосферы (2937), что представляется наиболее вероятным, так как благодаря теплоте вся атмосфера действует диамагнитно, то результаты оказались бы иными. В самом деле, если бы эта сила была над  $a$ , то силовые линии оказались бы *отжатыми* вниз, и наклонение в этом месте уменьшилось бы; в  $b$  оно в этот момент, может быть, не испытало бы на себе никакого влияния; в более высоких широтах оно увеличилось бы, в соответствии с тем, как проходит силовая линия результирующей в атмосфере, где бы это ни происходило: вне или внутри угла, образуемого наклонением с горизонтом заданного места. Св. Елена, Мыс Доброй Надежды и Гобартон дают примеры этих трех случаев.

2927. Одновременно претерпит изменение величина всей силы; сила, проходящая через данную площадь, будет минимальной, когда Солнце будет находиться в зените, и максимальной, когда Солнца не станет (2863). Полное изменение силы будет наибольшим в  $a$ , и отсюда на север и на юг оно будет уменьшаться. Суточные изменения наклонения в настоящее время нам еще столь недостаточно известны, что мы не в состоянии сказать, насколько действительные изменения находятся в согласии с ожидаемыми, но имеющиеся наблюдения с теорией согласуются.

2928. Если Солнце находится не над экватором, а у которого-нибудь тропика и стоит вертикально, напр. над  $b$ , то его действия претерпят некоторые изменения, и если допустить, что положение результирующей остается таким же, как раньше, то можно ожидать, что силовые линии, которые прежде не подвергались влиянию, опустятся и уменьшат наклонение; в то же время другие линии в более высоких широтах, где наклонение раньше увеличивалось, подвергнутся теперь лишь очень мало-

му влиянию, а у линий в еще более высоких широтах наклонение, как и раньше, повысится. По другую сторону от экватора линии будут обнаруживать стремление наклониться сильнее.

2929. Перейдем теперь к той части ожидаемого изменения положения свободной стрелки, которая ведет к изменению склонения. Пусть  $er$  (рис. 211) — путь Солнца на экваторе и  $tc, t'c'$  — то же самое на тропиках; пусть  $mr$  — магнитный меридиан и  $aa', ii', oo'$  — места равного северного и южного накло-

нения по разные стороны от экватора. Кривые магнитной силы, которые на рис. 210 были видны спереди, находятся теперь в плоскости магнитного меридиана; можно считать, что они поднимаются с двух разных сторон от экватора и сходятся над ним. Если бы воздух со всех сторон находился в среднем своем состоянии и Солнце совершенно отсутствовало, то эти кривые лежали бы в вертикальной плоскости  $mr$ ; а если бы Солнце около полудня стояло таким образом, что результирующая нагретой и изменившейся атмосферы находилась бы в меридиане  $mr$ , то хотя бы явления наклоения происходили (2922), кривые все же оставались бы в той же вертикальной плоскости. Но если бы результирующая оказалась к востоку или к западу от  $mr$ , то полу-

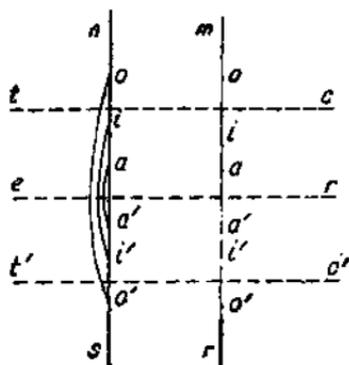


Рис. 211.

чились бы изменения склонения. Действительно, предположим, что Солнце приходит с востока или из г. Так как оно сообщает воздуху диамагнитное состояние, то силовые линии будут стремиться расходиться (2877) и, следовательно, двигаться на запад, как это показано на меридиане *ms*. Вызываемое этим отклонение было бы наибольшим на поверхности Земли, так как здесь кривые, входя в Землю, удерживаются и ограничиваются у своего нормального положения (2919). При приходе нагретой атмосферы западное отклонение возрастает до некоторой величины, а затем уменьшится до нуля, когда результирующая окажется в меридиане. Но при дальнейшем ее передвижении отклонение будет увеличиваться к востоку от *ms*, достигнет максимума, затем начнет уменьшаться и прекратится, когда теплый воздух уйдет.

2930. Если бы путь Солнца проходил по северному тропику *ts* и, следовательно, результирующая в атмосфере находилась бы к северу от станций *a* или *i*, то это повлияло бы на величину вариации склонения, но не изменило бы ее *направления*, так как *aa'* и *ii'* по мере того, как Солнце будет подыматься выше, будут по-прежнему уклоняться к западу и окажутся на меридиане, когда и результирующая будет там. Действие у *i* окажется больше, чем у *i'*, но противоположный характер наклонения, по отношению к месту Солнца, не повлияет на направление вариации склонения.

2931. Холодная область воздуха, действующая на магнитные силовые линии Земли так же, как наступление ночи, окажет, благодаря своему парамагнитному характеру (2865), соответствующие влияния на наклонение и на склонение, но — в противоположном направлении.

2932. Таким образом, согласно нашей гипотезе, силовые линии, исходящие из Земли во всех местах ее поверхности, где существует наклонение, под суточным действием Солнца описывают восходящими своими частями замкнутую кривую или неправильный конус, вершина которого находится вверху. Этот результат представляет собой общеизвестный факт, но его со-

гласие с гипотезой важно для последней. Среднее положение свободной стрелки находится на оси этой кривой или конуса, и ее расстояние, по склонению и по наклонению, от среднего положения является важным показателем величины и положения тех варьирующих сил, которые влияют на нее в соответственные моменты времени.

2933. Моя гипотеза отнюдь не делает предположения, что нагретый или охлажденный воздух становится магнитным, так что он прямо действует на стрелку подобно куску железа, обладающему магнитной полярностью или получившему последнюю благодаря индукции. Относительно полярности кислорода воздуха я принимаю только одну полярность — полярность проводимости (2822, 2835), являющуюся следствием небольшого изменения в направлении силовых линий. Рассматриваемое отклонение линий вызывается изменением магнитной проводимости — совершенно так же, как плохой проводник тепла, будучи введен в среду с лучшей проводимостью, нарушает прежнюю равномерную передачу тепла и сообщает проводимой теплоте новое направление; то же мы имеем в статическом электричестве: тело, у которого удельная индуктивная способность больше или меньше, будучи введено в однородную среду, нарушает однородность силовых линий, которые раньше проходили через нее.

2934. Единственное действие атмосферы заключается в том, что она искривляет силовые линии. Магнитная стрелка, которую держат эти линии и которая устанавливается параллельно им, когда она свободна, изменяет свое положение вместе с изменением силовых линий. Нет даже необходимости в том, чтобы линиями, направления которых подвергаются непосредственному влиянию со стороны изменившегося воздуха, были линии, расположенные возле стрелки; это могут быть и линии, проходящие далеко. Вся совокупность магнитных линий около Земли поддерживается благодаря взаимному их натяжению в виде единой связанной чувствительной системы, в которой нигде нет слабых мест, и которая в каждой своей точке ощущает

перемену, происходящую в каком-нибудь одном месте. Здесь может произойти, и постоянно происходит, перераспределение сил, но отнюдь не их подавление. Таким образом, когда происходит какое-либо изменение в направлении, поблизости или на расстоянии, то стрелка в данном месте это ощущает и отмечает, и притом тем более заметно, чем сильнее это определяется близостью места и видом индуцированного изменения. Но в тот же самый момент испытывает воздействие расположение *всей* системы, и поэтому ему подвергаются все другие стрелки, соразмерно изменению тех силовых линий, которые управляют каждой из них в отдельности.

2935. Магнитная стрелка является весами, к которым подвешивается вся магнитная сила вокруг данного места, вплоть до самых антиподов, и она в каждом месте указывает на всякое изменение их величины или расположения— все равно, где оно происходит: поблизости от нее или на далеком расстоянии. Ее среднее положение является нормальным положением, а что касается атмосферных изменений, то привязанность силовых линий к Земле (2919) стремится сообщить этим линиям стандартное положение (если исключить вековые изменения) и таким образом вернуть их, а также стрелку из возмущенного положения в нормальное. Поэтому при рассмотрении причин, возмущающих склонение или наклонение, оказывается важным принимать во внимание среднее положение или место стрелки (2932), а не только направление, в каком она движется.

2936. Таким образом, общеизвестное действие Солнца на магнитную стрелку является, согласно моей гипотезе, весьма косвенным: Солнце в данном месте влияет на атмосферу; атмосфера влияет на направление силовых линий; силовые линии в данном месте влияют на силовые линии, находящиеся на некотором от них расстоянии, а последние влияют соответственно на магнитные стрелки, которыми они управляют.

2937. При рассмотрении специального действия атмосферы я для удобства говорил о результирующей в атмосфере, зависящей от присутствия Солнца; я буду еще некоторое время поль-

зоваться этим выражением, но не буду подразумевать под этим какого-либо прямого действия этой результирующей или части воздуха, ее содержащей, на магнитную стрелку (2933); мне необходимо обсудить, на какой высоте в воздухе она может быть расположена. Что она не может находиться на поверхности Земли, на это указывает снижение (депрессия) линий и уменьшение наклона на Св. Елене и в Сингапуре в середине дня; а что она не находится прямо под Солнцем, на это указывает то обстоятельство, что максимальное действие до известной степени предшествует Солнцу на тот или иной промежуток времени, как это имеет место в Гобартоне, Торонто и других пунктах. Наибольшее действие наблюдается и не в то время, когда Солнце находится в меридиане, и не во время температурного максимума (что бывает позднее Солнца), а в некоторый момент, наступающий раньше обоих этих моментов. Изменения температуры воздуха, вызываемые Солнцем, происходят наверху и внизу не в одни и те же моменты времени. Верхние области атмосферы над данной точкой подвергаются влиянию Солнца при его восходе и после этого раньше, чем воздух внизу нагревается; поэтому следует ожидать, что влияние сверху предшествует влиянию снизу. Температура, наблюдаемая на поверхности Земли, не указывает нам в это время хода изменений наверху и может быть только весьма несовершенным показателем этих изменений. Максимум температуры внизу бывает зачастую на два, три или четыре часа позднее Солнца, между тем как нагревание атмосферы, вызываемое прямым действием солнечных лучей, должно осуществляться гораздо быстрее, чем внизу. Весьма вероятно и почти достоверно, что в 4 или 5 ч. до полудня в летние месяцы в верхних областях температура повышается, между тем как на поверхности Земли, вследствие излучения и иных причин, она понижается. Общеизвестное явление похолодания как раз перед восходом Солнца в некоторых местностях Индии и даже в нашей стране говорит в пользу подобного предположения. Мы должны помнить, что не абсолютная температура воздуха в каком-либо месте сообщает ему спо-

способность вызывать магнитные изменения, а *разности* между температурами в нем и в окружающих местностях. Хотя верхние области и холоднее нижних, однако их изменения могут оказаться той же величины или даже еще большими. Изменения происходят в таком температурном интервале, который, вероятно, является более активным, чем интервал более высоких температур (2967), и — что важно — они наступают быстрее и непосредственно в присутствии Солнца. О количестве тепла, которое атмосфера может получить прямо от солнечных лучей, можно судить по различию тех отношений, в каких мы получаем тепло от Солнца, когда оно стоит вертикально или наклонно и посылает нам таким образом свои лучи через больший или меньший слой воздуха; а после захода Солнца условия для быстрого охлаждения путем излучения становятся в верхних слоях атмосферы гораздо более благоприятными, чем в нижних. Таким образом, окончательные изменения могут быть там столь же велики, как внизу, или даже больше, и об этих изменениях, об их порядке и времени мы можем лишь слабо судить на основании температурных наблюдений на поверхности Земли. Таким образом, в дополнение к таким наблюдениям магнитного влияния, как прижатие (к Земле) силовых линий на Св. Елене и т. п., имеются, по-видимому, основания, покоящиеся на физических причинах и позволяющие думать, что главное место действия должно находиться в атмосфере наверху.

2938. Во время полуденного действия верхний конец стрелки при обратном движении на восток обычно проходит через среднее положение (2935) раньше, чем Солнце проходит через меридиан, двигаясь на запад. В Торонто это происходит примерно на полчаса раньше; на Св. Елене и в Вашингтоне на полтора часа; в Гринвиче и в Петербурге на два часа; в Гобартоне и на Мысе Доброй Надежды магнитная стрелка проходит через среднее положение в полдень. Эти результаты указывают, по-видимому, на то, что место максимального действия упреждает Солнце. Вероятно, так оно и есть в некоторой мере, однако не в столь большой мере, как это можно было бы сразу предположить; это,

я полагаю, станет ясно из нижеследующих рассуждений.

2939. Предварение времени максимального действия частью связано, быть может, со следующего рода обстоятельством. Когда Солнце движется по направлению к меридиану и проходит через него, температура воздуха сначала повышается, а затем понижается, и эти явления вызывают в различных местах различия, от которых зависят магнитные вариации. Но они зависят также от *быстроты*, с которой возникают эти различия, и от того, насколько близко они проявляются. Так, например, две массы воздуха, у которых имеются одинаковые разности температур, повлияют на силовые линии в большей мере, когда будут находиться ближе друг к другу и к магнитной стрелке, чем когда будут находиться дальше. И далее, если бы воздушная масса, обладающая в одном месте некоторой низкой температурой, при горизонтальном своем перемещении быстро нагрелась до некоторой высокой температуры и затем медленно охлаждалась до прежней низкой температуры, то, пересекая систему магнитных силовых линий, она повлияла бы на них в передней и задней части в двух противоположных направлениях; но сильнее всего она повлияла бы на них на той стороне, где изменение происходило быстро.

2940. Воздух, нагреваемый Солнцем, должен находиться именно в этих условиях. Если твердые и жидкие тела подвергнуть действию тепла, а затем унести, то изменения температуры, которые они испытают, будут протекать быстрее при повышении последней, чем при падении; по аналогии так же дело будет происходить и в воздухе, а потому изменения в передних частях будут происходить быстрее, чем в последующих. К этому присоединится действие атмосферы, нагреваемой Землей: так как последняя воспринимает тепло медленнее, на что указывает время ее температурного максимума, то ее влияние, постепенно сообщаемое расположенному над нею воздуху после того, как Солнце уже удалилось, стремится замедлить понижение его температуры и увеличить ту разницу, о которой речь была

выше. Если эти соображения применить к явлению, происходящему в природе, то наиболее сильное влияние и наибольшая вариация должны иметь место на западе от Солнца, а следующее или меньшее влияние — на восток от него; среднее положение магнитной стрелки за время полной вариации окажется впереди Солнца.

2941. М-р Браун (Brown) произвел наблюдения надсуточной вариацией на различных высотах, а именно в Мейкерстоуне (Makerstoun) и на вершине Чивиот Хиллс (Cheviot Hills), отличающихся друг от друга по высоте почти на полмили; как мне кажется, он не нашел никакого различия в величине (вариации), но установил, что этот процесс протекает *раньше* на более высокой станции. Было бы очень интересно иметь обсерваторию на высоте, но для получения требуемых результатов она должна была бы иметь под собою воздух, а не твердое вещество.

2942. Существует еще одно обстоятельство, которое оказывает значительное влияние на *сроки* прохождения вариации склонения. Если два места, расположенные к северу и к югу от экватора, имеют одинаковые наклонения и противоположные склонения, т. е. если в этих двух местах верхние концы магнитных стрелок отклоняются одинаково на восток или на запад, то эффекты должны находиться во взаимном соответствии и образовать пару. Но если оба эти места имеют восточное или западное склонение, обозначаемое, как обычно, по положению северного конца магнита, то описанные выше вариации должны произойти, когда Солнце проходит между ними, но здесь должно существовать различие *во времени*. Когда светило появляется и начинает приближаться, то стрелки *a* и *b* (рис. 212), весьма вероятно, подвергаются влиянию одновременно; но когда оно подходит близко, то при наличии в обоих местах восточного склонения одна из них, а именно южная, подвергается влиянию и притом в более сильной степени, после чего, спустя больший или меньший промежуток времени, соответственное действие происходит во втором пункте. В самом деле, каждая стрелка возвращается к  $0^\circ$  из первой половины серии своих изменений

к тому времени, когда Солнце находится на ее магнитном меридиане; Солнце достигает этого меридиана по отношению к южной стрелке раньше, чем по отношению к северной стрелке; ясно, что изменения южного магнита должны предшествовать изменениям северного магнита. Если бы в обоих местах склонение было западным, то северная стрелка опередила бы южную.

2943. Выдвинутая гипотеза, вообще говоря, находится в согласии с фактами, относящимися к направлению движений

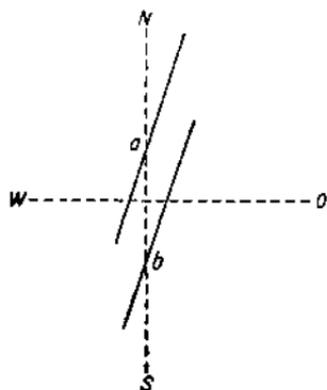


Рис. 212

магнитной стрелки; но если мои ожидания достаточно обоснованы, то дело так же будет обстоять и при более подробных сравнениях; она должна находиться в согласии и с величиной силы, какая требуется для наблюдаемых в данные часы отклонений. Я пытался получить экспериментальное доказательство различия действия кислорода и азота на стрелки, находящиеся под влиянием земного магнетизма, но пока еще не добился успеха. Это, однако,

неудивительно, так как насыщенный раствор протосульфата железа при тех же обстоятельствах точно так же не дал результата. Возможно, что более чувствительные приборы позволят добиться положительного результата.

2944. Что малые количества кислорода не проявляют признаков того действия, которое обнаруживается атмосферой в целом, это неудивительно, если принять во внимание, что масса воздуха чрезвычайно велика и содержит в себе огромное количество кривых, на которые она, согласно гипотезе, действует; надо помнить также, что явление, которое требуется объяснить, чрезвычайно мало. Крайнее склонение в Гринвиче составляет  $12'$ , что равно примерно  $4'24''$  восточного и западного изменения свободной стрелки, и это — все, что требуется объяснить. Едва ли можно ожидать, чтобы подобное действие можно было пока-

вать с помощью небольших количеств кислорода и азота, которые действуют на проходящие через них магнитные кривые на протяжении лишь немногих дюймов, разве только, если бы можно было для этой цели воспользоваться приборами крайней и почти бесконечно большой чувствительности. Однако на основании того, что я наблюдал на кислороде, когда сравнивал его при различной плотности (2780) или при различных температурах (2861), я склонен думать, что в конечном счете влияние, оказываемое на него Солнцем в атмосфере, будет признано достаточным для того, чтобы вызывать указанные выше вариации.

2945. Когда изменяется температура или объем воздуха, тогда он действует и тогда он изменяет направление силовых линий, а последние благодаря своему напряжению передают это действие более отдаленным линиям (2934); стрелки последних испытывают тогда на себе соответствующее влияние. Передаваемое действие оказывается больше или меньше в зависимости от того, каковы будут расстояния — меньше или больше; в результате изменение, происходящее поблизости, может одержать верх над изменением, происходящим на некотором расстоянии, и какое-нибудь облако вблизи станции наблюдения может временно сделать больше, чем восходящее Солнце. Это — неправильные вариации; величину их действия хорошо показывают фотографические записи в Гринвиче и Торонто. Том Гринвичских Наблюдений за 1847 г. содержит фотографическую запись изменений склонения за 18—19 февраля 1849 г. Между 6 и 7 часами наблюдается вариация в  $16'$ , протекающая в течение 18 минут времени, т. е. со скоростью приблизительно  $1'$  в минуту времени. Среднее изменение склонения в течение того же дня и времени составляет  $1'.95$  за два часа, т. е. оно протекает со скоростью в 1 секунду в каждую минуту времени; таким образом, неправильное отклонение (которое по отношению к влиянию Солнца в это время можно рассматривать как местную вариацию) оказывается в шестьдесят раз больше того отклонения, которое вызывается влиянием большой результирующей. Кроме того, оно происходило в противоположном направлении, так как вре-

менное отклонение было направлено с востока на запад, а средняя вариация — с запада на восток.

2946. Другой способ показать, насколько влияние ближайших масс атмосферы может перевесить и скрыть влияние всей ее массы, заключается в том, чтобы с помощью указанной только что фотографической записи вычертить линию средней вариации за двадцать четыре часа, и тогда в каждой точке ее хода будет видно, насколько среднее влияние на стрелку мало по сравнению с неправильным или сравнительным местным влиянием на нее в этот же момент времени. Магнит, с помощью которого были выполнены эти наблюдения, представляет собою стальной стержень длиной в 2 фута, шириной в  $1\frac{1}{2}$  дюйма и толщиной в четверть дюйма; он, как понятно, не поддается внезапным импульсам. Воаможно, что короткий подвижной магнит выявил бы много случаев, когда неправильное отклонение оказалось бы в несколько сот раз больше среднего. Тем не менее все неправильности и подавляющие влияния близких масс поддаются исключению, если брать среднее из наблюдений за несколько лет; таким способом достигается истинный результат, к которому можно применять выдвинутую гипотезу и таким образом ее проаерить.

2947. Возвращаясь на короткое время к годичной вариации (2882), я могу отметить, что она была в значительной мере рассмотрена при обсуждении суточной вариации. Распределение магнитных явлений по месяцам, сделанное полковником Сабайном для Гобартона, Торонто, Св. Елены и для других мест, оказалось чрезвычайно поучительным и важным, в особенности для мест, расположенных между тропиками и вблизи последних. Оно дает для годичной вариации анализ того же вида, какой для суточной вариации дает распределение по часам. Каждый месяц, при сравнении его кривой с кривыми для других месяцев, излагает собственную свою историю и в то же время связывает предшествующий ему месяц с последующим.

2948. Мне представится позднее случай проследить эти месячные средние, но в настоящий момент я отмечу, что действие годичного приближения и удаления Солнца, как оно выявляется из этих средних, находится в согласии с гипотезой о близких и дальних действиях (2945). Гобартон и Торонто расположены в противоположных полушариях, так что Солнце, приближаясь к одному из этих мест, удаляется от другого, и в силу этого величина вариаций в них изменяется в противоположных направлениях. Ниже приведена средняя для каждого месяца, выведенная в случае Гобартона из данных за семь лет, а в случае Торонто — из данных за два года.

	Гобартон Южн. шир. 42°52'.5	Торонто Сев. шир. 43°39'.35
Январь	11.66	6.51
Февраль	11.80	6.40
Март	9.50	8.50
Апрель	7.26	9.52
Май	4.56	10.34
Июнь	3.70 Зима	11.99
Июль	4.61	12.70 Лето
Август	5.89	12.68
Сентябрь	8.24	9.72
Октябрь	11.01	7.59
Ноябрь	12.05 Лето	5.75
Декабрь	11.81	4.47 Зима

Эти две станции находятся на широтах, которые отличаются друг от друга лишь на 47', и максимальная разность между атмосферными действиями летом и зимой в этих местах отличается столь же мало; она составляет в Гобартоне, находящемся на более высокой широте, 8/35, а в Торонто — 8/23.

2949. Согласно Дову, северное полушарие бывает в июле теплее, чем южное полушарие, на 17°.4 Фаренгейта, а зимой холоднее лишь на 10°.7. Соответствующие числа таковы:

Июль. Северное полушарие $71^{\circ}.0$	} $62^{\circ}.3$ для всего земного шара
Южное полушарие $53^{\circ}.6$	
Январь. Северное полушарие $48^{\circ}.8$	} $54^{\circ}.15$ для всего земного шара
Южное полушарие $59^{\circ}.5$	

Средняя за весь год составляет  $59^{\circ}.9$  для северного полушария и  $56^{\circ}.5$  для южного. Следовательно, как это дальше показывает Дов, в июле, когда Солнце освещает части земной поверхности, состоящие из суши и воды, температура бывает на  $8^{\circ}$  выше, чем в январе, когда оно находится над водными пространствами, и под влиянием той же причины средняя температура южного полушария на  $3^{\circ}.4$  ниже средней для северной половины земного шара. Разность между январской и июльской температурой составляет в северном полушарии  $22^{\circ}.2$ , а в южном — только  $5^{\circ}.9$ . Эти разности столь своеобразны по своему распределению и столь велики по размеру, что они должны влиять на распределение магнитных сил Земли; однако имеющихся данных еще недостаточно для того, чтобы мы могли выявить эти результаты. Сэбайн на основании своего анализа наблюдений считает вероятным, что величина общей суммы земной магнитной силы увеличивается а то время, когда Солнце находится в южных знаках (зодиака), т. е. во время нашей зимы (2891). По теоретическим соображениям я ожидал бы, что должны иметь место именно такие результаты, во всяком случае в тех местах (земного шара), где наклонение не очень велико; в самом деле, более холодная атмосфера должна лучше проводить магнитные силовые линии, и следовательно, системы линий вокруг Земли должны в такое время как бы сгущаться в более холодных местах. Представляется, однако, сомнительным, покажет ли магнитная стрелка эту разность, так как наверху силовые линии не удерживаются, как в придуманном выше примере (2922), и могут свободно собираться из мирового пространства. Однако из того, что было сказано, ясно, что такое заключение можно будет сделать с некоторой степенью уверенности только на основании наблюдений

которые должны быть проведены достаточно равномерно в обоих полушариях.

2950. Если мы когда-нибудь хорошо изучим годичную вариацию для ряда стаций в различных частях обоих полушарий, то это поможет нам получить данные, с помощью которых можно будет составить себе представление, на какой глубине может залегать магнитная сила. Действительно, так как можно ожидать, что на весьма обширных пространствах земной поверхности эта сила подвергается колебаниям благодаря годичным изменениям температуры (2884), то эти колебания будут отличаться по своему характеру и величине в соответствии с тем, на какой глубине — большей или меньшей — расположен источник этих линий.

2951. Наблюдается еще целый ряд изменений магнитной силы — непериодических или же таких, период которых не связан с Солнцем; именно они производят упомянутые только что неправильные изменения, превосходящие другие (2945); они связаны, как я предполагаю, с местными изменениями в атмосфере; я позволю себе вкратце остановиться на некоторых своих соображениях по этому вопросу.

2952. *Изменение давления атмосферы над данной частью земной поверхности должно вызывать изменение магнитного состояния этой местности.* Мы наблюдаем его в виде разности уровня ртути в 3 дюйма, т. е. одной десятой части веса атмосферы. Но кислород в некотором данном объеме парамагнитен пропорционально своему количеству (2780); поэтому представляется невозможным, чтобы количество его над данной областью земной поверхности, все равно, как его считать: как раньше, по объему или по весу в данном объеме у земной поверхности, чтобы оно могло измениться на долю, доходящую до одной десятой части всей его величины, и чтобы при этом не произошло соответствующего изменения в распределении магнитной силы: при увеличении его количества или барометрического давления, линии должны сгущаться, магнитная сила стано-

виться более интенсивной, а при понижении давления должны получаться противоположные результаты.

2953. В каждом месте, расположенном близ границ пространства, где давление воздуха увеличивается или уменьшается, происходят, по всей вероятности, изменения в направлении силовых линий, и эти изменения должны становиться особо заметны, когда данная точка расположена между двумя местами, и в одном из них атмосфера накапливается, а из другого уходит. Достаточно ли велики вызываемые этими изменениями действия (я полагаю, что они должны происходить), чтобы их можно было заметить на коротком расстоянии с помощью наших магнитных приборов, это — вопрос, который должен разрешиться в дальнейшем. Делать предположение о существовании определенной причины полезно, так как знать о существовании причины, ее природе и действии важно для подготовки лучших средств наблюдения и для определения возможных его результатов.

2954. *Ветры и сильные потоки воздуха наверху* часто могут сопровождаться магнитными изменениями, если только они длятся некоторое время. Постоянное течение вроде пассата может производить постоянное действие; но если распределение магнитных силовых линий в атмосфере находится в некотором данном состоянии, зависящем от состояния в это время атмосферы, то возникает нетер, который перемешивает области холодного и теплого воздуха или делает воздух в одном районе более плотным, чем в другом, или переходит с места на место и уравнивает области находившиеся раньше в различных условиях; тогда каждое изменение будет сопровождаться соответствующим изменением в распределении магнитной силы, которое, быть может, мы позднее будем в состоянии отмечать с помощью наших приборов. Даже приливы и отливы в воздухе должны оказывать некоторое влияние, хотя последнее может быть слишком незначительным, чтобы его удалось заметить.

2955. Выпадение *дождя или снега* может теоретически быть причиной изменений магнитных отношений в том месте, где

оно происходит, ибо оно изменяет температуру в этом месте и освобождает его от некоторого количества растворенного диамагнитного или нейтрального вещества. *Шторм с градом* в летний день влияет на магнитную стрелку. *Облака* могут оказать заметное влияние несколькими путями: или тем, что создают отличие от соседних областей чистого воздуха, или тем, что поглощают солнечные лучи, вследствие чего получается значительное нагревание в различных местах на различных высотах атмосферы, или же тем, что в большей или меньшей степени препятствуют выделению тепла на земной поверхности. Те массы более теплого или холодного воздуха, о которых говорят метеорологи и которые благодаря своей прозрачности незаметны для глаза, будут оказывать соответствующее свое влияние. И можно высказать предположение, которое не будет слишком невероятным, что теплый и обедненный кислородом воздух большого города, как Лондон, может влиять на расположенные поблизости от него приборы, а если это так, то он будет влиять на них неодинаково в различное время, в зависимости от направления ветра.

2956. Вообразим себе на поверхности Земли пятно, которое представляет здесь результирующую влияний находящейся над ней атмосферы, и представим себе, как оно передвигается, когда под влиянием различных, отчасти уже упомянутых выше причин, оно ходит туда и сюда, как оно продвигается еще вместе с Солнцем; тогда можно составить себе представление о том, каким образом оно может влиять на различные рассеянные по Земле обсерватории. Я полагаю, что его путь, поскольку дело касается восточного и западного направления, отчасти отражен в фотографических записях Гринвича и Торонто, но его влияние здесь смешано с влиянием других причин изменения. Это пятно может быть концентрированным или диффузным; оно может исчезнуть и вновь где-нибудь появиться; может даже одновременно существовать два или больше таких пятен, и они могут быть достаточно сильны, чтобы вызывать колебания помещенной между ними магнитной стрелки.

2957. Северное или южное сияние едва ли могут быть независимыми от магнитного строения атмосферы, так как они протекают в области последней и, быть может, в (пустом) пространстве над ней. Обычно сияние бывает в таких широтах, в которых воздух, благодаря различию в температуре и количестве, находится в определенном магнитном отношении к воздуху на экваторе, и магнитный характер сияния и среды, в которой оно происходит, связывает их друг с другом; поэтому исследование и некоторая степень понимания последней приведет нас, вероятно, к лучшему познанию первого. Уже установлена связь между сиянием и магнитными возмущениями и бурями. Со временем, возможно, будет установлена такая связь между сиянием и атмосферными изменениями, какой в настоящее время мы и не подозреваем; так как это предположение имеет под собою принципиальное обоснование, то оно, по-видимому, заслуживает того, чтобы его обсудить.

2958. Могут ли магнитные бури Гумбольдта вызываться изменениями в атмосфере? Это — вопрос, по поводу которого я сделаю следующие замечания. Предположим, что в атмосфере наступил магнитный покой и что все местные или неправильные отклонения остались на время неизменными; если тогда в каком-либо месте произойдет изменение, оно мгновенно будет ощущаться повсюду на всей Земле, соразмерно расстоянию от того места, где произошло это изменение. Оно должно ощущаться мгновенно, так как импульс должен распространяться главным образом или в значительной мере не через вещество Земли или воздуха, а через (пустое) пространство над ними; ибо линии там должны испытывать действие при изменении в той части их, которая проходит в атмосфере; как я себе представляю, они должны повлиять и на другие линии в (пустом) пространстве около нашего земного шара, а последние, в свою очередь повлияют на те части линий, которые, проходя вниз к Земле, сообщают определенное направление магнитным стрелкам, расположенным внизу. Я полагаю, что в (пустом) пространстве магнитные силовые линии не зависят от вещества

и не связаны с ним (2787, 2917), а потому передают свои изменения со скоростью света или более высокой скоростью — даже мгновенно, что, как мы полагаем, свойственно силовым линиям тяготения; а если это так, то магнитное возмущение в одном месте будет мгновенно ощущаться на всем земном шаре.

2959. Однако трудность заключается в том, чтобы представить себе атмосферное изменение, достаточно протяженное и внезапное, чтобы его можно было заметить повсюду одновременно среди изменений более местного характера, происходящих непрерывно. Но представим себе, что в результате компенсации противоположных действий или по какой-нибудь другой причине в двух или нескольких местах в один и тот же момент времени наступил перерыв в этих возмущениях; тогда в этих местах могло бы обнаружиться совместное действие возмущения, причем это было бы возможно и в том случае, если бы причина его была очень слаба и даже совершенно незаметна в том месте, где она произошла. Возмущение, которое будет произведено одновременным изменением на площади с диаметром в 600 или 800 миль, посередине этой площади будет меньше, чем на концах радиуса в 1000 миль.

2960. Встает чисто принципиальный вопрос о том, в какой мере воздушные массы могут *приводиться в движение* пронизывающей их магнитной силой. Когда мы подвергаем два пузырька с кислородом различной плотности действию сильного магнита с интенсивным силовым полем, то механическое вытеснение одного из них другим оказывается чрезвычайно сильным. В природе имеются огромные объемы участвующего в явлении воздуха, имеется разность интенсивности магнитной силы Земли на различных широтах, где, можно думать, эти массы могут быть расположены; имеется и разность температур; достаточны ли все они для того, чтобы компенсировать небольшие доли кислорода в воздухе и сравнительно малые отклонения в плотности? На этот вопрос в настоящее время невозможно ответить. Дифференциальный результат движения, как было показано, очень велик, между тем как пря-

мой результат, например давления, не только очень мал, но равен нулю (2774, 2750), а атмосфера представляет собою область, где происходит дифференциальное действие огромных масс.

2961. По вопросу о различии интенсивности Гей-Люссак и Био на основании своих наблюдений заключают,<sup>1</sup> что на высоте в четыре мили магнитная сила одинакова с силой на поверхности Земли. Однако г. Купфер (Kupffer) выводит из данных Гей-Люссака, что на указанной высоте имело место небольшое ослабление силы, а профессор Форбс (Forbes) на основании своих опытов, произведенных в различных местах Европы,<sup>2</sup> заключает, что по направлению вверх сила уменьшается. Такое уменьшение может быть естественным результатом различия расстояния от источника земной магнитной силы; или, что является более вероятным, оно может вызываться различием содержания кислорода там и на поверхности Земли. Согласно сообщению Гей-Люссака о воздухе, взятом наверху, его плотность относилась к плотности воздуха внизу, как 0.5 к 1.0. Таким образом, парамагнитная сила, которая прибавляется к (пустому) пространству наверху в том месте, где был взят воздух, должна составить не более половины той силы, какая прибавляется внизу благодаря присутствию здесь более плотной атмосферы. Это, как я полагаю, должно произвести некоторое изменение в распределении магнитной силы. Почти наверняка это будет иметь место на экваторе, где силовые линии параллельны общему направлению атмосферы (2881). Полагаю, что это будет иметь место, по отношению к горизонтальной составляющей магнитной силы, и на той широте, на которой Гей-Люссак и Био производили свой воздушный полет. Точно так же возможно, что наблюдатели находились в таком отношении к более тепловому или более холодному воздуху в своем окружении, что они наблюдали различие,

<sup>1</sup> Annales de Chimie, Ann. XIII, LII, стр. 86.

<sup>2</sup> Edin. Phil. Trans., 1836, XIV, стр. 25.

вызванное или, скорее, измененное некоторыми из описанных только что обстоятельств (2951).

2962. Доказывают ли данные, полученные Гей-Люссаком и Био, что расстояние вызывает уменьшение силы, или нет, но мы знаем, что *существуют* большие изменения по направлению от магнитного экватора к северу и югу; а Гумбольдт и Бессель (Bessel) утверждают, что от экватора до западных берегов Баффинова залива магнитная сила увеличивается вдвое. И если столь малое количество кислорода, как одна треть кубического дюйма, будучи подвергнуто действию сильного магнита, способно проявить силу, равную одной десятой части грана, то мы можем легко представить себе, что огромная масса кислорода, содержащаяся уже в небольшом количестве миль нагретой или охлажденной атмосферы, способна компенсировать большую разность магнитной силы, а потому, при переходе с одного места на другое, вызовет потоки в виде аэтроа, источником которых является магнитная сила. В таком случае получается связь между магнитами и бурями, и магнитная сила Земли должна участвовать в механических смещениях и колебаниях атмосферы, и будет вызывать в некоторых случаях течения, которых без нее не было, а в других случаях будет противодействовать потокам, которые иначе могли бы возникнуть, смотря по тому, каким образом действуют большие разностные отношения, с помощью которых она проявляет свое влияние (2757): действуют ли они в одну сторону с другими естественными причинами движения воздуха или им противодействуют. Такие движения должны оказать свое действие на магнитные силы, так что последние должны перераспределяться; таким образом, в атмосфере должны происходить магнитные бури как материальные, так и потенциальные, подобно тем бурям последнего рода, существование которых подозревалось в Земле.

2963. Заканчивая настоящее сообщение, я должен выразить свою благодарность двум своим любезным и талантливым друзьям — полковнику Сэбайну и профессору Кристи — за ин-

терес, который они проявили к данному вопросу, а первому из них — за крайнюю готовность, с какой он позволил мне воспользоваться его наблюдениями и выведенными из них данными. При этом однако я отнюдь не хотел бы внушить кому-нибудь мысль, будто они несут какую-нибудь ответственность за те не совсем обычные взгляды, которые я взял на себя смелость изложить. Я должен откровенно признать, что многое из написанного мною основано на весьма недостаточном обсуждении данного вопроса, но я полагаю, что в изложении физической причины вариаций, которую я решился предложить, может заключаться некоторая основа истины, а потому, не колеблясь, ее изложил, считая, что она послужит прогрессу науки. Магнитные отношения и свойства кислорода совершенно ясны, отчетливы и имеют под собою экспериментальное основание (2774, 2780); перенос этих свойств на атмосферу нельзя назвать гипотетическим, так как атмосфера, будучи только смесью кислорода и азота, точно так же, как было доказано, обладает указанными свойствами (2862).<sup>1</sup> Ее магнитные свойства изменяются под влиянием причин, действующих на нее в естественных условиях и дающих ей возможность производить некоторые из тех явлений, которые я попытался в общих чертах описать.

2964. Если атмосфера, даже только отчасти, является причиной наблюдаемых магнитных вариаций, то очень важно установить и отличить такой источник действия хотя бы и несовершенно; ибо тогда внимание правильно и сознательно направляется на действия и явления, какие он способен вызывать. Намеченная причина обладает тем преимуществом, что она наблюдается периодически в те же периоды, что и большой класс явлений, которые, по предположению, вызываются той же причиной; и если по началу соответствие будет наблюдаться лишь в общих чертах, тем не менее это соответствие значительно усилит свое притязание на наше внимание. Она обладает тем

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 406, 409.

преимуществом, что поясняет и даже подсказывает много других магнитных явлений, помимо периодических; и она возникла перед нашим взором в такой момент, когда мы не представляем себе ясно какой-либо другой причины вариаций и вынуждены смутно относить их за счет воображаемых электрических токов в воздухе или в пространстве над ним или же внизу в Земле.

2965. Причина первоначальной силы, равно как и причина вековых изменений, нам неизвестны. Но представим себе, что мы рассматриваем Землю как магнит и умеем определенно отличать внутренние действия от внешних, а таким образом отделить большой класс явлений от остальных явлений; тогда мы могли бы точнее определить, что нам следует узнать и в том, и в другом направлении; мы могли бы более четко указать проблемы, требующие своего разрешения; и в нашем обладании оказалось бы гораздо больше способов к тому, чтобы правильно оценить каждый новый намек природы относительно источника силы и тех явлений, которые она перед нами обнаруживает.

2966. Магнитный характер кислорода кажется мне удивительным. Кислород в воздухе, это — то же, что железо в Земле. Весьма достопримечательно также почти полное исчезновение этого его свойства, когда он вступает в соединения, например, с азотом, углеродом и даже с железом, магнетизм которого он приводит в состояние, значительно уступающее магнетизму равного веса металла и кислорода. Наш ум поражает также наумительный контраст его с азотом, который его разбавляет; этот контраст напоминает также о том различии, какое существует между ними по отношению к статическому электричеству (1464) и вспышке молнии. Хлор, бром, циан и их химические аналоги не имеют никакого магнитного сходства с кислородом. В этом отношении, как и во всех своих химических действиях, кислород стоит в природе особняком.

2967. Предстоит еще много поработать над вопросом об отношении кислорода к магнетизму атмосферы.

Торонто. — Зап. долгота 77°5'. Сев. широта 43°40'. Приблизительная  
Суточная вариация склонения по отдельным месяцам  
Возрастающие числа обозначают движение юга

Среднее время в Торонто	Пол- день 0 ч.	1 ч.	2 ч.	3 ч.	4 ч.	5 ч.	6 ч.	7 ч.	8 ч.	9 ч.	10 ч.	11 ч.
Январь . . .	0:87	0:00	0:00	0:53	1:44	2:28	2:89	3:47	4:43	4:53	4:39	4:06
Февраль . . .	1.78	0.00	0.06	0.94	1.58	1.91	2.73	3.13	4.02	4.44	4.69	4.45
Март . . . .	1.44	0.01	0.00	0.59	1.74	2.90	3.82	4.77	5.63	6.60	6.47	6.86
Апрель . . .	1.25	0.00	0.16	1.02	2.76	4.12	5.14	6.31	7.05	7.14	7.60	7.66
Май . . . . .	1.16	0.00	0.29	1.56	3.24	5.11	6.08	6.27	6.18	6.75	7.36	7.49
Июнь . . . .	1.37	0.00	0.02	0.94	2.53	4.35	5.45	6.11	6.10	6.66	6.66	6.87
Июль . . . .	1.53	0.09	0.00	0.84	2.18	3.98	5.20	5.77	6.31	6.34	7.31	7.38
Август . . . .	1.11	0.00	0.73	2.61	4.52	6.12	7.60	7.52	8.05	8.97	8.51	8.40
Сентябрь . . .	0.03	0.00	0.76	2.92	4.62	6.04	6.78	6.83	7.62	7.84	7.83	7.08
Октябрь . . .	0.48	0.00	0.31	1.38	2.38	3.06	3.84	4.33	4.92	5.76	5.68	5.48
Ноябрь . . . .	0.75	0.00	0.34	1.37	2.21	2.91	3.96	4.89	5.16	5.70	5.54	5.26
Декабрь . . .	1.20	0.18	0.00	0.61	1.67	2.56	3.30	3.89	4.39	4.62	4.95	4.48

Средняя суточная вариация наклона по отдельным  
Возрастающие числа обозначают

Январь . . .	1.02	0.77	0.53	0.22	0.00	0.09	0.16	0.21	0.25	0.33	0.34	0.38
Февраль . . .	0.86	0.61	0.36	0.12	0.01	0.00	0.09	0.12	0.19	0.26	0.27	0.31
Март . . . .	1.02	0.77	0.47	0.14	0.00	0.00	0.12	0.22	0.24	0.35	0.40	0.44
Апрель . . . .	0.99	0.77	0.54	0.17	0.05	0.00	0.14	0.35	0.49	0.53	0.49	0.61
Май . . . . .	0.83	0.52	0.22	0.06	0.00	0.11	0.27	0.33	0.47	0.62	0.64	0.66
Июнь . . . .	0.89	0.60	0.26	0.05	0.00	0.00	0.16	0.34	0.53	0.68	0.73	0.83
Июль . . . .	0.67	0.55	0.17	0.07	0.00	0.06	0.17	0.24	0.39	0.40	0.51	0.56
Август . . . .	0.85	0.51	0.21	0.00	0.02	0.04	0.25	0.40	0.42	0.44	0.48	0.55
Сентябрь . . .	1.35	0.82	0.35	0.10	0.00	0.10	0.29	0.49	0.53	0.55	0.57	0.63
Октябрь . . .	0.93	0.67	0.39	0.14	0.00	0.06	0.21	0.30	0.37	0.39	0.40	0.49
Ноябрь . . . .	0.94	0.75	0.45	0.22	0.11	0.18	0.12	0.18	0.20	0.20	0.23	0.33
Декабрь . . .	0.91	0.88	0.51	0.27	0.05	0.01	0.02	0.16	0.21	0.27	0.33	0.30
Средние часо- вые . . . . .	0.94	0.69	0.37	0.13	0.02	0.05	0.17	0.28	0.36	0.42	0.45	0.51

для западное склонение 1925'. Среднее северное наклонение 75°15'  
 для июля 1842 до июня 1848 г. включительно  
 для или верхнего конца магнита на запад

Накло- нение 19 ч.	13 ч.	14 ч.	15 ч.	16 ч.	17 ч.	18 ч.	19 ч.	20 ч.	21 ч.	22 ч.	23 ч.	Средние суточные
3.66	3.42	3.63	3.87	4.46	3.84	3.88	4.44	5.48	5.80	4.79	3.03	3.30
4.31	3.81	3.54	4.07	3.97	4.86	4.95	5.20	5.97	5.70	4.64	2.53	3.43
6.04	6.42	6.55	6.34	6.69	6.59	7.10	8.30	9.38	9.40	7.15	4.22	5.21
7.39	7.32	7.65	7.82	8.08	8.33	9.46	10.09	10.20	9.10	6.87	3.74	6.09
7.40	7.26	6.72	7.10	7.80	9.70	11.02	12.16	12.03	10.28	6.90	3.52	6.39
6.77	6.50	6.37	6.36	7.29	9.03	11.34	12.34	12.09	10.54	7.67	4.04	6.12
7.67	7.06	6.42	6.37	6.86	8.53	10.54	12.01	12.22	10.69	7.65	4.27	6.13
8.14	7.69	7.65	7.83	8.24	9.50	12.09	13.89	13.79	11.51	7.31	3.73	7.31
7.50	7.66	7.53	7.77	8.45	8.38	9.79	11.16	10.24	8.60	5.34	2.25	6.37
5.00	5.21	4.89	5.16	5.82	5.74	5.50	6.39	7.32	7.02	5.17	2.63	3.89
4.51	3.79	3.80	4.51	4.44	4.99	4.95	5.70	6.31	6.08	4.57	2.35	3.92
4.09	3.49	3.04	3.56	3.92	4.02	3.81	4.18	4.50	5.22	4.67	2.83	3.30

для месяцев с июля 1842 до июня 1848 г.  
 для возрастающее наклонение

0.47	0.54	0.58	0.45	0.33	0.28	0.22	0.21	0.36	0.54	1.04	1.06	0.43
0.37	0.45	0.49	0.44	0.41	0.30	0.27	0.44	0.69	0.70	0.79	0.86	0.39
0.45	0.53	0.50	0.50	0.46	0.46	0.47	0.62	0.81	0.95	1.00	1.05	0.50
0.56	0.59	0.64	0.61	0.60	0.66	0.74	0.80	0.90	1.03	1.16	1.16	0.61
0.76	0.86	0.87	0.89	0.92	1.04	1.00	1.01	1.11	1.29	1.30	1.12	0.70
0.84	0.90	0.91	0.98	1.03	1.05	1.08	1.12	1.17	1.27	1.37	1.19	0.75
0.62	0.56	0.66	0.78	0.83	0.87	0.81	0.80	0.88	1.03	1.14	0.93	0.57
0.53	0.64	0.65	0.73	0.74	0.84	0.89	1.00	1.09	1.25	1.26	1.13	0.62
0.68	0.70	0.70	0.75	0.57	0.65	0.68	0.95	1.28	1.64	1.85	1.71	0.75
0.62	0.45	0.40	0.33	0.22	0.22	0.32	0.55	0.85	1.04	1.15	1.11	0.48
0.33	0.31	0.21	0.22	0.12	0.07	0.00	0.08	0.42	0.14	0.89	1.00	0.32
0.38	0.34	0.28	0.22	0.14	0.08	0.09	0.00	0.17	0.34	0.66	0.81	0.31
0.55	0.57	0.57	0.58	0.53	0.54	0.55	0.63	0.81	0.93	1.13	1.10	0.54

Торонто. — Средняя суточная вариация полной силы  
 Возрастающие числа обозначают возрастающую си  
 Цифры дают изменени

Среднее время	0 ч.	1 ч.	2 ч.	3 ч.	4 ч.	5 ч.	6 ч.	7 ч.	8 ч.	9 ч.	10 ч.	11 ч.
Январь . . .	.00 005	.00 011	.00 017	.00 023	.00 022	.00 024	.00 023	.00 023	.00 023	.00 020	.00 019	.00 015
Февраль . . .	006	012	019	022	024	026	026	027	025	023	019	017
Март . . . .	004	011	019	026	029	031	031	031	028	025	020	014
Апрель . . .	012	020	031	039	045	045	044	039	034	027	020	012
Май . . . . .	004	013	015	031	038	042	038	035	029	025	017	011
Июнь . . . .	003	008	017	025	029	031	030	028	022	018	014	011
Июль . . . .	015	019	030	038	044	047	043	039	031	026	021	015
Август . . . .	027	034	044	042	057	057	051	046	041	032	023	010
Сентябрь . . .	029	043	053	060	060	056	052	050	044	038	034	029
Октябрь . . .	013	021	027	032	032	033	033	034	031	026	023	018
Ноябрь . . . .	007	014	022	026	028	025	025	028	024	018	015	011
Декабрь . . .	004	010	019	020	023	021	021	021	019	018	017	012
Средние . . .	011	018	026	032	036	037	035	033	029	025	020	015

Средняя температура воздуха по отдельным месяцам с ию

Январь . . .	27°8	28°3	28°6	28°5	28°0	27°1	26°3	25°8	25°5	25°3	26°3	24°6
Февраль . . .	27.4	28.2	28.5	28.5	28.0	26.9	25.6	24.6	23.8	23.2	22.7	22.2
Март . . . .	33.8	34.4	35.0	34.9	34.3	33.6	31.9	30.5	29.5	28.6	28.0	27.3
Апрель . . .	47.6	48.5	49.0	49.0	48.6	47.9	46.1	43.5	41.8	40.7	39.8	39.3
Май . . . . .	59.0	59.9	60.2	60.3	60.3	59.9	58.1	55.2	52.6	50.7	49.7	48.8
Июнь . . . .	66.7	67.5	67.9	68.3	68.5	68.1	66.6	63.9	60.6	58.4	57.0	56.1
Июль . . . .	72.9	73.7	74.5	74.8	74.7	74.3	72.7	69.2	65.1	62.9	61.8	60.7
Август . . . .	73.0	73.9	74.5	74.8	74.6	74.1	72.5	68.4	65.3	63.6	62.4	61.6
Сентябрь . . .	63.9	64.5	64.9	64.9	64.7	63.7	61.1	58.3	57.1	56.0	54.9	54.2
Октябрь . . .	49.7	50.3	50.5	50.3	49.6	47.8	45.8	44.7	43.9	43.1	42.3	41.6
Ноябрь . . . .	39.5	40.0	40.1	39.9	39.0	37.7	36.9	36.3	35.9	35.7	35.3	34.9
Декабрь . . .	29.9	30.4	30.7	30.5	29.8	28.9	28.2	27.9	27.5	27.3	27.0	26.9
Средние . . .	49.27	49.97	50.37	50.39	50.01	49.17	47.65	45.69	44.05	42.98	42.27	41.52

по отдельным месяцам с июля 1842 до июня 1848 г.  
 в градусах Фаренгейта. Среднее значение полной силы в Торонто 13.9  
 и дюймов полной силы

12 ч.	13 ч.	14 ч.	15 ч.	16 ч.	17 ч.	18 ч.	19 ч.	20 ч.	21 ч.	22 ч.	23 ч.	Средние суточные
000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000
010	009	004	003	004	005	008	009	010	003	000	000	012
020	005	003	004	003	006	009	010	016	004	000	001	013
030	002	002	002	003	003	010	013	013	007	002	000	014
040	007	003	000	009	011	013	012	012	009	006	006	019
050	002	002	003	008	010	015	013	009	003	000	000	015
060	002	002	001	006	011	014	014	010	005	002	000	013
070	004	000	002	005	011	016	017	015	014	010	002	020
080	001	003	000	006	018	026	026	024	019	019	021	026
090	007	000	001	004	009	018	022	028	015	016	021	030
100	003	005	002	000	005	011	014	018	011	008	006	017
110	004	001	003	000	003	007	009	008	002	001	003	011
120	008	006	007	003	003	007	006	006	006	001	000	011
008	005	003	002	004	008	013	014	014	008	005	006	017

с июля 1842 до июня 1848 г. в градусах шкалы Фаренгейта

25.96	23.95	23.94	21.96	23.92	23.90	23.97	23.96	23.99	24.98	26.90	27.91	25.948
22.0	21.7	21.3	20.9	20.5	20.2	20.0	19.9	20.9	22.9	24.9	26.3	23.80
27.3	26.8	26.3	26.2	25.8	25.5	25.0	25.9	27.8	29.9	31.6	32.8	29.71
30.1	38.9	37.9	37.3	37.0	36.6	36.8	39.2	41.5	43.6	45.2	46.6	42.55
48.0	46.9	46.3	45.6	45.1	45.2	47.6	50.6	53.0	55.2	56.8	58.0	53.04
55.7	54.8	54.1	53.3	52.7	52.9	55.6	58.5	60.8	62.7	64.4	65.6	60.86
59.8	58.9	58.3	57.6	56.9	56.9	59.8	63.4	66.0	68.2	70.1	71.5	66.02
60.7	60.0	59.4	58.7	58.3	58.1	59.6	63.2	66.3	68.7	70.6	72.1	66.43
53.8	53.3	52.7	52.2	51.6	51.1	51.7	54.2	57.0	59.5	61.5	62.9	57.90
41.0	40.4	40.1	39.9	39.5	39.4	39.6	40.4	42.8	45.6	47.5	48.9	44.35
34.3	34.0	33.7	33.4	33.2	33.3	33.6	33.6	34.6	36.2	37.7	38.8	36.15
26.6	26.0	25.7	25.5	25.5	25.5	25.1	25.0	25.4	26.6	27.9	29.1	27.44
41.16	40.41	39.95	39.35	39.11	38.97	39.84	41.46	43.33	45.32	47.02	48.31	44.48

С. Петербург. — Восточная долгота 38°18'. Север  
Средняя суточная вариация склонения по отдель  
Возрастающие числа обозначают движение юж

Среднее время	Полдень 0 ч. 21½ м	1 ч. 21½ м.	2 ч. 21½ м.	3 ч. 21½ м.	4 ч. 21½ м.	5 ч. 21½ м.	6 ч. 21½ м.	7 ч. 21½ м.	8 ч. 21½ м.	9 ч. 21½ м.	10 ч. 21½ м.	11 ч. 21½ м.
Январь . . .	0:27	0:00	0:36	1:24	1:59	1:99	2:39	3:28	4:03	4:65	4:56	4:65
Февраль . . .	0:84	0:00	0:09	0:57	1:55	2:84	3:54	3:63	4:03	5:18	5:67	5:49
Март . . . .	0:89	0:00	0:04	1:15	2:88	4:16	5:36	6:29	6:73	6:78	7:40	7:84
Апрель . . .	1:59	0:00	0:36	2:17	4:03	5:54	7:04	7:93	8:33	8:02	9:30	9:17
Май . . . . .	1:02	0:00	0:62	2:13	3:68	5:49	6:96	7:44	7:18	6:82	7:44	8:24
Июнь . . . .	1:77	0:00	0:00	1:37	2:92	4:52	5:76	6:25	6:25	6:56	7:13	7:13
Июль . . . .	1:46	0:04	0:00	1:11	2:39	3:94	4:96	5:27	5:98	5:98	6:78	7:49
Август . . . .	0:27	0:00	0:40	2:44	4:16	5:94	7:04	6:73	7:49	7:27	7:35	7:27
Сентябрь . .	0:57	0:00	0:84	2:57	4:30	6:33	6:78	7:49	7:97	8:06	8:33	7:49
Октябрь . . .	0:31	0:00	0:48	1:77	3:59	4:08	4:87	5:76	6:02	6:56	6:91	6:20
Ноябрь . . .	0:09	0:00	0:36	1:55	1:90	2:71	2:79	3:15	3:81	4:39	4:47	4:34
Декабрь . . .	0:53	0:00	0:36	1:24	1:82	2:39	2:79	2:97	4:03	4:56	4:56	4:52
Средние . . .	0:80	0:00	0:33	1:61	2:90	4:16	5:02	5:52	5:99	6:24	6:66	6:65

Средняя температура воздуха по отдельным месяцам

Январь . . .	20°28	20°71	20°67	20°41	19°82	19°89	19°73	19°71	19°74	19°76	19°67	19°49
Февраль . . .	18.34	18.58	18.70	18.65	18.27	17.35	16.88	16.52	16.32	16.09	15.95	15.67
Март . . . .	25.61	26.30	26.97	27.01	27.01	26.13	24.74	23.88	23.20	22.44	21.94	21.31
Апрель . . .	37.85	38.07	38.58	38.81	39.53	38.63	36.54	34.62	33.35	32.38	31.42	30.72
Май . . . . .	53.46	53.80	54.31	54.72	55.10	54.29	52.23	49.84	47.91	46.19	45.38	43.90
Июнь . . . .	63.03	63.48	63.83	64.36	64.97	64.07	61.90	59.97	58.19	56.48	55.04	54.07
Июль . . . .	66.44	66.93	67.21	67.46	67.93	67.26	65.28	63.61	62.01	60.57	59.56	58.86
Август . . . .	67.10	68.00	68.56	68.69	69.23	68.56	65.73	63.70	62.26	60.89	60.08	59.22
Сентябрь . .	54.50	55.66	55.91	55.78	55.83	54.56	52.62	51.16	50.15	49.43	48.89	48.31
Октябрь . . .	41.92	44.80	42.76	41.96	41.78	40.92	40.30	39.89	39.56	39.31	38.86	38.52
Ноябрь . . .	29.73	30.22	30.88	29.75	29.26	28.96	28.83	28.67	28.58	28.41	28.52	28.49
Декабрь . . .	26.04	26.45	26.40	26.27	26.12	25.91	25.70	26.02	25.52	25.48	25.48	25.32

широта 59°57'. Среднее западное склонение 6°10'  
 ным месяцам от 1841 до 1845 г. включительно  
 ного или верхнего конца магнита на запад

Годы 12 ч. 21' м.	13 ч. 21½ м.	14 ч. 21½ м.	15 ч. 21½ м.	16 ч. 21½ м.	17 ч. 21½ м.	18 ч. 21½ м.	19 ч. 21½ м.	20 ч. 21½ м.	21 ч. 21½ м.	22 ч. 21½ м.	23 ч. 21½ м.	Средние суточные
4.43	3.72	3.77	3.10	2.57	2.22	2.35	2.17	2.08	1.86	1.42	1.02	2.49
5.27	4.52	4.34	4.65	4.34	3.90	4.03	3.77	3.50	3.23	2.61	1.46	3.29
6.69	6.51	5.76	6.11	6.38	6.16	6.65	6.56	6.73	6.38	4.96	2.79	5.05
8.08	8.46	8.73	8.59	9.17	9.30	9.48	10.01	10.68	9.75	7.58	4.61	7.01
8.55	8.73	8.82	9.66	10.23	10.72	11.12	11.39	11.12	9.92	7.49	3.54	7.01
7.49	8.28	8.68	9.70	10.23	10.94	11.30	11.39	11.52	10.10	7.35	4.12	6.70
7.66	7.71	8.42	8.55	9.30	9.52	9.83	9.75	9.04	8.46	6.96	3.90	6.02
8.02	8.11	8.06	8.55	9.30	9.88	10.19	10.19	9.44	8.42	5.67	3.15	6.47
7.04	7.31	7.40	6.78	7.04	6.91	7.27	7.31	7.13	6.25	4.12	1.95	5.72
5.71	5.18	4.78	4.39	4.16	3.99	4.21	4.83	5.09	4.65	3.32	1.59	4.10
3.68	3.06	2.75	2.35	2.22	1.82	1.82	1.90	1.77	1.77	0.93	0.57	2.26
3.68	3.10	2.88	2.53	2.04	1.82	1.77	1.77	1.82	1.68	1.28	0.93	2.29
6.41	6.22	6.20	6.25	6.42	6.43	6.67	6.75	6.66	6.04	4.47	2.47	4.87

от 1841 до 1845 г. включительно. Шкала Фаренгейта

19938	19933	19929	19919	19904	18990	18979	18979	18974	18981	19924	19998
15.55	15.48	15.39	15.19	14.97	14.88	14.76	14.65	15.19	15.66	16.61	17.35
20.70	20.07	19.62	19.26	18.84	18.54	18.34	18.74	19.87	21.38	22.95	24.53
30.07	29.55	29.08	28.61	28.36	28.42	29.21	30.63	32.16	33.75	35.39	36.79
43.16	42.37	41.83	41.47	41.56	42.73	44.19	46.06	47.88	49.57	51.17	52.65
53.26	52.58	52.00	51.50	52.27	53.33	54.95	56.57	58.21	59.72	59.02	62.15
58.05	57.33	56.86	56.48	56.68	57.53	58.86	60.59	62.06	63.43	64.76	65.90
58.14	57.60	57.20	56.57	56.14	56.73	57.65	59.45	61.29	63.12	64.71	66.06
47.75	47.25	46.85	46.44	46.26	46.06	46.17	47.21	48.76	50.56	52.20	53.37
38.32	38.14	38.00	37.85	37.73	37.67	37.53	37.71	38.28	39.11	40.12	41.04
28.47	28.45	28.42	28.27	28.13	28.04	28.00	27.95	28.07	28.42	28.83	29.37
25.21	25.12	24.96	24.85	24.85	24.92	25.03	25.03	25.14	25.25	25.39	25.79

Вашингтон. — С. Ш. Западная долгота 77°2'. Северная широта 38°54'.  
Средняя суточная вариация склонения в минутах и температура по  
Возрастающие числа обозначают движение юж

Среднее время	Полдень 0 ч. 12 м.	2 ч. 12 м.	4 ч. 12 м.	6 ч. 12 м.	8 ч. 12 м.	10 ч. 12 м.
Январь 1841—42	4.10	5.20	3.96	2.52	0.87	0.68
Февраль 1841—42	3.55	5.28	4.22	2.89	1.59	0.94
Март 1841—42	6.34	7.51	6.26	4.25	2.88	2.31
Апрель 1841—42	6.56	8.33	6.42	4.41	3.22	1.97
Май 1841—42	7.72	8.57	6.36	4.45	3.82	3.47
Июнь 1841—42	8.55	9.47	8.00	5.33	4.91	4.24
Июль 1840—41	8.42	9.87	8.07	5.75	4.57	3.52
Август 1840—41	10.94	10.81	7.95	6.00	4.03	3.55
Сентябрь 1840—41	8.76	8.44	5.43	4.45	2.62	3.31
Октябрь 1840—41	5.65	5.83	4.35	2.47	1.41	0.58
Ноябрь 1840—41	4.69	4.79	3.33	1.60	0.51	0.74
Декабрь 1840—41	3.93	4.90	3.39	1.92	0.10	0.36

Темпе

Среднее время	Полдень 0 ч. 12 м.	2 ч. 12 м.	4 ч. 12 м.	6 ч. 12 м.	8 ч. 12 м.	10 ч. 12 м.
Январь 1841—42	38°28	40°83	40°18	36°68	35°47	34°24
Февраль 1841—42	40.03	42.51	42.28	38.22	35.38	33.86
Март 1841—42	51.39	53.61	53.28	49.96	46.20	44.37
Апрель 1841—42	57.68	59.81	60.20	57.21	52.18	49.12
Май 1841—42	66.37	68.48	68.69	65.93	59.83	56.70
Июнь 1841—42	79.32	81.85	82.75	76.89	72.29	68.70
Июль 1841	81.13	81.53	84.60	81.33	74.93	71.56
Август 1840—41	78.70	80.73	80.09	75.93	71.48	68.00
Сентябрь 1841	74.66	76.50	76.30	72.30	68.59	64.90
Октябрь 1841	55.30	57.00	56.20	52.94	48.40	46.60
Ноябрь 1841	48.00	49.20	48.50	47.30	44.20	43.20
Декабрь 1841	39.20	41.30	40.60	37.95	36.26	34.70

Среднее западное склонение  $1^{\circ}25'$ . Среднее северное наклонение  $71^{\circ}20'$   
 шкале Фаренгейта в течение указанных ниже месяцев 1840, 1841, 1842 г.  
 ного или верхнего конца магнита на восток

12 ч. 12 м.	14 ч. 12 м.	16 ч. 12 м.	18 ч. 12 м.	20 ч. 12 м.	22 ч. 12 м.	Средние суточные
1.01	1.62	1.66	1.71	0.91	0.29	2.04
0.84	1.26	0.81	0.82	0.60	0.35	1.76
2.50	3.00	1.71	1.13	0.00	1.76	3.30
2.24	1.35	0.73	0.46	0.00	2.18	3.15
3.25	3.05	2.63	0.33	0.00	4.25	3.99
4.05	4.32	3.44	0.63	0.00	4.53	4.79
3.60	3.40	2.99	0.98	0.00	3.62	4.56
4.48	4.64	4.04	1.35	0.00	5.89	5.30
2.83	2.86	2.44	0.87	0.00	4.22	3.85
1.41	1.80	1.51	1.35	0.00	1.75	2.34
1.14	1.41	0.82	0.71	0.00	1.83	1.79
0.62	1.53	0.93	2.00	1.02	0.87	1.79

ратура

12 ч. 12 м.	14 ч. 12 м.	16 ч. 12 м.	18 ч. 12 м.	20 ч. 12 м.	22 ч. 12 м.
32.937	32.910	31.971	30.953	31.963	36.996
32.58	31.22	30.51	30.18	31.44	36.72
42.48	41.26	40.06	39.87	42.28	48.06
47.90	46.91	46.12	46.49	49.93	54.02
55.19	53.34	52.42	55.50	59.72	63.23
66.83	66.04	65.07	68.26	73.63	77.37
68.78	68.09	66.78	70.64	75.19	78.38
66.82	65.12	64.17	65.69	65.73	76.09
62.70	61.90	61.00	61.29	65.73	71.02
44.90	43.70	42.30	41.70	45.00	51.61
41.80	40.70	39.40	38.80	39.50	44.10
33.50	33.16	32.20	31.60	31.69	36.00

Озеро Атабаска. — Западная долгота 118°18'. Север  
Суточная вариация склонения в течение месяцев октября,  
Возрастающие числа обозначают движение

Среднее время	12 ч. 55 м.	13 ч. 55 м.	14 ч. 55 м.	15 ч. 55 м.	16 ч. 55 м.	17 ч. 55 м.	18 ч. 55 м.	19 ч. 55 м.	20 ч. 55 м.	21 ч. 55 м.	22 ч. 55 м.	5 мин. до полудня 23 ч. 55 м.
1843												
Октябрь	1:13	7:49	6:23	18:95	21:32	8:55	13:35	9:90	10:72	7:03	2:29	2:70
Ноябрь . .	3:73	5:17	6:74	9:07	10:35	10:80	9:40	8:80	7:63	6:54	1:10	0:00
Декабрь . .	3:04	6:16	5:57	5:65	9:23	7:61	9:78	6:73	6:58	5:33	1:94	0:55
1844												
Январь . .	5:69	8:48	6:97	12:57	16:29	10:05	9:97	10:02	9:96	7:95	4:99	2:10
Февраль . .	4:27	4:93	8:46	10:55	14:80	14:87	14:06	12:10	12:76	8:64	2:82	2:93

Форт Симпсон. — Западная дол  
Суточная вариация склонения в те  
Возрастающие числа обозначают движение юж

Среднее время	15 минут после полу- дня 12 ч. 15 м.	13 ч. 15 м.	14 ч. 15 м.	15 ч. 15 м.	16 ч. 15 м.	17 ч. 15 м.	18 ч. 15 м.	19 ч. 15 м.	20 ч. 15 м.	21 ч. 15 м.	22 ч. 15 м.	23 ч. 15 м.
1844												
Апрель . .	5:82	6:03	17:45	25:16	22:90	36:80	36:26	37:60	30:14	25:27	18:77	8:27
Май . . . .	1:56	7:77	11:71	15:63	17:19	23:73	28:22	32:69	29:80	20:29	15:51	9:49

широта  $58^{\circ}41'$ . Среднее восточное склонение  $28^{\circ}$   
ноябрь и декабрь 1843 г. и январь и февраль 1844 г.  
южного или верхнего конца магнита на запад

0 ч. 55 м.	1 ч. 55 м.	2 ч. 55 м.	3 ч. 55 м.	4 ч. 55 м.	5 ч. 55 м.	6 ч. 55 м.	7 ч. 55 м.	8 ч. 55 м.	9 ч. 55 м.	10 ч. 55 м.	5 минут после полуночи 11 ч. 55 м.	Среднее время
0:00	0:29	0:02	0:98	0:49	2:88	1:88	3:75	3:47	3:30	8:42	0:49	13 сут. набл. в октябре 1843 г.
1:06	1:57	1:93	2:73	2:94	3:34	4:52	4:97	5:43	7:08	3:04	3:63	25 сут. набл. в ноябре 1843 г.
0:03	0:00	0:83	2:37	2:63	3:81	4:18	3:57	4:35	7:19	4:05	6:05	25 сут. набл. в декабре 1843 г.
0:39	0:00	2:75	1:67	2:47	3:63	4:72	5:15	5:44	3:97	6:71	2:18	25 сут. набл. в январе 1844 г.
1:55	0:00	1:48	3:24	3:76	4:52	4:96	5:48	5:58	4:99	6:98	5:40	25 сут. набл. в феврале 1844 г.

широта  $121^{\circ}30'$ . Северная широта  $61^{\circ}52'$   
первые месяцы апрель и май 1844 г.  
южного или верхнего конца магнита на запад

15 минут после полудня 0 ч. 15 м.	1 ч. 15 м.	2 ч. 15 м.	3 ч. 15 м.	4 ч. 15 м.	5 ч. 15 м.	6 ч. 15 м.	7 ч. 15 м.	8 ч. 15 м.	9 ч. 15 м.	10 ч. 15 м.	11 ч. 15 м.	Среднее время
5:72	2:16	0:00	1:37	1:23	0:43	0:30	4:04	4:62	1:26	2:86	5:55	20 сут. набл. в апреле 1844 г.
4:74	3:75	0:70	0:75	0:80	0:00	0:19	1:90	6:72	3:51	2:29	1:67	18 сут. набл. в мае 1844 г.

Необходимо точно установить относительную величину его парамагнитной силы при различных температурах и при различных степенях разрежения, и я надеюсь это сделать с помощью изготовляемых ныне крутильных весов (2783). Я имею полную надежду, что этот большой вопрос путем как опыта, так и наблюдения получит надлежащее освещение и испытание, а потому даю ему место в настоящих экспериментальных исследованиях.

2968. Едва ли можно думать над вопросом об атмосферном магнетизме без того, чтобы пред нами не встал другой большой вопрос (2442). Какова в природе конечная цель этого магнитного свойства атмосферы, ее способности подвергаться годичным и суточным изменениям и полной утраты этого свойства, когда она вступает в соединения при горении и дыхании? Нет сомнения в том, что такая цель, а может быть, и несколько целей, существует, так как в природе нет ничего лишнего. В физических силах мы не находим никаких недочетов или избытков действия. Самый малый запас столь же важен, как и самый большой. Нет недостатка ни в чем, ничего нельзя сберечь.

*Королевский Институт.*

*14 сентября 1850 г.*

### Дополнение

Поступило 12 ноября 1850 г.

Вышеприведенные таблицы данных [стр. 368—378], полученных в Торонто, С. Петербурге, Вашингтоне, на Озере Атабаска и в Форте Симпсона, переданные мне благодаря любезности полковника Сэбайна, до сих пор не были еще опубликованы. Данные для Гобартона и Гринвича находятся в томах наблюдений этих станций.

## РАЗДЕЛ 33

### Об атмосферном магнетизме (продолжение)

#### ГЛАВА II

#### *Экспериментальное исследование законов магнитного действия атмосферы и их применение к отдельным случаям*

2969. Полагая, что опыт может во многом содействовать разработке общих основ атмосферного магнетизма и быстро дать фактический материал, на котором ученые затем смогут воздвигать свои построения, я постарался изыскать некоторые средства, посредством которых можно было бы фактически представить действие нагретой солнцем атмосферы на магнитные кривые земли. Моей целью было получить некоторую центральную силовую установку, которая отклоняла бы эти кривые или линии — подобно тому, как они отклоняются в диамагнитном проводнике или в шаре нагретого воздуха (2877), и затем с помощью результатов, полученных на этой установке, подвергнуть проверке различные примеры, представляемые нам рассеянными по всей земле магнитными обсерваториями. Сначала я полагал, что будет удобно достичь поставленной цели посредством подковообразного магнита; я полагал, что можно воспользоваться линиями, проходящими от полюса

---

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1851, стр. 85.

к полюсу, для того чтобы возмущать и располагать по-иному магнитную силу земли. Однако сравнительная слабость земной силы вблизи магнита и сильное превосходство полюсов последнего породили ряд неудобств; это побудило меня в скором времени отказаться от этого метода и прибегнуть к кольцеобразной катушке и гальваническому прибору. Принимая во внимание новое применение, какое здесь получила катушка, интерес, который представляют результаты, и указания, которые могут быть из них извлечены, мне извинят некоторую элементарность описания ее устройства и действия.

2970. Катушка была изготовлена приблизительно из 12 футов обмотанной медной проволоки, которая была свита в виде кольца, содержавшего около 25 витков и имевшего  $1\frac{1}{2}$  дюйма во внешнем диаметре. Концы этой проволоки были обвиты друг около друга, чтобы нейтрализовать магнитное действие, какое они могли бы произвести; они были достаточно длинны, чтобы их можно было присоединить к гальванической батарее, а катушку все-таки можно было свободно перемещать. О необходимой величине магнитной силы в катушке можно судить на основании следующих соображений. Представим себе свободно подвешенную стрелку склонения и затем на некотором расстоянии от нее катушку с осью на продолжении стрелки; пусть катушка будет обращена к стрелке той стороной, которая на малых расстояниях должна вызвать отталкивание. Стрелка будет устанавливаться с некоторой силой в магнитном меридиане; при приближении катушки она будет устанавливаться с меньшей силой, а при определенном расстоянии она уже будет устанавливаться не в магнитном меридиане, а либо с той, либо с другой стороны от последнего. Существует определенное расстояние, при котором стрелка, находясь в магнитном меридиане, оказывается в положении неустойчивого равновесия, но за этим расстоянием ее равновесие устойчиво; это расстояние изменяется в зависимости от силы возбуждающего электрического тока. Сила катушки должна быть такова, что когда ось ее находится на продол-

жении стрелки, последняя должна находиться в состоянии устойчивого равновесия в меридиане. Одной пары пластин вполне достаточно для того, чтобы сделать катушку в такой мере магнитной, в какой это необходимо для расстояний от 4 до 24 дюймов. Когда стрелка установлена надлежащим образом с магнитом или с катушкой, расположенными к северу или югу от нее, как это было описано выше, то при перемещении магнита или катушки на запад ближайший конец стрелки перемещается на восток, и наоборот.

2971. Как известно, такая катушка обладает системой магнитных линий, которые проходят через ее ось, изгибаются наружу и, обойдя ее с внешней стороны, снова входят вдоль оси, так что круги магнитной силы повсюду перпендикулярны к электрическому току, проходящему через витки катушки. Таким образом, в любой момент времени я располагал источником магнитных силовых линий именно того вида, какой требовалось получить, наряду с силовыми линиями Земли, причем расположение этих сил совпадало с расположением сил при парамагнитной или диамагнитной поляризации (2865, 2877).

2972. Действительно, пусть рис. 213 представляет сечение, параллельное оси кольцеобразной катушки; тогда две окружности представят расположение магнитной силы в этом сечении, а стрелки покажут то магнитное направление, которое присуще силовым линиям, исходящим из северного конца магнита. Если такую систему внезапно создать среди магнитных линий Земли, то она воздействует на них в соответствии с положением катушки относительно направления земной силы. Выберем те два положения, при которых ось катушки параллельна естественному направлению силы, как оно обнаруживается с помощью свободной стрелки, помещенной в месте наблюдения; тогда получается два противоположных действия, которые в отношении внешних линий системы с катушкой соответствуют полярности парамагнитных и диамагнитных проводников. Так, например, если катушка поставлена так,

что полярность ее магнитных линий, проходящих вне кольца и в плоскости последнего, совпадает с полярностью земной магнитной силы, как это показано на рис. 214, то земные силы отклоняются указанным на рис. 214 образом, и магнитная стрелка, помещенная в *a* и занявшая свое положение под влиянием земного магнетизма, не будет стремиться изменить своего положения при приближении к ней катушки, хотя катушка будет на нее действовать теперь сильнее. В других точках линии *bac* она будет изменять свое положение, устанавливаясь



Рис. 213.

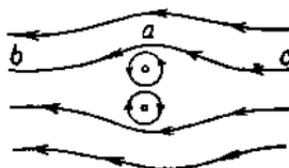


Рис. 214.

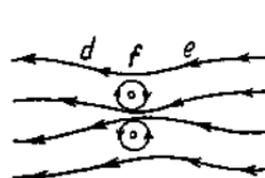


Рис. 215.

по касательной к кривой, и будет поэтому при передвижении вдоль этой линии (или вдоль соседних линий) отклоняться то в одну сторону, то в другую, но не будет оставаться параллельной самой себе, как это было бы, если бы электромагнитной катушки здесь не было.

2973. С другой стороны, если мы повернем катушку во второе положение (2972), то влияние на направление соседних силовых линий будет таким, какое показано на рис. 215. Если поместить стрелку в *d* и *e*, она снова отклонится от своего естественного положения, сообщаемого ей землей, но направление, в котором она отклонится, будет противоположно тому, в каком происходило бы отклонение, если бы стрелка находилась в соответственном положении при первой установке. Рис. 215 и показанное на нем положение вещей представляют парамагнитное расположение сил, рис. 214 изображал диамагнитное состояние.

2974. Я не хочу утверждать, что, как целое, все это расположились сил тождественно с тем, какое имеет место в случаях

парамагнитных и диамагнитных проводников. Здесь вместо действия земной магнитной силы введены независимые от нее системы, и поэтому центральную часть наших установок следует исключить; здесь существуют также притяжения внутри и отталкивания наружу, когда стрелка находится в  $a$  и  $f$ , чего не происходит, когда действуют только магнитные свойства (тел). Но за пределами этих систем с катушкой, на расстояниях от 2 дюймов до 2 или 3 футов, расположение, сообщаемое земным силовым линиям, вполне соответствует тому, какое производится диамагнитными или парамагнитными проводниками. Силовые линии, измененные вышеуказанным способом, и силовые линии, искривленные Солнцем и атмосферой в великом магнитном поле природы, сравнимы друг с другом в отношении их направления, и можно считать, что они друг друга могут представлять.

2975. Для того чтобы получить в простом виде результат действия такого центра силы на магнитные линии Земли, я установил по направлению стрелки наклона стержень, а у основания его плоскость, параллельную магнитному экватору в Лондоне. Затем я подвесил на коконовой нити небольшой магнит длиною в полдюйма таким образом, чтобы, вися, он был параллелен магнитному экватору; я приладил его так, чтобы он находился поблизости от плоскости у основания стержня, представляющего наклонение. После этого я соединил кольцеобразную катушку (2970) с гальванической парой, так что в любой момент можно было замкнуть ток; катушку я держал все время параллельно самой себе и плоскости магнитного экватора; ее можно было подносить к магнитной стрелке со всех сторон, сверху и снизу, и наблюдать при этом ее действие на стрелку. Так как моя цель заключалась в том, чтобы представить действие Солнца, то я направлял ток в катушку таким образом, чтобы верхняя сторона ее отталкивала северный конец магнитной стрелки; ибо в этом случае магнит, находящийся вне кольца, но в его плоскости, не должен был стремиться изменить свое положение, и расположение

сил земного магнетизма под влиянием катушки было такое же, как на рис. 214, т. е. такое, как у диамагнитного проводника.

2976. При подобного рода наблюдениях, и в особенности когда кольцеобразную катушку намеренно держат на значительном расстоянии от магнитной стрелки, не следует соединять катушку с батареей на все время и после этого перемещать ее по направлению к магнитной стрелке и около последней; лучше наметить то место, где желательнее наблюдать действие катушки, привести катушку туда и затем включить батарею: тогда легко наблюдать движение стрелки и ее направление. А если вследствие дальности расстояния движение магнитной стрелки слабо, то можно несколько раз замыкать и размыкать ток изохронно с колебаниями магнитной стрелки; таким образом можно скоро довести это действие до любой величины по желанию.

2977. Если принять магнитную стрелку за центр, то существуют некоторые связанные с ней положения, которые следует ясно себе представлять. Магнитная ось представляет собою линию, проходящую через центр свободной правильной магнитной стрелки параллельно направлению земных силовых линий, все равно, какого вида, в том месте, где могут производиться опыты. Плоскость магнитного экватора, это — плоскость, проходящая через центр магнитной стрелки нормально к магнитной оси. Плоскость магнитного меридиана, это — та плоскость, которая совпадает с магнитной осью, а также с направлением, в котором устанавливается магнитная стрелка склонения. Это положение занимают всегда магниты, которыми пользуются для наблюдения, что является следствием способа их подвешивания: если бы магнитная стрелка была перпендикулярна к механической оси, а последняя направлена по магнитной оси, то стрелка не заняла бы этого положения.

2978. Когда кольцеобразная катушка, установленная указанным выше образом (2975), была расположена где-нибудь в плоскости *магнитного меридиана*, то она вовсе не оказывала на стрелку склонения действия, которое бы стремилось изме-

нить ее положение. Когда катушка была установлена где-нибудь в плоскости магнитного экватора, то она не оказывала на стрелку никакого действия, которое заставило бы ее изменить свое направление. Это — единственные места, в которых катушка не влияет на положение магнитной стрелки.

2979. Эти две плоскости, в которых не происходит никаких изменений, разделяют пространство вокруг магнита на четыре квадранта, и когда катушка находится в одном из этих квадрантов, то она влияет на магнитную стрелку, изменяя ее склонение. Отклонение силовой линии в двух соседних квадрантах происходит в противоположных направлениях, так что при перемещении катушки из нейтральной линии в тот или другой квадрант склонение магнитной стрелки изменяется.

2980. Если катушка находится над магнитным экватором или под ним и если обвести ее вокруг магнитной оси, двигаясь по линии широты, то магнитная стрелка во время обвода совершает *одно* большое колебание вправо и другое влево. Положим, что этот опыт начинается с того, что катушка находится над экватором и в плоскости магнитного меридиана к северу от магнитной стрелки. Если теперь катушка будет двигаться через запад на юг и через восток к начальному своему положению, то северный конец магнитной стрелки пойдет сначала на запад; затем он остановится и вернется на восток, пройдя через среднее положение, и, наконец, вернется на запад и установится в первом, или исходном своем направлении. Когда катушка находится на магнитном востоке стрелки, отклонение, вызываемое ею, одинаково; то же самое имеет место, когда она находится на западе. Отклонение будет больше или меньше, но оно не будет уходить в другую сторону от нейтрального положения. Если катушка расположена к северу или к югу от магнитной стрелки и если катушка остается по одну и ту же сторону от магнитного меридиана, она не влияет на направление отклонения магнитной стрелки, но влияет на его величину. Когда катушка находится под магнитным экватором, то направление склонения меняется на противоположное, но

и в этом случае оно и теперь изменяется, пока катушка остается к востоку или западу от магнитной стрелки и от плоскости ее среднего склонения.

2981. Если обводить катушку вокруг магнитной стрелки в плоскости, перпендикулярной к плоскостям магнитного экватора и меридиана, и при этом последовательно проходить все четыре квадранта, то магнитная стрелка за время обвода совершает *два* колебания туда и назад (а не одно). Так, если вначале катушка будет находиться в нейтральном положении над магнитной стрелкой, затем пойдет на запад и вниз, а дальше на восточную сторону и вверх до первоначального своего положения, то северный конец стрелки сначала отклонится на запад, затем на восток, затем на запад, после этого на восток и, наконец, на запад в свое исходное или нейтральное положение.

2982. Если переносить катушку из нейтральных плоскостей (2978) в который-нибудь из квадрантов, то прежде всего возникает способность влиять на склонение магнитной стрелки, а затем эта способность непрерывно увеличивается, начиная от края квадранта; она достигает максимума в середине квадранта. Таким образом, максимальное отклонение на восток или запад происходит тогда, когда катушка находится в середине каждого квадранта. Итак, если перенести катушку из середины одного квадранта в середину соседнего, то в магнитной стрелке возникает лишь *одно движение*, например увеличение западного склонения, хотя направление склонения по отношению к среднему положению за это время изменяется на противоположное, и в некоторый момент магнитная стрелка не имела никакого добавочного склонения, а находилась в среднем положении. Точно так же, когда катушка движется по квадранту от одной нейтральной плоскости до другой, то хотя вызываемое ею отклонение стрелки не изменяет своего направления, а остается, например, все время западным, магнитная стрелка за это время проделывает два движения; она движется сначала на запад во время увеличения силы, а затем на восток во время ее уменьшения. Именно из-за этого оказывается, что

хотя магнитная стрелка *четыре* раза отклоняется, отходит от нейтрального или среднего своего положения и возвращается к последнему, пока катушка обходит ее по вертикальной плоскости, направленной с востока на запад (2981), однако магнитная стрелка прodelьывает только *два* полных колебания.

2983. Величина отклонения уменьшается при увеличении расстояния от катушки до магнитной стрелки, и наоборот.

2984. Были подвешены весьма наклонно к магнитной оси (2975) две другие магнитные стрелки; одна из них — северным концом вверх, другая — северным концом вниз, и я подверг их такому же действию катушки, как и прежнюю (2978). Действие, произведенное на них, было совершенно одинаково; никакого различия не обнаружилось, т. е. определенный конец двигался у них всегда одинаковым образом при одном и том же изменении положения катушки. Когда катушка находилась весьма близко, то при некоторых положениях действие на один полюс было несколько больше, чем на другой; но при удалении от них катушки это различие, которое легко объяснить на основании (2970), исчезало, и результаты получались чистые. Когда я ставил катушку выше или ниже продолжения магнитной стрелки, то это не создавало *никакого различия*, если только она оказывалась в одинаковом месте по отношению к магнитному экватору магнитных силовых линий земли, проходящих через магнитную стрелку.

2985. Я хотел установить природу того действия, какое такая катушка, стоящая всегда в данном, т. е. диамагнитном, положении (2975), может оказать на *наклонение*; для этого я подверг ее действию небольшую стрелку наклонения и получил следующие результаты. Магнитная стрелка могла двигаться в плоскости, проходящей через магнитный меридиан Лондона.

2986. Когда катушка находилась в плоскости магнитного экватора или в плоскости, перпендикулярной к той, в которой расположена механическая ось магнитной стрелки, то последняя совсем не отклонялась. При каждом другом положении катушка оказывала на магнитную стрелку некоторое

действие. Таким образом, как и раньше, указанные две плоскости разделили сферу действия катушки на четыре сегмента.

2987. Когда катушка переходит из одного квадранта в другой, направление, в котором происходит отклонение магнитной стрелки, как и раньше (2982), изменяется. Когда катушка находится в верхнем северном сегменте или в нижнем южном сегменте, то верхний, т. е. южный конец магнитной стрелки отклоняется к югу; когда катушка находится в верхнем южном сегменте или в нижнем северном, то верхний или южный конец магнитной стрелки отклоняется к северу. Если катушку обвести вокруг магнитной стрелки в направлении плоскости движения (стрелки), которая в данном случае является плоскостью магнитного меридиана, то конец магнитной стрелки, выйдя из среднего положения, в котором действия нет, движется сначала в одном направлении, например на север, а затем на юг, после этого снова на север и снова на юг, и наконец на север, чтобы вновь занять свое место покоя. Таким образом, в данном случае имеется два крайних отклонения в конце каждого направления, так же, как это было раньше, когда мы говорили о склонении магнита (2982).

2988. Другими словами, когда катушка находилась где-нибудь под магнитным меридианом, то *нижний* или северный конец магнитной стрелки устремлялся наружу или к внешней стороне катушки, как если бы он *отталкивался* осью катушки, но *притягивался* внешними кривыми силовыми линиями (рис. 216) (2992). Когда же катушка находилась над экватором, то отходил от катушки *верхний* или южный конец магнитной стрелки; его движение относительно катушки было в том же самом направлении, в каком двигался раньше нижний полюс.

2989. Я повернул рамку магнитной стрелки на  $90^\circ$ , вследствие чего плоскость, в которой магнитная стрелка могла двигаться, повернулась на  $90^\circ$  от магнитного меридиана. Благодаря этому повернулась на  $90^\circ$  и плоскость, в которой магнитная стрелка не испытывала на себе никакого действия, так что теперь она совпала с магнитным меридианом; плоскость,

проходящая с востока на запад, которая раньше была нейтральной, перестала быть плоскостью безразличия; теперь она проходила, наоборот, посередине сегментов через места наиболее сильного действия.

2990. Здесь при *наклонении* — так же, как и раньше при *склонении* — возможное действие катушки на магнитную стрелку определяется не направлением, в котором устанавливается магнитная стрелка, ибо последняя может быть нагружена или как либо иначе ограничена в своей подвижности (это можно сделать со всеми горизонтальными стрелками), но зависит от *направления* силовых линий у магнитной стрелки, которые вместе с катушкой определяют все. Безразлично, где находится катушка: выше продолжения магнитной стрелки или ниже, ибо пока она остается на одной и той же стороне от силовой линии, под влиянием которой магнитная стрелка действует, конец магнитной стрелки движется в одном и том же направлении, хотя в одном случае она и может идти по направлению к катушке, а в другом от нее отходить.

2991. Я подвесил магнитную стрелку таким образом, что она могла свободно двигаться во всех направлениях, и тогда я получил простое естественное действие от катушки или от диамагнитного шара (2877) на данной силовой линии, и это действие следует хорошенько запомнить. Действительно, хотя в целях практического наблюдения мы вынуждены разлагать положение магнитной стрелки на две части, склонение и наклонение, однако результаты в каждом отдельном случае гораздо легче сравнивать и запоминать, когда мы храним в уме для справки простой закон изменения силовой линии. Экваториальная плоскость и магнитная ось являются теперь единственными местами, в которых катушка может находиться, не оказывая влияния на положение магнитной стрелки. Первая из них указывает (для катушки) места, где магнитная стрелка имеет устойчивые положения, вторая же дает места устойчивого и неустойчивого ее положения, в зависимости от расстояния до катушки.

2992. Когда катушка находится вне плоскости и оси, то ближайший к ней конец магнитной стрелки отдаляется от нее, как бы отталкиваясь от нее. Если катушку обводить по кругу широты, то конец магнитной стрелки движется кругом вперед ее — совершенно так, как верхний конец магнитных стрелок в Гобартоне и Торонто по отношению к Солнцу в полуденные часы. Вместо того, чтобы двигать катушку вокруг магнитной стрелки, мы можем ставить стрелку в различные положения относительно катушки, и тогда рис. 216 покажет нам полу-

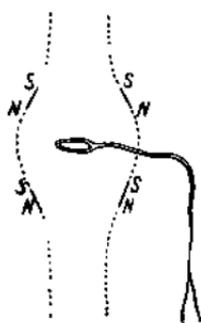


Рис. 216.

чающийся при этом результат. Последний чрезвычайно прост и находится в совершенном согласии с диамагнитным распределением вызываемых катушкой сил (2972); они показаны двумя пунктирными линиями.

2993. Дабы представить эти факты таким образом, чтобы их можно было применить для истолкования и пояснения естественных явлений, можно относительно *склонения* сказать, что когда катушка находится сверху магнитной стрелки в плоскости, имеющей наклонение, и, следовательно, над ее

магнитным экватором, то в случае, если она находится к востоку от магнитной стрелки, имеющей северное наклонение, она гонит южный или верхний конец стрелки на запад; если она находится к востоку от магнитной стрелки, имеющей южное наклонение [занимая, таким образом, противоположное прежнему положение (2972)], то она заставляет северный или нижний конец стрелки идти на запад. Создается впечатление, что она отталкивает конец свободной магнитной стрелки или ту часть магнитной линии, которая к ней ближе. Что касается *наклонения*, то можно сказать, что когда катушка стоит выше магнитной стрелки, она стремится оттолкнуть от себя верхний конец магнитной стрелки или силовую линию. Когда катушка находится к северу от магнитной оси, то она стремится направить верхний конец магнитной стрелки на юг, а когда она на-

ходится к югу от магнитной оси, то верхний конец стрелки идет на север. Как и в случае склонения, получается так, как будто ближайший конец магнитной стрелки или ближайшая к ней силовая линия отталивается. В действительности все (частные) случаи охватываются общим правилом: если катушка установлена диамагнитно (2975) для свободной магнитной стрелки, то — все равно, где она находится: выше стрелки или ниже ее, с той или с другой стороны от нее, ближайший конец магнитной стрелки как бы отталкивается, если только катушка не занимает нейтрального положения.

2994. Я повторил все эти опыты, перевернув катушку, для того, чтобы воспроизвести действие парамагнитного шара воздуха (2865, 2973). Я должен сказать одно, что явления получились совершенно те же по своей природе и порядку, но только в противоположном направлении. Они понадобятся нам при объяснении ночных и ранних утренних действий, вызываемых охлаждением атмосферы (3003, 3010).

2995. Для того чтобы законы отклонения могли выявиться в своей простоте, я подвесил магнитную стрелку в этих опытах в воздухе, а модель, изображающую солнечное действие, перемещал около нее во всех направлениях. Но в природе воздух находится только сверху от магнитной стрелки, а под ней магнит — Земля. Сверх того в естественных условиях линии в Земле (2919) привязаны к месту; это удерживает их под поверхностью Земли, стремится сообщить им на поверхности гораздо большее отклонение, чем они имели бы, если бы в Земле внизу они могли двигаться так же свободно, как в пространстве наверху.<sup>1</sup> И хотя это отклонение совпало бы с отклонением, которое вызывает катушка, когда она одна, тем не менее было

<sup>1</sup> Если обратиться к шаровой модели холодного воздуха (2874), то станет ясно, что если бы пространство под горизонтальными линиями *a*, *c* и *s. d.* было занято веществом, удерживающим в себе линии, то отклонения, показанные теперь в местах, расположенных ниже, проявились бы над удерживающими поверхностями и притом в гораздо большей степени, хотя вниз они распространились бы на гораздо меньшее расстояние

важно проверить его действие. Поэтому я взял стержневой магнит небольшой силы длиною в 30 дюймов и подвешивал над ним в разных местах магнитную стрелку с тем, чтобы можно было получить северное и южное наклонение желаемой величины или же полное отсутствие наклонения в близких к середине частях магнита. Было представлено также, в известной мере, как действует недостаток воздуха внизу; а для того, чтобы придать этому опыту большую показательность, я помещал иногда возле средней части магнита и под нею железные массы. Влияние на результаты, получаемые с катушкой, в сильной степени сказалось на *величине* отклонения, но не на его направлении. Когда же катушка оказывала влияние на направление магнитной стрелки, то это происходило в соответствии с приведенными выше законами.

2996. При рассмотрении явлений природы очень большое значение имеет магнитная ось, а также плоскости магнитного экватора и меридиана; это — те круги или плоскости, в которых не наблюдается отклонения. Поскольку в силу своей природы они изменяются при каждом изменении места склонения или наклонения, они требуют некоторых удобных средств для наглядного представления, и их действия едва ли можно понять без модели. Я изготовил глобус, на котором, отметив места наблюдений, я начертил магнитные меридианы этих мест согласно последним их определениям. Затем другим цветом я начертил для каждого места его магнитный экватор, проведя большой круг параллельно экваториальной плоскости стрелки склонения в данном месте. Я отметил на глобусе также средний путь Солнца для каждого месяца; с помощью булавок, втыкающихся в глобус, я обозначал часы до и после полудня в данном месте; таким образом я получил средство, с помощью которого можно с достаточной точностью определить, когда Солнце находится в том или ином квадранте и в какой части квадранта, когда оно проходит через нейтральную линию и каково его положение по отношению к месту наблюдения; ничего этого нельзя было бы достичь с помощью одних чертежей или ри-

сунков. Я нашел этот глобус весьма полезным. Я устанавливаю его обычно в определенном положении, а именно ось вращения направляю горизонтально, северный полюс — по правую руку, а астрономический меридиан места наблюдения — по направлению к зениту. Тогда наблюдатель может рассматривать глобус как бы с места восхода Солнца.

2997. Хотя таким образом у нас для стрелки, находящейся под (изучаемым) влиянием, созданы экспериментальные условия, похожие на те условия, какие создаются в природе благодаря присутствию Солнца (2920), я все же не могу утверждать, что их можно прямо без всяких изменений применять к явлениям природы; они могут только оказать существенную помощь в деле изучения этих явлений и рационального объяснения их действия. Атмосфера вовсе не безгранична; она обволакивает Землю со всех сторон в виде покрова; влияние, распространяясь из места действия, должно в отношении той доли его, которая проходит через ее массу (2920), искривляться вместе с искривлением атмосферы; и результаты, которые оно дает в каждом отдельном месте, могут быть точно определены лишь с помощью очень тонких вычислений, основанных на тщательных наблюдениях. Что касается выявления воздуха, то, полагаю, было бы очень интересно хотя бы в грубых чертах исследовать суточные вариации магнита на дне глубокой шахты, посередине ее и в устье. Результаты этого исследования могли бы нам много сказать о привязывающей (линии) силе Земли и о глубинах, до которых проникают отклонения магнитных силовых линий, и даже дать нам грубое представление об изменениях внутренней силы (или об отсутствии таких изменений), если их освободить от изменений, связанных с атмосферой.

2998. Другая причина, по которой результаты экспериментальных наблюдений не должны применяться без всяких оговорок, заключается в следующем. Если бы силовые линии Земли были совершенно правильными, то и изменения, вызываемые среди них Солнцем и воздухом, были бы также совершенно правильными. Но так как естественная система не является

правильной ни между тропиками (например, около Систерс Уок и около Лонгфорда на Св. Елене), ни на высоких широтах (например, у Гудзонова залива), то в результате этого могут и долгие получаться очевидные несовпадения. Возможно, что наибольшие неправильности в распределении земного магнетизма имеют место на поверхности Земли и вблизи последней и что наверху они имеют стремление приспособиться друг к другу и создать более правильный порядок. Тем не менее влияние этих неправильностей должно распространяться очень далеко вверх, так что искривления магнитных меридианов или силовых линий, вероятно, не сглаживаются и не уменьшаются сильно в том районе, который совпадает с местом, где происходит атмосферное действие.

2999. Но хотя в огромном объеме, находящемся под влиянием Солнца, магнитные линии неправильны, тем не менее в результате получаются расширение всего целого как системы и диамагнитная полярность. Нижние силовые линии будут испытывать на себе влияние верхних, и таким образом, хотя нельзя ожидать совершенного сходства между различными местами, тем не менее характер изменения на поверхности Земли окажется, вероятно, не столь неясным, как это может показаться сразу. Поэтому я полагаю, что глобус (2996) окажется весьма полезным для того, чтобы дать представление о вероятных влияниях магнитного меридиана и экватора, вызываемых пребыванием Солнца в двух главных квадрантах в каждый по желанию месяц года или час дня.

3000. Прохождение через магнитный меридиан важно, а после описанного выше опыта (2978) оно оказывается гораздо более важным, чем это казалось раньше (2942). Так как очень часто путь при этом прохождении образует угол с астрономическим, то оно должно иметь большое влияние при разрешении вопроса о том, когда суточное склонение изменяет свое направление. Место наибольшего действия и перемещение его на север или на юг по магнитной силовой линии в зависимости от того, каково было склонение: западное или восточное, по

отношению к катушке, изображающей Солнце, было подтверждено на опыте. Подтвердилось и дальнейшее наблюдение (являющееся следствием первого), что когда Солнце находится на равном расстоянии от места, расположенного севернее или южнее его, то его влияние гораздо сильнее на той стороне, где его путь образует острый угол с направлением склонения, чем на другой стороне, где этот угол является тупым. Так, когда катушка при перемещении ее с востока на запад проходила у расположенного к северу от нее места, имеющего западное склонение, то при равных расстояниях от катушки до магнита действие было более сильно на западной стороне этого места, чем на восточной.

3001. Прохождение Солнца через магнитный экватор тоже важно, так как тогда изменяется направление суточной вариации экспериментальной магнитной стрелки, и это тем больше чревато последствиями, что при большой величине естественного склонения во многих местах, даже далеко на севере и на юге, это прохождение осуществляется либо на восточной, либо на западной стороне от астрономического меридиана и происходит в такие часы, когда Солнце или холод оказывают наибольшее влияние. Также во всех тех местах, где наклонение мало, например на Св. Елене, а также на пути Солнца и вблизи него, оно может оказаться важно тем, что влияет на величину действия. Благодаря изменению местонахождения Солнца между тропиками и благодаря сильным изменениям наклонения и склонения от места к месту прохождение Солнца и действующей области через нейтральные плоскости должно происходить при самых разнообразных условиях; полагаю, что в деле уяснения этих условий большую помощь окажут данные вроде тех, какие были получены с помощью изложенных выше опытов и принципов. Солнце может в астрономическом смысле находиться к северу или к югу от магнитной стрелки, и все-таки склонение стрелки может не изменять своего направления (2980); или если где-нибудь имеется большое среднее склонение, как например в Гринвиче, то Солнце может

в астрономическом смысле находиться на востоке или на западе от него, и все-таки склонение может не изменять своего направления. Солнечная область может находиться на юге от какого-либо места, и все-таки она будет гнать его верхний конец дальше на юг (2990), ибо все зависит от ее положения по отношению к магнитному меридиану и магнитной оси, которые в большинстве случаев очень сильно удалены от астрономического меридиана и астрономической оси. Ко всем этим причинам изменчивости присоединяется еще привязанность силовых линий в Земле (2919), что придает явлениям еще больше разнообразия.

3002. В предыдущем сообщении я рассмотрел влияние воздуха только в том случае, когда его температура поднялась выше средней (2895), и пояснил его примером влияния Солнца в середине дня. *Теперь* я намерен рассмотреть влияние, оказываемое ночным холодом, который уменьшает температуру воздуха в данной области по сравнению со средней температурой его в этом месте. Когда часть воздуха указанным образом охлаждается, то его проводимость повышается. Совместно с более теплым воздухом в окружающих областях он отклоняет проходящие через тот и другой воздух магнитные силовые линии, как это было показано с помощью шара-модели (2864, 2874), и приобретает то, что я назвал полярностью проводимости (парамагнитной), подразумевая под этим просто, что силовые линии сгущаются к середине охлажденного воздуха.

3003. Теоретически влияние приходящей с востока холодной области воздуха заключается в том, что она заставляет магнитные силовые линии, когда они покидают Землю, продвигаться, т. е. изогнуться по направлению к этой области, так магнитные силовые линии в холодном воздухе и вблизи последнего, изгибаясь, втягиваются в него. А когда силовые линии, находящиеся непосредственно к западу от холодной области, войдут в нее или продвигнутся по направлению к ней, то находящиеся дальше на запад силовые линии, напряжение

которых частью понизится, тоже переместятся на восток, и таким образом получится действие, противоположное тому, какое производится Солнцем (2877, 2972), т. е. такое же самое, какое даст катушка при парамагнитном положении (2973, 2994). Верхние концы магнитных стрелок в местах, где существует наклонение, показывают это отклонение верхней части силовых линий, так как они движутся ими, вместе с ними и на них.

3004. Когда холод приближается, линии наклоняются по направлению к нему до тех пор, пока он оказывается в положении максимального действия в восточном квадранте; затем они идут назад (по своему склонению) впереди холода, пока и холод и (магнитная) линия (или магнитная стрелка) не окажутся в магнитном меридиане. После этого, когда холод уходит на запад, магнитная стрелка идет вслед за ним на запад до тех пор, пока он достигнет места максимального действия в западном квадранте (2982); затем, при уходе холода, магнитная стрелка возвращается на восток к среднему своему положению. При этом предполагается, что в рассматриваемое время не существует никакого другого влияния, помимо влияния холодной области. Таким образом, верхняя часть свободной магнитной стрелки в каждом данном месте стремится по направлению к холодной области — совершенно так же, как раньше она стремилась прочь от теплой области; и так же, как на склонение, холод действует и на наклонение. Когда холод оказывается на магнитном меридиане какого-либо места, расположенного между тропиками (например, на Св. Елене или в Сингапуре), то он усиливает здесь наклонение; в то же время он уменьшает наклонение в расположенных к северу и к югу от него местах, в которых наклонение значительно, что является прямым результатом изгибания силовых линий вовнутрь холодной области или по направлению к последней.

3005. Главные области тепла и холода на одной и той же широтной параллели следуют друг за другом не через равные промежутки времени. Трудно судить о соответствующих промежутках в верхних слоях атмосферы; но многие считают, что

максимум холода на Земле за период в двадцать четыре часа наступает спустя семнадцать часов после предшествующего полудня и только за семь часов до предстоящего полудня. Это приводит к необходимости рассматривать совместное действие теплового и холодного районов на отклонение силовых линий, в особенности в предполуденное время и в полдень. Если холодная область находится только в трех с половиною часах к западу от какого-нибудь места, и в то же время теплая область находится в трех с половиною часах к востоку от него, то вполне ясно, что совместное действие той и другой, так как обе они влияют в этом случае таким образом, что производят одинаковое отклонение, будет гораздо более сильно, чем влияние теплого или холодного воздуха в отдельности или чем соответствующее влияние в другие моменты времени, так как ни спустя двенадцать часов времени, ни в какой иной момент времени не будет наблюдаться эквивалентного сочетания условий. Так же обстоит дело с другими комбинациями теплых и холодных областей, влияние которых различно как по положению, так и по величине. Свободная магнитная стрелка поддерживается в состоянии напряжения линиями, которыми в свою очередь управляют теплые и холодные районы атмосферы. Она никогда, вероятно, не занимает среднего своего положения, а всегда располагается по равнодействующей этих вечно присутствующих и вечно меняющихся причин изменений.

3006. Так как Земля вращается под Солнцем, то в каждом месте, вообще говоря, атмосфера в течение двадцати четырех часов имеет максимум и минимум температуры. Но если посмотреть на весь земной шар в целом, то на нем существует один максимум и два минимума, т. е. на нем имеется область максимума температуры где-то под Солнцем на пути последнего и по одной области минимума в каждой из полярных областей. Но если мы говорим о двадцати четырех часах, то холодные области не находятся все время на полюсе, а *располагаются* в каком-либо пункте на большой широте и, вероятно, как

раньше, за семь или восемь часов до полудня. Протяженность, местоположение и величина действия этих холодных областей в значительной мере зависят от положения Солнца между тропиками. Ибо когда Солнце продвигается по направлению к одному из тропиков, то здесь протяженность холодной области и ее сила уменьшаются; в то же время значение теплой области возрастает. Когда сила влияния холодных областей на общее направление силовых линий указанным образом варьирует, меняется и их собственное положение, и в разное время они располагаются весьма различным образом по отношению к Солнцу в различные месяцы и этим путем производят весьма разнообразные действия. Эти-то различия, полагаю, и выявляют нам ночные и утренние действия в многочисленных обсерваториях, рассеянных по земному шару.

3007. Я перейду теперь к тому, что изложенные выше соображения, а также дополнительные знания, приобретенные с помощью опыта, применю к ранее рассмотренным местам, а также к некоторым новым местам, расположенным между тропиками, для того, чтобы объяснить, если мне это удастся, законы ночного действия, большего или меньшего запаздывания явлений по отношению к местному времени; указанного полковником Сэбайном различия направления вариации склонения в различные месяцы для одного и того же места и для одних и тех же часов дня; уменьшения наклонения в одном пункте и увеличения его в другом в одно и то же местное время. При этом необходимо будет все время принимать во внимание то место, которое по отношению к станции наблюдения можно рассматривать как центр теплого или холодного действия в данное время. Я имею в виду пользоваться для данной цели словом «область», понимая под ним не все протяжение нагретого или охлаждаемого воздуха и не центр его, а главное место измененной части воздуха. Совершенно ясно, что в некоторые дни марта или сентября весь воздух, находящийся к востоку от меридиана в 21 или 22 часа дня, можно рассматривать как теплый по сравнению с воздухом, находящимся к западу от

того же меридиана, и что не может существовать такой результирующей действия, которая была бы тождественной для всех мест.

3008. Нам следует вспомнить, что отклонение верхнего конца магнитной стрелки на восток и на запад, о котором я всегда говорю, осуществляется двумя путями. Магнитная стрелка движется столь же уверенно при удалении прямой причины действия, как она это делает, но только в противоположном направлении, под непосредственным действием на нее этой причины (2982). Отклонение на запад может оказаться следствием либо появления Солнца на востоке от места наблюдения, либо удаления его на запад после того, как оно прошло через меридиан и вызвало большое восточное отклонение.

3009. С. П е т е р б у р г имеет среднее западное склонение  $6^{\circ}10'$  и северное наклонение  $70^{\circ}30'$ ; поэтому хотя магнитный и астрономический меридианы не очень сильно наклонены друг к другу, тем не менее Солнце, или теплая область, доходит до первого на время от  $20'$  до  $40'$  раньше, чем до второго, и в результате этого время наибольшего солнечного действия, которое происходит в период от 20 часов до 1 часа, наступает раньше, чем это было бы при других обстоятельствах. Магнитный экватор стрелки (2977) образует угол около  $40^{\circ}$  с экватором Земли и, будучи столь значительно наклонен, он располагает два квадранта, имеющие наибольшее значение для точной вариации (2797), таким образом, что в С. Петербурге летом наиболее теплая область не только находится гораздо ближе к магнитной стрелке, но и проходит через места наиболее сильного действия квадрантов; аимю, наоборот, она бывает дальше и в местах, где действие гораздо меньше. Это, как я думаю, и является причиной большого различия величины вариации склонения, а также ее характера: в ноябре, декабре и январе она составляет только  $4.'47$  до  $4.'65$ , между тем как в июне она достигает  $11.'52$ .<sup>1</sup> (См. табл. II, рис. 217).

<sup>1</sup> Отклонение свободной стрелки наклонения на восток и на запад не передается надлежащим образом движениями горизонтальной стрелки,

3010. В декабре или январе, когда в С.Петербурге зима, отклонение под действием Солнца на восток почти исчезает. В 1 ч. оно заканчивается,<sup>1</sup> после чего верхний конец магнитной стрелки следует за Солнцем до 9 ч., переходя через среднее свое положение в 5 ч. Тогда он останавливается, а затем движется на восток до 16 или 17 ч., снова останавливается или почти останавливается до 21 ч., после чего начинается сильный солнечный отброс (sun swing), увлекающий его в крайнее восточное положение. Таким образом, здесь требуют объяснения два весьма важных пункта, а именно: почему стрелка движется на восток после 9 ч. и почему она не перемещается на запад от 13 ч. до 20 ч., а, наоборот, перемещается на восток или же стоит неподвижно. Объяснение заключается, по моему мнению, в следующем. С.Петербург находится в таком месте, где в силу его положения верхний холод, появляющийся вслед за ежедневным заходом Солнца, вызывает парамагнитное действие (2994, 3003). Это действие начинает с заходом Солнца возникать на востоке, и я полагаю, что около 9—11 ч. холодная область, приближающаяся с востока но на широте солнечного пути, который находится далеко на юге, а, вероятно, близко к широте С.Петербурга, оказывается в состоянии в 9—11 часов, когда стрелка стоит неподвижно, противодействовать остающемуся еще, быть может, стремлению (конца стрелки) двигаться на запад, а затем увлекать силовую линию и конец стрелки на восток до 17 ч. и там ее задерживать, после чего Солнце сообщает ей сильный отброс по направлению к востоку. Что холод, если принять во внимание вероятное его положение, поскольку в местах с различным наклоном угол отсчитывается на плоскостях, которые сами по себе образуют неодинаковые углы с наклоном, и в высоких широтах результат оказывается сильно преувеличенным. Но хотя, таким образом, нельзя сравнивать друг с другом различные места без поправки, вариации в одном и том же месте, как в С.Петербурге, можно сравнивать и сопоставлять друг с другом.

<sup>1</sup> С.Петербургские наблюдения производятся спустя 21½ минуты после каждого часа; но я привожу часы без минут, считая это достаточным для общих выводов.

вполне в состоянии направить конец стрелки на восток и что солнечная область не направляет ее на запад от 17 ч. до 20 или до 21 ч., — это, я полагаю, можно рассматривать, как вполне естественное следствие вероятного положения этих двух областей в промежуток между указанными моментами времени. Действительно, пусть Солнце (его место нам известно) представляет теплую область в 17 ч. Оно находится в это время в восточном квадранте под горизонтом; если бы оно могло действовать на стрелку сквозь Землю или в обход последней (2995), то оно сообщило бы ей движение на восток; Солнце остается в указанном квадранте до 19 ч. Затем в 19 ч. оно вступает в квадрант, в котором оно начинает оказывать на стрелку действие, направляющее ее на запад; но при этом оно находится в таком положении по отношению к магнитной стрелке в С.Петербурге [это можно усмотреть, если начертить линию на поверхности глобуса (2996) и сравнить ее с магнитным меридианом и склонением] и в столь неэффективной части квадранта (2982), и, наконец, столь далеко, что оно не в состоянии погнать стрелку на запад, а может лишь, совместно с отступающей холодной областью, удержать ее на месте до 21 ч. или приблизительно до этого времени; солнечный отброс с запада на восток происходит, как и в других случаях. После этого с 1 ч. магнитная стрелка идет вслед за Солнцем; при этом с течением времени она постепенно задерживается и подпадает под влияние холодной области ближайших суток, как это уже было описано выше.

3011. Я предполагаю, что направленное на восток действие холода продолжается до 17 ч., а из этого, по всей вероятности, можно заключить, что до этого часа холодная область находится к востоку от С.Петербурга. Очень трудно говорить даже в самых общих чертах о местах и моментах времени столь мало изученных явлений, как холодные и теплые области в верхней атмосфере. Но если обратиться к температурам на поверхности земли в С.Петербурге, то я могу указать, что наибольший холод в январе бывает в 19 и 20 ч., на пять часов позд-

нее, чем в летние месяцы. Я могу также отметить здесь, с целью использовать это для летних месяцев, что максимум тепла смещается на три часа в *противоположном направлении*; следовательно, в то время, как летом промежуток между наиболее высокой и наиболее низкой температурами составляет лишь одиннадцать часов, зимой он составляет девятнадцать часов, как это можно видеть на таблице температур (стр. 372—373). Таким образом, в январе наиболее высокая температура бывает спустя лишь пять часов после наиболее низкой, что в общем находится в согласии с принятой нами причиной действий на магнитную стрелку.<sup>1</sup>

3012. Так как я собираюсь сделать С. Петербург примером ночного действия вообще для объяснения соответствующих явлений в других местах, то я отмечу, что в явлениях, происходящих ночью, должна содержаться некоторая часть солнечного действия, проявляющегося одновременно с влиянием холода. Наблюдение показывает, что действие Солнца простирается очень далеко. В частности, в С. Петербурге Солнце, находясь у южного тропика и на меридиане, оказывается под углом от  $80^{\circ}$  до  $90^{\circ}$  к этой станции, и тем не менее наблюдения и кривые показывают нам, как велико оказываемое им влияние (3009). Где бы Солнце ни находилось, оно своим движением вызывает изменения, которые одновременно ощущаются на всем земном шаре; а в 9 и 10 часов оно находится в эффективной части того квадранта, который направил бы магнитную стрелку на восток, если бы Земля была замещена воздухом; и в демонстрационных опытах с катушкой (2995) послед-

---

<sup>1</sup> Что касается холода верхней атмосферы и наступления его максимума (по крайней мере, на некоторых уровнях) не в полночь, а спустя несколько часов, то столь часто мы в нашей стране видим ясную светлую ночь, потом, перед самым восходом солнца, наблюдаем возникновение на большой высоте облачной завесы, а затем ее растворение и исчезновение! В этом случае появление облаков указывает время наибольшего холода наверху при их возникновении, а их распад — на быстрое изменение в противоположную сторону, в сторону увеличения тепла.

ния именно так направляет стрелку, когда в промежутке устанавливаются магнит. Таким образом, ночное действие должно быть наибольшим зимою, как действительно это и есть, ибо в это время холод бывает наиболее интенсивным, а также потому, что с ним совпадает влияние того, что Солнце далеко. Весьма вероятно, что многие из странных искажений ночного действия, которые проявляются в кривых Гобартона, Торонто и некоторых других мест, связаны с тем, каким образом указанные две причины (а, может быть, еще и другие) комбинируются в различные часы дня.

3013. Хотя между 17 ч. и 21 ч. склонение изменяется очень мало или не изменяется совершенно, и в это время вовсе не обнаруживается отклонения на запад (3010), тем не менее я ожидал бы в это время некоторого заметного влияния на склонение, и полагаю, что оно должно быть в сторону его увеличения; но мне не удалось получить таблицы суточной вариации склонения.

3014. Относительно февраля можно сделать те же замечания; но так как теперь Солнце переходит из южных знаков (зодиака) и приближается к С.Петербургу, то сила его нарастает; последнее явствует из того, что вызываемое холодом отклонение на восток оказывается в 15, 16 и 17 ч. меньше прежнего более чем на полминуты (градусной), что сила Солнца совершенно преодолевает его и затем производит новое движение на запад между 17 ч. и 18 ч., перед тем, как начинается отброс на восток. В марте это действие оказывается еще более поразительным: парамагнитное отклонение на восток приостанавливается в 14 ч., а следующее за ним диамагнитное отклонение на запад продолжается до 20 ч.; затем следует рывок (на восток). В апреле западное отклонение, вызываемое теплой областью, начинается уже в 13 ч. и продолжается до 20 ч., причем оно весьма сильно. Интересно взглянуть на таблицу температур за эти месяцы, хотя бы в том виде, как они были получены на поверхности Земли. С каждым месяцем вызываемое холодом отклонение на восток прекращается все

раньше и раньше: в январе и апреле оно прекращается соответственно в 17 ч. и 13 ч. Температурный минимум также отстывает назад, приходится в те же месяцы соответственно на 20 ч. и 16 ч. Наоборот, максимум тепла при переходе от зимних месяцев к летним *передвигается вперед*, причем он одновременно сильно увеличивается. Таким образом влияние солнечного отброса сказывается как в *передвижении вперед* времени изменения, так и в *увеличении* размера вариации.

3015. В мае и июне ночное отклонение или отклонение холодом на восток исчезает или проявляется лишь в небольшой задержке, а с полночи приближение солнечной области отклоняет конец магнитной стрелки на запад. Взглянув на глобус (2996), мы поймем, что так оно и должно быть. Солнце находится в это время приблизительно на северном тропике, когда оно проходит около С.Петербурга, и сравнительно близко к последнему. Свободная стрелка наклона совершила бы за двадцать четыре часа один оборот в том же направлении, что и солнечная область, но на противоположном конце соединяющей их линии. Если бы стрелка находилась в астрономическом полюсе Земли и обладала большим наклоном, то она описала бы почти окружность, двигаясь при этом почти равномерно. Но так как в одной части равномерного суточного движения теплой области стрелка фактически находится гораздо ближе к последней, чем в другой части, то в первом случае угол, который тогда проходит радиус-вектор, соединяющий ее с этой областью, гораздо больше, чем в тот период, когда стрелка находится далеко от теплой области. Отсюда — большая скорость движения между 20 ч. и 1 ч., а также возникновение того явления, которое я обычно называю солнечным отбросом с запада на восток.

3016. Из таблицы кривых (рис. 215) можно усмотреть, что в С.Петербурге мы имеем прекрасный образец тех выводов, на которые столь настойчиво обращает внимание полковник Сэбайн в своем сообщении о явлениях на Св. Елене.<sup>1</sup> Эти же

<sup>1</sup> Philosophical Transaction, 1847, стр. 51.

явления имеют место в Гобартоне, Торонто и в других местах; а именно, здесь существует вариация склонения в различных направлениях в одни и те же часы различных месяцев. Так, в рассматриваемом здесь случае конец стрелки движется на восток в течение промежутка от 13 ч. до 20 ч. в октябре, ноябре, декабре, январе и феврале, но он движется на запад в те же часы в апреле, мае, июне, июле и августе. Кривые марта и сентября занимают среднее положение. Но это различие, я думаю, вполне объясняется приведенной выше гипотезой (3010, 3015), и я уверен, что столь же удовлетворительные объяснения будут найдены для Св. Елены (3045) и других мест (3022, 3039, 3065).

3017. Парамагнитный характер отклоняющего на восток действия холода после 10 ч. в зимние месяцы можно было бы, вероятно, пояснить с помощью наблюдений над наклоением в течение того же периода времени; ибо когда холодная область проходит к югу от С.Петербурга, то наклонение уменьшается благодаря парамагнитному действию, но увеличивается благодаря диамагнитной результирующей; и то, каким образом эти два элемента направления, т. е. наклонение и склонение, комбинируются в некоторый данный момент времени, является очень важным для полного выяснения магнитного действия атмосферы. Я не имею возможности сообщить соответственные данные для С.Петербурга. Вариации полной силы тоже в большой мере содействовали бы освещению этого вопроса. Безусловно было бы неправильно пытаться объяснить следствия принятой для явления причины, рассматривая лишь один из трех элементов. Что нам необходимо знать, в конце концов, это — полные изменения свободной магнитной стрелки в смысле ее положения и в отношении силы. Все эти изменения важны, и все следует рассматривать совместно. Я полагаю, что без объединенного их рассмотрения теория вариаций не может продвигаться очень далеко.

3018. Г р и н в и ч дает прекрасный образец ночных обстоятельств и различных направлений магнитной вариации для одних и тех же часов в различные месяцы. В этих отно-

шениях он очень сильно походит на С.Петербург, но представляет сверх того дополнительный интерес благодаря наличию большого западного склонения<sup>1</sup> и влиянию, оказываемому этим на места активных квадрантов (2979, 3000) и на моменты вариационных явлений (рис. 218). Если отметить его положение на глобусе (2996), то станет видно, что экваториальная плоскость не играет, по всей вероятности, большой роли в полуденном действии, и что солнечная, или теплая, область летом проходит почти через середину двух главных квадрантов. Последнее обстоятельство, а также близость ее в это время, должны привести к тому, что полуденный отброс на восток будет очень велик. Зимой теплая область находится дальше и в гораздо более слабых частях квадранта, так что этот отброс должен быть гораздо более слабым, что на самом деле и имеет место. Наибольшая вариация летом составляет 11'.30, а наименьшая зимою — лишь 5'.88. В апреле, мае, июне, июле и августе большое отклонение на запад южного или верхнего конца магнитной стрелки происходит в 19 ч. 20 м., а крайнее восточное положение он занимает в 1 ч. 20 м. Это последнее положение остается неизменным в течение всего года, но крайнее отклонение на запад в течение остальных (холодных) семи месяцев бывает в 9 ч. 20 м. и 11 ч. 20 м.,<sup>2</sup> т. е. оно приближается к полуночи; оно превосходит тогда утреннее отклонение на запад. Таким образом, влияние в летнее время Солнца, ослабляющего влияние ночного холода (3005), вполне очевидно. Вполне очевидно также, каким образом возрастает ночное действие до тех пор, пока оно не становится преобладающим в зимние месяцы, вследствие усиления действия холода (3006), когда Солнце находится у южного тропика и в более слабых частях сегментов. Каковы основы этого дей-

<sup>1</sup> Среднее западное склонение  $22^{\circ}51'$ . Среднее северное наклонение  $69^{\circ}$ .

<sup>2</sup> См. кривые (табл. II, рис. 218). Наблюдения имеют лишь через каждые два часа, так что нельзя ожидать большой точности при указании времени определенного изменения.

ствия, которые я принял для объяснения явлений, изложено выше для случая С. Петербурга (3010 и др.).

3019. Магнитный меридиан находится далеко на востоке от астрономического меридиана, когда через него проходит теплая область, в особенности зимою, так как Солнце пересекает его в 10 часов, а летом — около 11 часов. Поэтому зимою отброс должен происходить раньше, чем летом, хотя благодаря более медленному угловому движению теплой области по отношению к Гринвичу (3015) он должен тогда занимать больше времени; и все-таки, как это было сказано раньше (3018), вследствие дальности он должен быть меньше по размерам. Все это, по-видимому, находится в замечательном согласии с действительностью. Отброс начинается зимою в 17 ч., но не раньше 19 ч. летом, и заканчивается в одинаковое время как зимою, так и летом, а именно в 1 ч. и, таким образом, зимою он длится большее время, чем летом. Он начинается раньше, так как магнитный меридиан пересекается тогда раньше, чем летом. Ясна также причина, по которой это удлинение происходит за счет более раннего начала движения, а не за счет более позднего конца. В самом деле, благодаря склонению теплая область зимою оказывается в те же часы утром менее смещенной на восток от магнитного меридиана, а после полудня гораздо более смещенной от него на запад, чем это бывает летом. Поэтому зимою отброс начинается раньше, и хотя он длится тогда дольше, конец его совпадает с концом отброса в летнее время, поскольку, по крайней мере, об этом можно судить на основании этих двухчасовых наблюдений.

3020. Так как область предшествует Солнцу, то величина среднего склонения здесь должна вызывать более раннее наступление дневного отброса, т. е. он должен начинаться раньше, чем в Гобартоне, и в особенности чем в Торонто, если только этому не помешают другие причины вариации. Он и начнется раньше, чем в Торонто, но конец его происходит в то же время. Как начало, так и конец происходят на час раньше, чем в Гобартоне. Последнее различие вызывается, как я пола-

гаю, различием среднего склонения. Я думаю, что для Торонто мы найдем другую причину, влияющую на время (3032).

3021. Нам следует также вспомнить, что зимою Солнце, или теплая область, проходит через магнитный меридиан за два часа до того, как она проходит через астрономический меридиан. Благодаря этому ее влияние, сообщающее западное положение южному или верхнему концу магнитной стрелки, прекращается зимою гораздо раньше, чем летом и, возможно, даже раньше, чем прекращается ее приближение. Поэтому направленное на восток последующее влияние на стрелку должно стать больше, что в действительности имеет место. Это направленное на восток влияние должно увеличиться также вследствие того, что после прохождения теплой области через магнитный меридиан ее действие на стрелку должно быть сравнительно велико, так как путь ее образует с магнитным меридианом до прохождения тупой угол, а после прохождения — острый (3000), и, таким образом, оно становится более сильным. Ко всем указанным выше источникам действия следует прибавить еще влияние в это время холода с далекого запада (3005).

3022. Различие в направлении перед 19 ч. (3016) в Гринвиче очень заметно, как в этом можно убедиться, если взглянуть на месячные кривые (рис. 218). Южный или верхний конец магнитной стрелки идет на запад в мае, июне, июле и августе от 12 ч. до 19 ч., т. е. от полуночи до семи часов пополудни, но в октябре, ноябре, декабре и январе он идет в те же часы на восток. Рассмотрим сначала какой-нибудь летний месяц, например июнь. Верхний конец магнитной стрелки находится на западе при продвижении Солнца (как это и должно быть) до 19 ч., когда оно находится почти посередине своего пути через восточный квадрант; а с точки зрения расстояния и углового соотношения с магнитным меридианом теплая область находится тогда, вероятно, в том месте, где она обладает наибольшей способностью вызывать отклонение конца магнитной

стрелки на запад.<sup>1</sup> В течение последующих шести часов магнитная стрелка движется к крайнему восточному положению, проходя, согласно наблюдениям, четвертую часть всего отброса за первые два часа, половину его в следующие два часа и четверть за оставшиеся два часа; таким образом, движение несомненно происходит сначала с быстро возрастающей, а затем с быстро убывающей скоростью. При этом прохождении области Солнце находится в течение примерно двух третей всего времени в восточном квадранте и в течение одной трети — в западном. Путь его в течение последней трети образует с Гринвичем основание почти равностороннего треугольника, так что все это время оно находится близко от магнитной стрелки и, следовательно, оказывает на нее сильное действие (3000). В 1 ч. Солнце находится в таком положении относительно этого угла, что если предположить, что область находится несколько впереди Солнца, то она окажется в таком месте, где она может проявить максимум действия, отклоняющего на восток. Поэтому после того как область перейдет на запад, она заставляет магнитную стрелку повернуть за ней с востока на запад, что она и делает. Магнитная стрелка продолжает идти на запад, проходя через *среднее* свое за месяц положение около 7 ч. За это время, немного позднее 6 ч., Солнце оставило западный сегмент, перейдя через магнитный экватор. В Гринвиче оно еще не зашло, и если оно может еще производить какое-либо действие, то, имея в виду сегмент, в котором оно теперь находится (2979). Это действие будет заключаться в том, что оно все еще будет уводить конец магнитной стрелки *на запад*. Конец стрелки и на самом деле продолжает идти на запад, только медленно, после 10 ч., от 10 ч. до 15 ч. несколько

---

<sup>1</sup> Не следует забывать, что обратное движение из крайнего восточного или западного положения происходит не тогда, когда Солнце, или теплая область, проходит через нейтральную линию или из одного квадранта в другой, а когда она проходит через точку наибольшего своего действия в квадранте (2982).

быстрее, а затем после восхода Солнца он движется еще быстрее на запад, как он и должен это делать, вплоть до 19 ч. и, наконец, как и раньше, возвращается рывком на восток. Вся эта последовательность очень проста и, очевидно, является естественным результатом той причины, которая была принята вначале. Нет сомнения, что сюда приводят также действия охлаждения, но холодная область убывла по своей интенсивности и протяжению (3006), отошла на север, и ее действие в сочетании с указанным выше действием проявляется, по-видимому, в том, что оно вызывает лишь некоторые колебания в величине скорости изменения.

3023. Для зимы рассмотрим январь. Так как в течение всех месяцев отклонение на восток бывает наибольшим в 1 ч., после того как Солнце проходит через меридиан, то начнем цикл с этого момента времени. В 1 ч. верхний конец магнитной стрелки находится в крайнем восточном положении; величина вариации не составляет и половины того, чему она равнялась летом, так как Солнце находится теперь очень далеко. Солнце и теплая область проходят через меридиан около 21 или 22 ч.; поэтому в часы, предшествующие этому моменту и в следующие за ним, вызываемое им действие, побуждающее стрелку двигаться с запада на восток, достигает полного размера. В 1 ч. магнитная стрелка поворачивает на запад, идя вслед за уходящим Солнцем, и продолжает делать это быстро в течение семи или восьми часов, т. е. до 9 ч. В этот промежуток времени теплая область, а также холодная область раннего утра находятся в таких квадрантах и положениях, что если они вообще оказывают какое-либо действие, подобное тому, какое было показано в опытах (2975, 2995), то они должны направить конец магнитной стрелки на запад от среднего его положения или удержать его на месте. Затем происходит следующее: стрелка остается неподвижной до 11 ч.; после этого в полночь и до 15 ч. она идет на восток, снова остается совершенно или почти неподвижной в течение двух часов, потом опять движется на восток, сначала медленно, а затем быстрее до 1 ч., когда

она достигает максимального своего отклонения на восток и доходит до того места, из которого она вышла.

3024. Это ночное действие представляет собою другой пример действия холодной области, подобный тому, который мы видели при рассмотрении С. Петербурга (3010). Мне кажется, что к 11 ч. непосредственное действие Солнца и следующий за ним поворот на запад заканчиваются, что после этого холодная область, приходящая с востока, действует своими парамагнитными свойствами (при одновременном дополнительном влиянии Солнца с другой стороны земного шара) и направляет магнитную стрелку на восток, что она и должна делать (2994, 3010) до 14 ч. или 15 ч. При своем движении на восток магнитная стрелка не достигает своего среднего положения, но задерживается еще на 1' к западу от него. А причина того, что она остается здесь от 15 ч. до 17 ч., а затем начинает снова все дальше и дальше двигаться на восток под действием Солнца, заключается, вероятно, в том, что когда Солнце поднимается в южный тропик, то оно в соответствии со своим расстоянием и положением постепенно вводит в действие образовавшуюся вдали теплую область; с последней одновременно действует ближайшая холодная область; сначала теплая область приостанавливает действие холодной, а затем по мере своего продвижения начинает действовать в согласии с ней; в конце концов она занимает ее место.

В результате этого около 1 ч. начинается отброс — сначала медленный, а затем быстрый, с запада на восток. Каким образом это происходит, можно с удобством усмотреть с помощью глобуса (2996): здесь видно, как Солнце расположено в южном полушарии и в обоих магнитных сегментах; то же можно видеть на кривых, изображающих вариации (рис. 218).

3025. Рассмотрим другой, промежуточный месяц, например март. В 1 ч. верхний конец магнитной стрелки находится в крайнем восточном положении; затем до 9 ч. он, как и раньше (3023), идет вслед за Солнцем. От 9 ч. до 11 ч. он стоит на месте; после этого происходит парамагнитное действие холода с вос-

тока, и стрелка до 13 ч. движется на восток. Тогда она останавливается, причем это происходит на два часа раньше, чем прежде, так как теперь Солнце появляется в Гринвиче уже в 6 ч. и в более благоприятном для действия положении как по отношению к магнитному меридиану, так и в отношении того сегмента, в котором оно теперь находится; таким образом, магнитная стрелка в течение одного-двух часов должна уклоняться к западу. Затем она остается почти неподвижной до 19 ч., после чего происходит большой солнечный отброс. Сохранение западного положения, но при отсутствии дальнейшего смещения на запад между 15 ч. и 19 ч., вполне совместимо с южным местоположением теплой области; весьма вероятно, что в это время *наклонение* увеличивается; последнее явление вполне гармонировало бы с положением вещей в то же время.

3026. Другие месяцы, с происходящими в течение их явлениями, находятся по ту или другую сторону от марта. Соответствующий месяц в противоположной части года (сентябрь) совершенно схож с мартом; исключением являются те явления, которые зависят от того, за каким месяцем следует рассматриваемый: за более теплым или более холодным, чем он сам (3053). Таким образом, Гринвич дает прекрасную иллюстрацию того, как (наша) гипотеза применяется для объяснения различия направления в одни и те же часы в течение различных месяцев (3016, 3022), а также существования ночного действия и его перехода в отчетливо заметное отклонение на восток ранним утром.

3027. Хотя *Гобартон* и *Торонто* (рис. 219 и 220) находятся в противоположных полушариях, явления в них настолько схожи, что их можно рассматривать одновременно. Очень важное сравнение явлений в этих двух местах было уже сделано полковником Сэбайном в отношении вариаций склонения, наклонения и полной силы.<sup>1</sup> При рассмотрении на глобусе

<sup>1</sup> Hobarton Observations 1850, т. I, стр. XVIII и др.; также Philosophical Transactions, 1847, стр. 55, и 1850, стр. 201, 215 и др. (См. кривые, табл. III, рис. 219, 220, и таблицы для Торонто, стр. 368—371).

(2996) распределение квадрантов оказывается почти одинаковым: Солнце находится в двух главных квадрантах, восточном и западном, приблизительно от 18 ч. до 6 ч., т. е. в течение дня. Летом Солнце находится в той части квадрантов, которая способна оказывать более сильное влияние, чем та, где она бывает зимою, и результат этого можно усмотреть в различии величины вариации склонения. В Гобартоне последняя составляет 12'.05 летом и лишь 3'.63 зимою. В Торонто она равна летом 14', а зимою 5'.2. Ночное действие в обоих местах по своему характеру весьма сходно; что достаточно хорошо объяснено в рассмотренных ранее случаях (3010, 3024) на основании (нашей) гипотезы.

3028. Полковник Сэбайн сообщил данные, посредством которых можно сравнить с гипотезой и применить к последней вариации наклоения и полной силы в Гобартоне и Торонто, но я не решаюсь заниматься этими данными в настоящем общем обзоре, так как их следует рассматривать совместно с вариациями склонения и произвести их сравнения для каждого часа в каждом отдельном месте. Вариация наклоения в Гобартоне бывает наибольшей в местное лето и составляет тогда 2'.18, а наименьшей — зимою, а именно 1'.28, как этого и можно было ожидать. Большая вариация наклоения, как и склонения, происходит в дневное время. Наклоение бывает наибольшим, когда солнечная область проходит через меридиан. Максимум наклоения наступает не в один и тот же час в разные месяцы: он бывает в 23 ч. в декабре, феврале и марте, в 24 ч. в сентябре, в 1 ч. в июне и июле. При перемещении максимального наклоения перемещаются также и точки минимального наклоения по обе стороны от первого, так что вся кривая перемещается во времени в порядке указанных выше месяцев. Имеется еще одна особенность, а именно в некоторые месяцы, например в декабре, феврале, быстрее протекает переход от *наибольшего* наклоения к *наименьшему*, а в другие месяцы, например в июне, июле, сентябре, от *наименьшего* наклоения к *наибольшему*. Вариация наклоения в Торонто,

хотя в некоторых отношениях и обладает своими особенностями, в общем, можно сказать, имеет тот же характер.

3029. Относительно вариации полной силы в обоих этих местах я пока сошлюсь лишь на томы трудов полковника Сэбайна и на изложенные в них наблюдения.

3030. Существует замечательное различие во временах суточных изменений в Гобартоне и Торонто; на него обратил внимание полковник Сэбайн. Оно заключается в том, что во втором из этих мест изменения происходят примерно на час раньше, чем в первом. Если бы это было связано со склонением, то изменения должны были бы происходить раньше в Гобартоне, так как здесь Солнце доходит до магнитного меридиана раньше, чем до астрономического, и в одинаковые часы по местному времени оно после полудня занимает здесь более благоприятное положение в квадранте, чем в Торонто. Тем не менее в Гобартоне изменения происходят позднее, чем в Торонто.

3031. Обратимся к рассмотрению *времени* солнечного отброса с запада на восток; середина его должна была бы быть где-то близко от момента, когда теплая область проходит через магнитный меридиан (2982); эта середина дает, таким образом, приблизительное представление об относительном положении области и Солнца. В *Гобартоне* солнечный отброс происходит от 21 ч. до 2 ч., т. е. в течение пяти часов, а Солнце проходит через магнитный меридиан примерно посередине этого промежутка времени, а именно в 23 ч. 20 м. Но, согласно высказанному только что предположению, как раз в этот момент должна проходить через магнитный меридиан и теплая область; таким образом, по-видимому, Солнце и теплая область в этом месте достигают меридиана одновременно. В *Торонто* тот же отброс происходит зимою в течение четырех часов, а именно от 21 ч. до 1 ч., а летом — в течение пяти часов, от 20 ч. до 1 ч. Серединой последних пяти часов являются 22½ часа, и в этот момент теплая область должна проходить через магнитный меридиан, а так как последний почти совпадает с астрономическим

меридианом, то получается, что указанная область проходит через меридиан почти на  $1\frac{1}{2}$  часа раньше Солнца. Если произвести подобное же сравнение для зимы, то получится, что область предшествует Солнцу почти на час.<sup>1</sup>

3032. Указанное выше предварение теплой области в Торонто я склонен в значительной мере отнести за счет географического распределения суши и воды в этом месте. Атлантический океан находится на восток, а континент Америки — на запад от этой станции, и, как позволяют думать карты Дова и полученные им результаты, температура может подниматься выше и быстрее над сушей, чем над водой, и таким образом для Торонто теплая область может возникнуть раньше времени или Солнца. В случае с Гобартоном обстоятельства складываются иначе: здесь между приближающимся Солнцем и станцией наблюдения находится суша, и последняя стремится удержать теплую область в воздухе позади, стремится привести к тому, чтобы время прохождения теплой области совпало со временем прохождения Солнца. Таким же образом можно, по-видимому, объяснить и то обстоятельство, что летом в Торонто различие оказывается бóльшим, чем зимой; для этого следует принять во внимание положение Солнца в эти два времени года по отношению к распределению суши и воды.

3033. Хотя температура на поверхности земли весьма плохо говорит про температуру наверху (2937), но, поскольку можно принять, что она все же дает такие указания, это согласуется с изложенной выше точкой зрения. Послеполуденный максимум температуры наступает в Гобартоне раньше, чем в Торонто; в первом из этих мест он бывает в 2 ч. и притом очень регулярно, а минимум температуры — в 16—19 ч.,

---

<sup>1</sup> По поводу того, что результирующая тех влияний, которые заставляют конец магнитной стрелки двигаться на запад, идет впереди Солнца, мы должны вспомнить, что предшествующий холод, находящийся, быть может, всего на семь часов к западу, своим влиянием на общую систему кривых содействует отклонению магнитной стрелки на запад в то время, когда Солнце находится на востоке и даже на меридиане (3005).

причем летом он бывает раньше, а зимою позже. В Торонто максимумы бывают от 2 до 4 часов, а минимумы — в 16—18 часов. Летом максимумы бывают позднее, чем зимою; минимумы же, как и в Гобартоне, бывают зимою позднее, чем летом. Средняя температуры в Торонто ниже, чем в Гобартоне, и составляет в первом из них  $44^{\circ}.48$ , а во втором  $53^{\circ}.48$ . Размах вариации температуры тоже больше в Торонто и составляет здесь  $43^{\circ}$ , а в Гобартоне лишь  $18^{\circ}$ .

3034. Представляется вероятным, что во многих местах земного шара могут происходить явления замедления и ускорения в прохождении местной части теплой области через данный пункт; эти явления следует установить для каждой местности и для различных времен года в последней. В пункте, занимающем положение, противоположное Торонто, будет иметь место и противоположное явление, т. е. замедление, и вследствие этого может случиться, что магнитные стрелки на одной и той же широте будут испытывать на себе действие а весьма различные моменты по местному времени, и они будут его испытывать регулярно каждые двадцать четыре часа. Область будет в это время совершать свое суточное обращение, но скорость его частей в различных местах и в различные периоды его движения будет изменяться, причем это будет происходить в неодинаковой степени и порядке для различных широт и для различных участков одной и той же параллели. Будет, вероятно, изменяться даже время, в течение которого продолжается действие (например, солнечный отброс): в одном месте влияние будет задерживаться на более долгий срок, а в другом исчезать быстрее, аналогично двум состояниям устойчивого и неустойчивого равновесия.

3035. *Мыс Доброй Надежды*.<sup>1</sup> Эта станция наблюдения расположена на  $18^{\circ}33'$  восточной долготы и  $33^{\circ}56'$  южной широты. Среднее склонение составляет здесь  $29^{\circ}$  на запад, а наклонение —  $53^{\circ}15'$  на юг (рис. 221). Из величин накло-

<sup>1</sup> См. таблицы, стр. 438—441, и кривые вариаций (табл. III, рис. 221).

нения, если принять во внимание положение этого места, следует, что магнитный экватор проходит здесь почти через астрономические полюсы и что, таким образом, в любое время года путь Солнца пересекает его почти под прямым углом и в один и тот же час, а именно — спустя примерно 20' после 7 ч. утра и вечера, т. е. в 19 ч. 20 м. и в 7 ч. 20 м. Но благодаря большому склонению Солнца зимой на Мысе Доброй Надежды бывает в астрономическом меридиане за два часа до того, как оно доходит до магнитного меридиана, а там же летом — больше чем за полчаса до этого момента.

3036. Солнце проходит наклонно через оба главных квадранта и почти одинаково пересекает их центральные части, но благодаря западному направлению среднего склонения оно в течение всех месяцев гораздо ближе к Мысу Доброй Надежды, когда находится в восточном квадранте, чем когда находится в западном, и таким образом обнаруживающееся здесь явление, т. е. движение на запад до начала полуденного рывка, должно быть более сильным, чем движение на восток после его окончания; это и происходит на самом деле. Это стоит в ярком и резком контрасте к Гринвичу; там наблюдается подобное же среднее склонение и почти в том же размере; но Гринвич находится к северу от солнечного пути, и, следовательно, светило проходит через его магнитный меридиан раньше 12 ч. и затем в течение некоторого времени еще приближается к станции наблюдения. В результате получается явление, противоположное тому, какое мы имеем на Мысе Доброй Надежды, ибо движение на восток после окончания полуденного отброса оказывается более сильным, чем движение на запад до указанного движения; все это можно хорошо видеть на кривых рис. 221.

3037. За образец месяца, в течение которого на Мысе Доброй Надежды разыгрываются зимние явления, мы выберем июль; мы найдем, что дневной отброс здесь очень слаб, как это и должно быть, так как Солнце находится на северном тропике и далеко от станции наблюдения, и отброс к востоку закан-

чивается в 3 часа, когда Солнце уже почти за час до того прошло через магнитный меридиан. Затем верхний или северный конец магнитной стрелки движется в течение двух часов на запад, идя вслед за Солнцем до 5 ч., когда светило на Мысе Доврой Надежды стоит низко и приближается к закату. После этого конец магнитной стрелки медленно движется на восток до 10 ч., затем немного быстрее до полуночи (проходя через среднее свое положение в 11 ч.), еще быстрее до 16 или 17 ч., и еще более быстро до 19 ч., когда оно достигает своего крайнего восточного положения. Я полагаю, что это явление следует отнести за счет холода, который в эти часы приближается с востока и своим парамагнитным действием (3003) гонит конец магнитной стрелки на восток. На поверхности Земли максимум холода бывает в этом месяце в 17 или 18 ч., и, поскольку это так, данный результат находится в соответствии с описанным выше явлением. В 19 ч. Солнце при своем восходе не только прекращает отклонение стрелки на восток, но быстро гонит ее назад, и она очень быстро движется на запад почти до 23 ч.; в это время начинается отброс с запада на восток, который, завершая суточную вариацию, заканчивается в 2 или 3 ч., после чего магнитная стрелка идет на запад, следуя, как и раньше, за Солнцем. В этом солнечном отбросе можно усмотреть влияние наклонного положения магнитного меридиана (3000). В самом деле, хотя вначале Солнце находится лишь в течение одного часа к востоку от астрономического меридиана, оно в течение полных трех часов находится к востоку от магнитного меридиана. Так как указанный отброс занимает около четырех часов, то теплая область находится, по всей вероятности, близко к магнитному меридиану примерно в  $12\frac{1}{2}$  или в 1 ч.

3038. Январь — летний месяц на Мысе Доврой Надежды. Дневной рывок бывает тогда от 21 ч. до часу или до 2 ч. После 2 ч. верхний конец магнитной стрелки следует за Солнцем на запад до 6 ч.; в течение дальнейших двух часов он движется немного на восток; затем он снова медленно движется на запад; все это явление протекает таким образом, как будто на востоке

появляется холодная область, которая затем проходит над данным местом и удаляется на запад; температура внизу в это время держится в пределах  $2^{\circ}$  около минимума. Это ночное действие, увлекающее магнитную стрелку на запад (3004), медленно протекает до 15 ч. или 16 ч., причем ему содействует повышение температуры на востоке, заставляющее магнитную стрелку двигаться все быстрее на запад до 20 ч. Достигнув максимального своего отклонения в этом направлении, стрелка в 21 ч. поворачивает назад и отбросом отклоняется в крайнее восточное положение; при этом величина вариации более чем вдвое превышает ту же величину в июле, т. е. в зиму Мыса Доброй Надежды.

3039. Я думаю, что вышеизложенное правильно объясняет противоположные движения магнитной стрелки в июле и январе, т. е. зиму и лето на Мысу. Зимой парамагнитное действие холодного воздуха продолжается от 12 ч. до 19 ч., причем оно держится дольше по восточную сторону от магнитного меридиана. По мере его продвижения к нему присоединяется влияние солнечной области, и оба они в 19 ч. увлекают стрелку на запад, ибо хотя эти две области производят противоположные действия, но они находятся в это время на противоположных сторонах от магнитного меридиана (3005). Летом холодная область обладает гораздо меньшей силой, раньше<sup>1</sup> возникает, скоро проходит, так как позади него находится летнее Солнце, и тогда она до известной степени помогает Солнцу увлекать магнитную стрелку на запад.

3040. Некоторые другие месяцы еще более поразительны по своим летним явлениям. В феврале магнитная стрелка между 21 ч. и 1 ч. испытывает отброс с запада на восток на  $8'$ ; затем от 1 ч. до 3 ч. она почти не изменяет своего положения; от 3 ч. до 6 ч. она следует за Солнцем на запад; от 6 ч. до 16 ч. она изменяет свое положение очень незначительно, обнаруживая около 8 ч. лишь слабый след движения на восток,

<sup>1</sup> Минимум температуры внизу бывает на три часа раньше.

а после 16 ч. она движется все более и более быстро на запад, так что в 21 ч. она оказывается в крайнем западном положении, готовая быть отброшена назад при прохождении солнечной области. Легко установить явления и в другие, промежуточные месяцы; оказывается, что в течение их явления протекают в прекрасном согласии с теми же основными положениями гипотезы. Как это видно из сопоставления, почти во всех случаях каждый месяц до известной степени содержит в себе черты предшествующего месяца, хотя на Мысе Доброй Надежды это проявляется не столь сильно, как в некоторых других местах (3053). Кривые декабря и января более похожи друг на друга.

3041. Время, в течение которого происходит солнечный отброс, чрезвычайно хорошо иллюстрирует влияние наклонного положения магнитного меридиана (3000). В ноябре, декабре и январе оно протекает от 20 ч. до 1—2 ч. В течение этих месяцев Солнце пересекает астрономический меридиан приблизительно за полчаса до того, как оно доходит до магнитного меридиана. В октябре, феврале и марте оно бывает позднее, а именно от 21 ч. до 2 или 3 ч., так как в эти месяцы Солнце проходит через магнитный меридиан позже (несколько больше, чем на час), чем оно достигает магнитного меридиана. В сентябре, апреле и мае оно бывает еще позднее, а именно от 22 ч. до 2 или 3 ч., и теперь проходит еще больше времени, пока Солнце достигает магнитного меридиана. В июне, июле и августе отброс бывает позднее всего, а именно от 23 ч. до 3 ч., и Солнце соответственно позже доходит до магнитного меридиана. То, что я описываю как прохождение Солнца, конечно, верно и по отношению к идущей впереди него тепловой области, но я предпочитаю говорить о видимом образе, чем о невидимой реальности, так как он более просто приводит в связь соображения о времени.

3042. Наклонение на Мысе Доброй Надежды изменяется в течение двадцати четырех часов своеобразно, что, как я думаю, связано с его средней величиной. Последняя такова,

что результирующие теплового и холодного действия для Мыса Доброй Надежды по временам оказываются над линией наклоения, а по временам — под ней, причем это бывает не только в различные времена года, но, как мне думается, в некоторые времена года даже в различные часы дня. Потребовалось бы много внимания, чтобы разобраться во всем этом явлении. В июне, июле и августе, когда Солнце и его теплая область находятся далеко на север от Мыса Доброй Надежды, наклонение при прохождении этой области, по-видимому, увеличивается, что должно вызвать вращение верхнего конца магнитной стрелки, подобное тому, какое имеет место в Гобартоне (2909). Но в ноябре, декабре, январе, феврале, марте и апреле наклонение в это время уменьшается, и вызываемое этим вращение полюса происходит в противоположном направлении, т. е. так, как на Св. Елене (3057) и в Сингапуре (3061, 3067).

3043. Замечательны суточные изменения интенсивности на Мысе Доброй Надежды. От октября до апреля интенсивность имеет главный максимум в 19 или 20 ч.; около полудня она, по мере прохождения Солнца, уменьшается до своего минимума; затем она постепенно увеличивается до второго максимума около 4 или 5 ч. и, уменьшившись немного около 8 или 9 ч., достигает своего главного максимума следующим утром около 18 или 19 ч. От мая до сентября главный максимум бывает в 21 или 22 ч., а за ним следует минимум в 1 ч. или в 2 ч., вызываемый дневным действием. Потом наступает в 5 ч. максимум, а спустя тринадцать или более часов — второй минимум, почти столь же низкий, как первый, и только за три часа до главного максимума. Таким образом, этот максимум расположен между двумя минимумами, лежащими вблизи от него с обеих сторон.

3044. Это именно те месяцы, в течение которых верхний конец магнитной стрелки движется на восток ранним утром до 19 ч., и это как раз тот час, когда бывает минимум интенсивности. От 18 или 19 ч. до 21 ч. интенсивность возрастает

до максимума, в точности в то время, когда силовые линии движутся на запад перед солнечной областью — перед своим быстрым поворотом на восток; а когда они возвращаются туда в своем быстром беге, интенсивность снова падает до минимума и остается на этом минимуме до 1 ч. или до 2 ч., как раз когда отброс закончился. Здесь имеется очень тесная связь, и странно видеть конец магнитной стрелки обращенным на восток с минимальной силой в 18 ч. и затем снова то же самое в 1 ч., если при этом вспомнить, что за указанное время он выполнил свой отброс с востока на запад и затем обратно на восток.

3045. *Св. Елена*.<sup>1</sup> Это — станция наблюдения, которую полковник Сэбайн отметил как представляющую очень большой интерес, так как она расположена вблизи линии наименьшей силы между тропиками и обладает небольшим магнитным наклоном.<sup>2</sup> Здесь он обратил также внимание на удивительный факт, что в некоторые месяцы магнитная стрелка идет в одном направлении, а в другие месяцы, в те же часы дня, она идет в противоположном направлении.<sup>3</sup> Де ла Рив пытался объяснить это явление,<sup>4</sup> но Сэбайн показал, что данное им объяснение неудовлетворительно.<sup>5</sup>

3046. *Св. Елена* — небольшой остров в южном Атлантическом океане, удаленный приблизительно на 1200 миль от ближайшей суши. Он лежит на  $5^{\circ}40'$  зап. долготы и  $15^{\circ}56'$  южн. широты. Среднее склонение здесь  $23^{\circ}30'$  на запад, а среднее склонение  $22^{\circ}$  на юг. Таким образом, здесь к дневному действию Солнца имеют отношение три квадранта, в особенности когда светило находится к югу от экватора. Южнее самой *Св. Елены* Солнце бывает в ноябре, январе и феврале или приблизительно в этот период; в течение остальной части

<sup>1</sup> См. таблицы, стр. 442—445, и кривые вариаций (табл. IV, рис. 223).

<sup>2</sup> *Magnetical Observations, St. Helena, 1840 до 1843.*

<sup>3</sup> *Philosophical Transactions, 1847, стр. 51.*

<sup>4</sup> *Annales de Chimie et de Physique, March 1849, XXV, стр. 310.*

<sup>5</sup> *Proceedings of the Royal Society, May 10, 1849, стр. 821.*

года оно бывает севернее острова. Некоторое время Солнце проходит через астрономический меридиан ранее, чем достигает магнитного меридиана, а в остальное время имеет место противоположное явление. В дополнение ко всем этим особенностям Св. Елена представляет собою место с большими местными различиями, и сверх того наклонение здесь столь мало, что дневное влияние Солнца почти всегда действует в сторону его подавления и уменьшения.

3047. В июне и июле Солнце на Св. Елене встает в юго-восточном квадранте; спустя примерно час оно переходит в северо-восточный квадрант и пересекает последний у южного его конца; оно находится тогда на полпути в квадранте, примерно на одной трети его длины, т. е. приблизительно на  $60^\circ$  от южного конца. Оно оставляет этот квадрант около 1 ч. 20 м., пересекая в это время магнитный меридиан (следовательно, пересекая последний на указанный выше промежуток *позже* прохождения через астрономический меридиан); войдя в третий, или северо-западный квадрант, оно проходит через него наклонно по направлению к северному его окончанию. Во время нашей зимы, в декабре и январе, Солнце на Св. Елене, как и раньше, тоже восходит в юго-восточном квадранте, но теперь оно остается в нем до 22 ч., пребывая долгое время в местах сильного действия. Затем оно вступает в северо-восточный квадрант к югу от Св. Елены, но не остается в нем и двух часов, причем оно находится тогда лишь в наиболее слабой его части. Оно снова оставляет его ранее, чем доходит до астрономического меридиана, затем вступает в северо-западный квадрант, скользая близ южной его стороны, и когда остается едва две трети часа до ухода из этого квадранта, оно на Св. Елене заходит.

3048. Так как июнь дает здесь такое сочетание условий, которое больше всего приближается к условиям на станциях наблюдения, расположенных далее на юг, как Гобартон или Мыс Доброй Надежды, то я рассмотрю прежде всего вариации за этот месяц. Северный или верхний конец магнитной стрелки

находится тогда приблизительно в своем среднем положении в полночь, т. е. в 12 ч. Он перемещается на восток (сначала медленно) до 16 ч., затем все более и более быстро до 19 ч.; здесь он приостанавливается и затем столь же быстро движется на запад приблизительно до 22 ч.; после этого он лишь мало меняет свое положение до 3 ч., а затем движется *на запад* до 5 ч., после чего идет медленно на восток до 12 ч. и дальше, как это было сказано выше, до 16 и 19 ч. Движение на восток с полночи и перед этим я отношу за счет парамагнитного действия холода, который, как и раньше (3003, 3025, 3037), падвигается с востока. Быстрое нарастание движения на восток от 16 ч. до 19 ч. согласуется с увеличением холода ранним утром, а также с тем обстоятельством, что Солнце и представляющая его область переходят тогда из юговосточного квадранта в северовосточный и должны находиться недалеко от нейтральной линии, так как это — время наиболее быстрого движения магнитной стрелки. Когда Солнце вступает в северовосточный квадрант, оно прежде всего приостанавливает движение на восток, как это и происходит в 19 ч., а затем превращает его в движение на запад (3014), которое, в полном соответствии со всеми прежними наблюдениями, продолжается до 22 ч. Стрелка задерживается тогда несколько западнее своего среднего положения до 1 ч., когда она еще не дошла до совпадения с магнитным меридианом, а после указанного часа она до 3 ч. немного смещается на восток. Это действие в течение промежутка от 22 до 3 ч. я рассматриваю как отброс к востоку. Изучение влияния на глобусе (2996) дает мне основание думать, что малая величина смещения стрелки при этом рывке вполне согласуется с относительным положением Св. Елены и теплой области, при одновременном влиянии положения активных и нейтральных частей пересекаемых в течение этого времени квадрантов. От 3 до 5 ч. конец магнитной стрелки движется на запад, идя вслед за Солнцем, а это явление находится в согласии с предположением, что предшествующая задержка магнитной стрелки в восточном положении от 22 ч.

до 3 ч. происходила под действием Солнца. Затем медленное движение ее на восток от 5 ч. до полуночи и позднее является результатом действия наступающего холода.

3049. Полковник Сэбайн показал, что месяцы май, июнь, июль и август можно отнести к одной группе, так что я не буду говорить отдельно о каждом из них. Обнаруживая существующие между ними аналогии, они в то же время указывают на наличие переходов к другим месяцам и от последних. Рассмотрим сентябрь. Начиная с 7 ч., переходя через полночь и до 16 ч., магнитная стрелка стоит почти в среднем своем положении. От 16 ч. до 18 ч. верхний, или северный, конец магнитной стрелки движется на восток под влиянием холода раннего утра. То обстоятельство, что отклонение на восток происходит теперь целиком на час ранее, чем это было указано выше (3048), находится в полном согласии с основными положениями, так как путь Солнца и его диамагнитной области теперь гораздо ближе к станции наблюдения, чем это было раньше, ибо теперь она располагается у экватора. От 18 ч. до 22 ч. Солнце гонит конец магнитной стрелки на запад, в соответствии со всеми прежними наблюдениями, а затем между 22 ч. и 24 ч. происходит отброс с запада на восток и задержка стрелки в крайнем восточном положении еще в течение часа. Здесь мы имеем, как я думаю, превосходный пример быстроты этого перехода. Солнце находится еще к северу от Св. Елены, но теперь оно настолько ближе к ней, что *тот же самый угол* с востока на запад относительно места наблюдения оно проходит за время, вдвое меньшее того, которое нужно было для солнечного действия в июне (3041). Затем конец магнитной стрелки движется от 1 ч. до 6 ч. на запад, следуя, как и в других случаях, за Солнцем; после этого от 6 ч. до 9 ч. он движется немного на восток под действием вечернего холода на востоке; он остается вблизи среднего своего положения до тех пор, пока больший холод перед восходом Солнца (3005, 3011) не забирает его еще дальше на восток между 16 ч. и 18 ч. наступающего дня.

3050. Если взглянуть на кривые вариаций (рис. 223), то можно увидеть, что кривая для следующего месяца, октября, замечательна в том отношении, что, будучи по общему своему характеру схожей с кривой для сентября, она по сравнению с ней сильно сдвинута, и это явление вызывается, по-видимому, тем обстоятельством, что Солнце теперь доходит до широты Св. Елены или почти так. Согласно моему предположению, здесь имеет место слабое ночное действие (3010), и в полночь магнитная стрелка находится в среднем своем положении и медленно движется на запад; но тут предшествующий восходу Солнца большой холод, вступая в действие на востоке, уравновешивает и задерживает продвигавшиеся стрелки на запад и даже заставляя ее, как и раньше, слегка переместиться на восток на час или два, до 18 ч. И солнечная область находится в 16 ч. в таком квадранте (юговосточном), что если бы он мог действовать на магнитную стрелку, то вместе с холодом в ближайшем или северовосточном квадранте он погнал бы стрелку на восток. К 18 ч. как идущая впереди холодная область, так и следующая за ним солнечная оказываются продвинувшимися в соответствующих квадрантах столь далеко, что соединенное их действие увлекает конец магнитной стрелки, как и раньше, на запад до 20 ч., и потом происходит движение с запада на восток, продолжающееся до 24 ч. Почему в октябре последнее начинается раньше, длится дольше и почти вчетверо превышает по своему размаху сентябрьское быстрое движение, это, по-видимому, объясняется тем обстоятельством, что солнечная область доходит в это время до широты Св. Елены и потому действует по отношению к магнитному меридиану сильнее, да вдобавок начинается раньше и действует дольше; кроме того, вследствие того, что среднее склонение — западное, солнечная область раньше доходит до точек, одинаково отстоящих от магнитного меридиана, и раньше пересекает последний; наконец, к его действию прибавляется накопленное действие прежних месяцев (3053).

3051. Магнитная стрелка начинает возвращаться из крайнего восточного положения в 1 ч., т. е. раньше, чем в предшествующие месяцы, так как магнитный меридиан пройден раньше; она идет вслед за Солнцем до 4 ч.; тут она останавливается. Затем вечернее или ночное действие, вызываемое появляющимся на востоке холодом, увлекает магнитную стрелку обратно на восток до 10 ч., а с продвижением его по квадранту оно заставляет магнитную стрелку снова идти назад (3004) до 12—13 ч., когда она оказывается в среднем своем положении. Затем, по-видимому, холодная область до 16 ч. гонит ее на запад; потом расстояние до нее увеличивается, и она освобождает магнитную стрелку, предоставляя последней возможность идти назад на восток до 18 ч.; здесь она оказывается еще на западе от своего нормального положения, и тогда восходящая солнечная область, возможно, при поддержке холода, который ей предшествует и который в это время находится, вероятно, в магнитном меридиане или по ту сторону последнего, гонит ее на запад перед началом отброса.

3052. В декабре и январе Солнце находится к югу от станции. Это не вызывает никакого изменения в общем характере кривой за эти месяцы. Согласно гипотезе, оно и не должно их вызывать, за исключением одного обстоятельства: хотя Солнце находится очень близко к Св. Елене и к его собственному влиянию в это время присоединяется накопленное действие предшествующих месяцев (3050, 3053), Солнце пребывает в более слабых частях квадранта, а в главном сегменте оно находится почти в углу и близко к тому месту, где взаимно пересекаются две нейтральные плоскости; поэтому его влияние должно уменьшиться; так оно и есть на самом деле, ибо в ноябре и феврале отброс больше, чем в декабре и январе. В декабре он происходит в то же время, что и в октябре, хотя в этом последнем месяце Солнце пересекает магнитный меридиан после полудня, а в первом — до полудня. Однако эти два момента времени разнятся лишь на полчаса, а наблюдения следуют, вероятно, недостаточно часто друг за другом,

чтобы дать возможность выделить их особое влияние за время четырехчасового промежутка. Сверх того здесь могут сказаться помехи, вызываемые накоплением причин. Декабрьская кривая всеми своими участками лежит несколько западнее, чем соответствующие участки октябрьской кривой.

3053. *Накопление действия* предшествующих месяцев очень важно и хорошо представлено на Св. Елене (3050). Так, если взять сентябрьскую кривую и сравнить ее с октябрьской, или с кривой за следующий месяц, то мы получим большое различие вполне определенного рода. А если сравнить сентябрь с таким месяцем, в течение которого Солнце возвращается от южного тропика, а не движется, наоборот, к последнему, то когда оно достигает того положения, какое оно занимало в октябре, снова выявляется поразительное различие. Для еще одного сравнения следующим месяцем является март. До 20 ч. кривая этого месяца изменяется подобно октябрьской кривой, но верхний конец магнитной стрелки все время оказывается почти на полминуты к востоку от его положения в октябре. В октябре магнитная стрелка начинает свое быстрое движение с запада в 20 ч. и достигает крайнего восточного положения в 24 ч.; в марте она движется на запад до 21 ч., затем идет назад и достигает крайнего восточного положения в 1 ч.; таким образом, здесь этот отброс происходит на час позже, и в течение этого времени конец магнитной стрелки стоит от полминуты (угловой) до минуты западнее, чем в октябре. Я думаю, что это различие вызывается накоплением действия (предыдущих) месяцев от октября до марта, в течение которого тепло в северном полушарии уменьшалось, а в южном увеличивалось. Подобные результаты в другие месяцы указывают на вероятность того, что действие атмосферы, хотя оно и вызывается Солнцем, отстает от светила, если иметь в виду астрономическое положение последнего в течение всего года, и что вследствие этого, приближаясь к тропику и удаляясь от последнего, Солнце оказывает, по-видимому, в первом слу-

чае меньше, а во втором больше действия, чем это следует по его местонахождению в это время.

3054. Однако и в тех случаях, когда обстоятельства, по-видимому, одинаковы, все же обнаруживается различие. Так, например, изменения в промежуток от марта до апреля в одном направлении, а от сентября до октября — в другом направлении должны были быть одинаковы, за исключением небольшого влияния отставания (3053), которое должно было бы проявиться в обоих случаях. Тем не менее на кривых Сэбайна март и апрель находятся *между* сентябрем и октябрем и близко друг к другу, между тем как другие два месяца оказываются друг от друга далеко. Это явление я отношу за счет различия условий в двух полушариях в отношении тепла (Дов). От сентября до октября Солнце уходит из полушария, средняя летняя температура которого на  $17^{\circ}.4$  выше средней температуры другого полушария в течение его зимы; а в марте и апреле оно оставляет полушарие, средняя летняя температура которого лишь на  $10^{\circ}.7$  выше температуры другого полушария в течение его зимы (2949). Эти различия должны стремиться отделить друг от друга сентябрь и октябрь и сблизить март и апрель, как это действительно можно увидеть на картах кривых (рис. 223).

3055. Мне незачем входить в дальнейшее рассмотрение вариации склонения на Св. Елене; сделанные выше замечания относятся к линиям и для других месяцев. Мне кажется, что поставленный полковником Сэбайном важный вопрос о причине различия направления в различные месяцы (3045) получил в настоящее время ответ для рассматриваемой станции, равно как и для других станций, расположенных на весьма различных широтах, где только это различие выявилось (3016, 3022, 3039).

3056. *Наклонение* на Св. Елене дает картину очень простой по своему характеру суточной вариации; оно достигает максимума в 7 ч. и минимума в 22 и 23 ч., даваясь лишь в одну сторону. Следовательно, оно идет к своему минимуму посе-

редине солнечного рывка конца стрелки, т. е. верхний конец магнитной стрелки идет на запад и опускается от 16 ч. до 19 или 20 ч., и таким образом наклонение в это время уменьшается; затем он поворачивает на восток, пока не доходит до нейтрального положения, а наклонение тем временем продолжает уменьшаться все более. Магнитная стрелка продолжает затем двигаться на восток, завершая свое быстрое движение, но теперь наклонение увеличивается. В 24 или в 1 ч. стрелка движется в обратном направлении (если говорить о склонении) вслед за Солнцем на запад, но наклонение продолжает еще возрастать. В 5 или 6 ч. движение на запад почти прекращается, и спустя час наклонение достигает своего максимума.

3057. Итак, когда Солнце и его область проходят мимо, они уменьшают наклонение, придавливая верхние концы силовых линий книзу, а когда они уходят, то эти линии поднимаются (2926, 2937), и наклонение увеличивается. Таким образом, эллипс или кривая, представляющая движение верхнего конца магнитной стрелки на Св. Елене, при восходе Солнца на востоке находится наверху с запада, затем опускается вниз и идет далее низом обратно на восток; здесь она подымается вверх с тем, чтобы в ближайшие двадцать четыре часа повторить то же движение. Это направление противоположно направлению движения эллипса, представляющего движение магнитной стрелки в Гобартоне, где наблюдается такое же южное, но более сильное, наклонение. Но это находится в совершенном согласии с гипотезой. Действительно, так как область находится наверху в воздухе, то она лежит сверху от угла, образуемого наклонением с горизонтом на Св. Елене; поэтому она должна оттеснить вниз силовую линию и уменьшить наклонение. В Гобартоне область, находясь в тропической местности, лежит внутри угла, образуемого линией наклонения с горизонтом; поэтому она отклоняет силовые линии вверх и этим *увеличивает* наклонение. Таким образом, в указанных выше двух местах части эллипса, которые с точки зрения склонения соответствуют друг другу по времени и на-

правлению, отличаются противоположными изменениями наклоения.

3058. С и н г а п у р.<sup>1</sup> Это — очень интересная станция: находясь на восточной долготе  $103^{\circ}53'$ , она имеет лишь  $1^{\circ}16'$  северной широты и, таким образом, расположена у самого экватора. Склонение составляет здесь тоже лишь  $1^{\circ}40'$  на восток, а наклонение —  $12^{\circ}$  на юг. Она находится также близко к проходящей вокруг Земли линии наименьшей силы. Магнитный экватор стрелки почти параллелен земному экватору, а расположение квадрантов (2929) очень просто, поскольку магнитный и астрономический меридианы почти совпадают друг с другом. Во время нашего лета Солнце проходит в дневное время через северные квадранты, восточный и западный; в период нашей зимы — через южные квадранты, восточный и западный. А в некоторые месяцы оно проходит через все четыре квадранта, следуя почти точно по нейтральной линии магнитного экватора.

3059. Поэтому если бы силовые линии были свободны, т. е. если бы их ничто не удерживало в земле (2919), то на основе гипотезы мы могли бы ожидать лишь малых, а то и никаких изменений на магнитной стрелке, в особенности в течение того месяца, когда Солнце находится над магнитным экватором. Но так как существует наклонение, а силовые линии, управляющие магнитной стрелкой, прикреплены к земле (2929) в южном направлении, имея в то же время возможность свободно двигаться на север в воздухе и в (пустом) пространстве, то в данном случае происходят вполне согласные по своему характеру изменения как склонения, так и наклонения. Если мы примем это во внимание, то, полагаю, не встретимся ни с какими затруднениями при анализе месячных результатов на основе нашей гипотезы.

---

<sup>1</sup> См. таблицы, стр. 446—449, и кривые вариаций (табл. IV, рис. 222). Данные для Сингапура выведены из новых весьма ценных работ капитана Эллиота (Elliot).

3060. Прежде всего кривые суточной вариации настолько схожи, из месяца в месяц, с кривыми на Св. Елене, что объяснение их, данное там, достаточно и для настоящего случая (3048). Солнечный отброс происходит в тот же период, и при этом получается действие (3054, 2949), которое, как я полагаю, зависит от характера обеих полушарий. Имеются однако замечательные различия в последней части солнечного оборота, а также в ночные часы от 5 до 14 ч. Величина вариации представляется незначительной, но это вызывается главным образом тем обстоятельством, что горизонтальная плоскость, на которой мы ее отсчитываем, почти совпадает со свободной магнитной стрелкой, и таким образом упомянутая выше поправка (3009, выноска), необходимая для того, чтобы получить истинное значение вариации, оказывается здесь очень незначительной.

3061. Рассмотрим первым, как и на Св. Елене, июль; верхний конец магнитной стрелки движется на восток, как и раньше, до 19 ч. под влиянием утреннего холода, после чего останавливается и гонится Солнцем на запад до 22 ч., когда он быстро устремляется вниз; понизу он идет до 3 ч. на восток; ватем до 7 ч. он идет вслед за Солнцем на запад. В этот момент он останавливается и затем поворачивает в другую сторону, ползя все дальше и дальше на восток под влиянием приходящего холода (3065). В июле магнитная стрелка до 19 ч. идет несколько дальше на восток, затем на запад до 23 ч., и вновь на восток до 4 ч. Таким образом, солнечный отброс происходит теперь на час позже, чем в июне, что, как я полагаю, связано с накоплением тепла над сушей (3054), а также с замедляющим влиянием солнца (3053). В августе конец магнитной стрелки идет на восток до 19 ч., дальше, чем в июле, и дальше, чем во все остальные месяцы. Затем он движется до 23 ч. далеко на запад впереди Солнца, после чего начинается солнечный отброс; он продолжается до 5 ч., как будто теплая область отстает от Солнца, быть может, даже на 2 часа. Продолжительность этого отброса сильно удлинена, что вполне естественно, так как это место лежит на экваторе и, следовательно, под

Солнцем. В сентябре движение на восток меньше, движение на запад меньше и солнечный отброс также меньше. Апрель подобен сентябрю, за исключением того обстоятельства, что последний обнаруживает влияние предшествующего нагревания полушария (3053).

3062. Затем, имеется четыре месяца в году — ноябрь, декабрь, январь и февраль, когда Солнце находится на юге от Сингапура и в течение всего дня в южных квадрантах (3058). При восходе Солнца (от 16 до 17 ч.) верхняя часть силовой линии идет на запад (нижняя часть ее закреплена в Земле) до 19 или 20 часов. Солнце находится в это время в юговосточном квадранте, и можно было бы, пожалуй, ожидать, что северный или верхний конец магнитной стрелки будет двигаться на восток, если вообще будет происходить какое-либо изменение. Имеется, однако, две или три причины, основанных на нашей гипотезе, по которым этого не должно произойти. Прежде всего для того, чтобы это явление имело место, не должно вообще существовать наклоения; далее, если бы наклоения и не было, то Солнце находится столь близко к нейтральной линии магнитного экватора, что отклонение, если бы оно имело место, было бы весьма незначительным. С другой стороны, силовые линии имеют наклонение на юг, и, следовательно, удерживаются в Земле; Солнце движется по нейтральной линии и при своем приближении должно было бы отклонить всю силовую линию на запад, что не произвело бы никакого изменения склонения; но теперь оно оказывается в состоянии отклонить на запад лишь северные части линий, которые поднимаются с земли и уносятся вместе с общей системой линий, и этим вызвать движение магнитной стрелки на запад, что происходит на самом деле. Сверх того, хотя Солнце находится к югу от этой нейтральной линии, а также от Сингапура, имеется основание предполагать, что середина или результирующая теплой области находится к северу от них обоих (3063), что должно содействовать описанному только что движению магнитной стрелки на запад.

3063. В самом деле, вспомним результаты, полученные Довом; они показывают, что северное полушарие, взятое в целом, теплее южного (2949). Далее, если мы взглянем на меридиан Сингапура, то найдем, что к северу от последнего имеется для создания более высокой температуры гораздо больше суши, чем к югу. И даже из местных температурных таблиц, которые приложены ниже, мы найдем, что май, июнь, июль и август являются в Сингапуре наиболее жаркими месяцами, а ноябрь, декабрь, январь и февраль — наиболее холодными. Все это склоняет нас к заключению, что теплая область атмосферы находится севернее по сравнению с местонахождением Солнца, а возможно даже севернее Сингапура (3067).

3064. В 20 ч. начинается солнечный отброс с запада на восток; он продолжается до 2 ч., после чего магнитная стрелка движется на запад, вслед за Солнцем, до 10 или 11 ч., когда она оказывается близкой к среднему своему положению; затем она продолжает медленно двигаться на запад до 17 ч., когда под действием утреннего Солнца она начинает двигаться на запад быстрее, примерно до 20 ч., а в это время опять начинается солнечный отброс на восток. Кривая этих месяцев очень проста по своему характеру: ночное или холодное действие представляется лишь незначительным и проявляется скорее в приостановке движения, чем в отчетливом движении на восток.

3065. Движение конца магнитной стрелки на восток в мае, июне, июле и августе и движение его на запад в ноябре, декабре, январе и феврале, происходящие в те же часы, до 19 ч., представляют собою поразительный контраст. Я отношу это различие за счет влияния холодной области, надвигающейся с востока в течение первых из указанных выше месяцев (3061), между тем как в течение последних месяцев ее нет. По отношению к последнему пункту нам следует опять принять во внимание, что теплая область находится к северу от экватора (3063) и что при движении Солнца на север и юг теплая область тоже движется вместе с ним, однако остается все же к северу

от него. Поэтому две холодные области, которые доходят до меридиана в более высоких широтах (3006) раньше Солнца, будут находиться в неодинаковых условиях по отношению к Сингапуру, так как холодная область на юге ближе к нему, чем холодная область на севере, и во всяком случае окажется более сильной. Таким образом, когда Солнце находится близко и у южного тропика, то теплая область, по всей вероятности, проходит над Сингапуром и, следовательно, занимает в это время такое положение, при котором она ближе всего к Сингапуру, сильнее всего и наиболее прямым образом действует; холодные же области оказывают в это время *наименьшее* действие на станцию и притом занимают наименее благоприятное по отношению к ней положение. Но когда Солнце находится у северного тропика, влияние теплой области уменьшается как из-за ее расстояния, так и из-за ее направления, а значение южной холодной области возрастает благодаря увеличению ее силы и большей близости; таким образом и возникает движение на восток перед 19 ч.

3066. Можно заметить поразительное различие между направлением ночных кривых на Св. Елене и в Сингапуре от 5 до 14 ч. В первом из этих мест конец магнитной стрелки стремится сначала на восток, а затем на запад; во втором, наоборот, он движется сначала на запад, а потом на восток. Это различие, как я думаю, объясняется тем, что на Св. Елене действие ночного холода значительно сильнее, чем в Сингапуре. В Сингапуре, как это было только что описано (3065), указанное действие проявляется в июне, июле и августе, но лишь в слабой степени и в поздний час. На Св. Елене, находящейся на  $16^{\circ}$  южной широты, действие холода должно, по приведенным выше причинам (3065), проявиться с большой силой, и отсюда получается движение на восток в 6 ч. и позже. На то, что причина заключается именно в этом, указывают до известной степени и таблицы температур. В самом деле, в Сингапуре разность между максимумом и минимумом температуры в течение двадцати четырех часов составляет лишь от  $3$  до  $4^{\circ}$ ,

а на Св. Елене она колеблется от  $4^{\circ}5$  до  $7^{\circ}$ , и четыре пятых или даже пять шестых этого падения температуры происходит около 9 ч. Таким образом, за 4 или 5 ч. до этого на востоке появляется холодная область и вызывает отклонение на восток, которое и отмечается на кривых температурной таблицы.

3067. Вариация *наклонения* в Сингапуре замечательно проста и именно такова, какой ее можно было ожидать на основе нашей гипотезы. Солнечная или теплая область, проходя через меридиан, всегда находится над (силовыми) линиями и придавливает их книзу. Наклонение почти одинаково в течение всех месяцев; оно имеет наибольшую величину в ночное время и наименьшую в полдень. Оно остается почти постоянным от 8 до 18 ч.; затем, когда Солнце восходит, наклонение быстро уменьшается вплоть до 23 или 24 ч., после чего с заходом Солнца почти столь же быстро увеличивается (до 7 или 8 ч.). Вариация имеет наибольшую величину, когда Солнце находится над Сингапуром или на юг от него. Она бывает меньше всего в июне и июле, когда Солнце находится вблизи северного тропика. В декабре и январе, когда оно находится вблизи южного тропика, вариация значительно больше, чем в июне и июле; это, по-видимому, снова указывает на то, что теплая область находится главным образом к северу от области Солнца (3063).

3068. Вариация полной силы протекает просто: она бывает максимальной от 9 до 12 ч. и минимальной в 22 или 23 ч., близко к полудню. Вариация бывает наибольшей в апреле и октябре, т. е. в период равноденствия, а наименьшей — в декабре и июне, когда Солнце находится на тропиках. Сила бывает наименьшей к полудню, когда, как я предполагаю, воздух наверху бывает в наихудших условиях проводимости, вследствие чего помещенный в нем магнит проявил бы больше силы. Но как это может повлиять на кривые внизу на поверхности Земли, где они прижаты друг к другу, не совсем ясно, а равно и весь вопрос об интенсивности является слишком неопределенным и, по-моему, слишком сложным, чтобы я мог его здесь с пользой рассмотреть.

Мыс Доврой Надежды. — Восточная долгота 18°30'. Южная  
Средняя суточная вариация склонения по  
Возрастающие числа указывают на движение се

Среднее время	Полдень 0 ч.											
		1 ч.	2 ч.	3 ч.	4 ч.	5 ч.	6 ч.	7 ч.	8 ч.	9 ч.	10 ч.	11 ч.
Январь . .	4.11	5.43	5.50	5.04	4.64	4.29	3.96	4.16	4.43	4.36	4.27	4.13
Февраль . .	5.51	7.48	8.21	7.86	7.06	6.11	5.74	5.83	5.90	5.82	5.74	5.69
Март . . .	5.34	6.74	7.29	6.93	6.17	5.48	5.32	5.33	5.42	5.39	5.28	5.40
Апрель . .	4.07	5.00	4.76	4.21	3.75	3.53	3.42	3.39	3.44	3.45	3.51	3.56
Май . . . .	1.83	2.49	2.81	2.92	2.50	2.15	2.17	2.31	2.33	2.30	2.45	2.41
Июнь . . .	0.74	1.27	1.87	1.87	1.36	1.05	1.11	1.19	1.24	1.34	1.49	1.63
Июль . . .	0.60	1.18	1.96	2.09	1.54	1.06	1.06	1.09	1.19	1.31	1.46	1.74
Август . .	0.62	1.52	2.50	3.23	2.93	2.22	2.27	2.34	2.46	2.56	2.49	2.64
Сентябрь .	1.58	2.64	3.22	3.27	2.94	2.57	2.64	2.73	2.75	2.76	2.82	2.84
Октябрь . .	4.90	5.81	5.96	5.23	4.29	3.69	3.84	4.05	4.09	4.17	4.18	4.16
Ноябрь . .	5.19	6.15	6.36	5.98	5.43	4.98	5.08	5.26	5.32	5.39	5.37	5.37
Декабрь . .	4.64	5.48	5.51	5.08	4.47	4.41	4.24	4.42	4.54	4.60	4.66	4.67

Средняя суточная вариация наклоения по отдель  
Возрастающие числа указывают на увеличива

Январь . .	0.03	0.00	0.34	0.56	0.72	1.00	1.25	1.35	1.46	1.51	1.50	1.41
Февраль . .	0.13	0.00	0.44	1.05	1.55	1.91	2.01	2.14	2.14	2.09	2.94	1.94
Март . . .	0.11	0.00	0.46	1.05	1.45	1.86	2.09	2.21	2.16	2.02	1.94	1.79
Апрель . .	0.00	0.49	1.05	1.55	1.76	1.89	2.16	2.21	2.11	2.06	1.88	1.65
Май . . . .	0.00	0.38	0.70	0.86	1.08	1.16	1.27	1.31	1.49	1.59	1.39	1.32
Июнь . . .	0.41	0.53	0.58	0.76	0.64	0.79	0.96	1.22	1.34	1.40	1.29	1.22
Июль . . .	0.62	0.64	0.59	0.64	0.77	0.87	1.18	1.20	1.46	1.43	1.43	1.21
Август . .	0.12	0.38	0.76	0.99	1.16	1.27	1.34	1.60	1.55	1.52	1.45	1.30
Сентябрь .	0.00	0.23	0.66	1.09	1.40	1.65	1.78	1.68	1.75	1.75	1.40	1.27
Октябрь . .	0.00	0.08	0.53	1.17	1.75	1.98	1.98	1.89	1.88	1.75	1.60	1.50
Ноябрь . .	0.14	0.00	0.29	0.64	1.12	1.53	1.41	1.46	1.48	1.33	1.25	1.08
Декабрь . .	0.13	0.30	0.87	1.22	1.40	1.53	1.78	2.01	2.04	1.81	1.70	1.57
Среднее . .	0.14	0.25	0.61	0.96	1.23	1.45	1.60	1.69	1.74	1.69	1.49	1.44

широта 33°56'. Западное склонение 29°05'. Южное склонение 53°15'  
отдельным месяцам за годы с 1841 по 1846  
шриго или верхнего конца магнита на восток

Июль 12 ч.	13 ч.	14 ч.	15 ч.	16 ч.	17 ч.	18 ч.	19 ч.	20 ч.	21 ч.	22 ч.	23 ч.	Суточные средние	
3.98	3.79	3.56	3.32	3.09	2.87	2.61	2.01	1.15	0.37	0.36	1.39	2.93	3.28
5.78	5.73	5.55	5.50	5.38	5.27	4.90	3.36	1.28	0.00	0.82	2.96	4.93	4.93
5.34	5.52	5.59	5.54	5.52	5.39	4.95	3.22	1.04	0.02	1.26	3.44	4.66	4.66
3.53	3.98	3.96	4.07	4.17	4.32	4.15	3.29	1.32	0.00	0.39	0.06	3.30	3.30
2.64	2.83	2.87	3.10	3.24	3.36	3.80	3.91	2.31	0.68	0.00	0.62	2.42	2.42
1.74	2.00	2.04	2.25	2.22	2.28	2.59	3.21	2.38	0.86	0.00	0.10	1.58	1.58
2.03	2.22	2.23	2.32	2.46	2.61	3.08	3.56	2.74	1.35	0.28	0.02	1.71	1.71
2.77	2.91	3.01	3.32	3.45	3.63	4.35	4.98	3.65	1.74	0.36	0.00	2.71	2.71
2.91	3.05	3.06	3.19	3.22	3.36	4.33	4.10	2.43	0.84	0.00	0.49	2.65	2.65
4.16	4.15	3.96	3.79	3.63	3.40	2.78	1.37	0.14	0.00	1.27	3.18	3.59	3.59
5.34	5.13	4.84	4.55	4.15	3.41	2.05	0.68	0.00	0.57	2.19	3.88	4.28	4.28
4.62	4.36	4.07	3.74	3.38	2.63	1.42	0.39	0.04	0.55	2.05	3.56	3.62	3.62

ным месяцам года с апреля 1841 по июнь 1846 г.  
ющееся склонение. Южное склонение 53°15'

1.37	1.40	1.30	1.22	1.18	1.10	0.94	0.99	0.97	0.92	0.66	0.23	0.98	0.98
1.70	1.63	1.65	1.56	1.63	1.70	1.66	1.94	2.26	2.08	1.45	0.66	1.56	1.56
1.79	1.46	1.35	1.46	1.45	1.50	1.51	1.69	1.81	1.66	1.00	0.41	1.38	1.38
1.45	1.18	1.18	1.07	1.22	1.12	1.10	1.10	1.48	1.53	0.92	0.33	1.35	1.35
1.16	0.89	0.93	0.89	0.76	0.68	0.30	0.15	0.53	0.66	0.56	0.12	0.84	0.84
1.04	0.96	0.89	0.81	0.73	0.78	0.36	0.00	0.07	0.38	0.36	0.43	0.75	0.75
1.07	0.95	0.77	0.87	0.67	0.60	0.28	0.00	0.18	0.51	0.64	0.56	0.80	0.80
1.16	1.04	0.84	0.83	0.63	0.68	0.27	0.00	0.13	0.33	0.43	0.30	0.84	0.84
0.91	0.97	0.56	0.81	0.51	0.73	0.18	0.31	0.07	0.35	0.03	0.12	0.84	0.84
1.28	1.23	1.20	1.10	1.09	1.07	1.07	1.09	1.04	0.77	0.36	0.05	1.14	1.14
0.99	0.94	0.90	0.87	0.87	0.94	0.80	0.62	0.46	0.26	0.06	0.00	0.81	0.81
1.50	1.48	1.47	1.50	1.50	1.40	1.05	0.81	0.48	0.15	0.02	0.00	1.15	1.15
1.28	1.18	1.09	1.08	1.02	1.02	0.79	0.72	0.79	0.80	0.54	0.27	1.04	1.04

Мыс Довой Надежды. — Средняя суточная вариация интенс  
 Возрастающие числа указывают на  
 Числа обозначают изменения в частях всей силы. При

Среднее время	Полдень 0 ч.	1 ч.	2 ч.	3 ч.	4 ч.	5 ч.	6 ч.	7 ч.	8 ч.	9 ч.	10 ч.	11 ч.
Январь . . .	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Февраль . . .	.000	.003	.018	.031	.041	.047	.048	.039	.036	.038	.040	.044
Март . . . .	.000	.007	.027	.052	.070	.079	.074	.069	.064	.064	.067	.066
Апрель . . .	.000	.017	.040	.058	.070	.071	.068	.065	.060	.059	.059	.060
Май . . . . .	.003	.000	.008	.019	.036	.038	.035	.028	.025	.023	.021	.021
Июнь . . . .	.008	.000	.003	.015	.029	.030	.026	.021	.017	.014	.017	.010
Июль . . . .	.009	.004	.005	.016	.032	.033	.026	.023	.018	.013	.010	.007
Август . . .	.028	.013	.007	.010	.028	.035	.029	.024	.019	.016	.017	.016
Сентябрь . .	.007	.000	.005	.015	.023	.028	.021	.017	.013	.012	.013	.012
Октябрь . . .	.000	.009	.033	.057	.070	.064	.053	.047	.045	.047	.047	.049
Ноябрь . . .	.000	.005	.021	.038	.049	.057	.048	.044	.043	.044	.044	.047
Декабрь . . .	.000	.003	.015	.029	.037	.035	.034	.030	.027	.026	.028	.031
Средние . . .	.005	.005	.017	.032	.046	.050	.045	.040	.036	.035	.036	.036

Средняя температура воздуха с апреля 1841 по

Январь . . .	73°16	73°30	73°03	72°43	71°52	70°30	67°94	66°11	65°45	65°01	64°51	64°10
Февраль . . .	74.04	74.07	73.63	72.85	71.74	70.36	68.20	66.69	66.13	65.75	65.34	64.93
Март . . . .	71.74	72.40	72.19	71.40	69.96	68.07	65.98	64.98	64.38	63.69	63.20	62.85
Апрель . . .	68.39	68.94	68.90	68.06	66.56	64.22	62.69	62.13	61.54	60.98	60.46	59.87
Май . . . . .	62.32	62.55	62.43	61.74	60.49	58.99	58.08	57.41	56.81	56.39	55.85	55.48
Июнь . . . .	58.45	58.79	58.78	58.32	57.01	55.58	54.79	54.25	53.71	53.25	52.77	52.32
Июль . . . .	59.15	59.66	59.65	59.21	57.77	56.13	55.15	54.47	53.83	53.34	52.86	52.37
Август . . . .	58.86	59.23	59.07	58.61	57.61	55.91	55.01	54.35	53.91	53.60	53.17	52.91
Сентябрь . .	61.60	61.79	61.68	60.87	59.85	58.02	56.78	56.09	55.62	55.22	54.58	54.47
Октябрь . . .	65.48	65.71	65.46	64.66	63.38	61.56	59.51	58.68	58.05	57.51	57.14	56.74
Ноябрь . . .	68.00	68.03	67.63	66.98	66.19	64.82	62.49	61.12	60.38	59.99	59.52	59.12
Декабрь . . .	71.02	71.23	70.84	70.21	69.63	68.23	65.69	63.94	63.19	62.64	62.07	61.59

ности по отдельным месяцам года с апреля 1841 по июнь 1846 г.  
 увеличивающуюся интенсивность  
 минимальная величина полной интенсивности — 7.5

Пол- ночь 12 ч.	13 ч.	14 ч.	15 ч.	16 ч.	17 ч.	18 ч.	19 ч.	20 ч.	21 ч.	22 ч.	23 ч.	Суточные средние
(M)	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
045	047	049	050	052	061	071	079	078	056	028	005	042
074	075	078	076	077	080	092	115	127	105	062	028	068
070	068	066	068	068	068	081	103	119	094	047	011	063
060	059	060	063	061	060	065	083	102	093	059	021	059
022	020	020	019	019	018	013	026	056	063	050	020	025
010	007	009	007	010	008	004	003	030	041	039	017	015
007	007	008	009	008	007	000	005	027	043	041	023	016
016	016	017	013	013	009	000	009	044	061	064	044	023
019	015	020	014	019	008	005	018	051	057	050	023	019
051	055	056	056	056	060	073	088	084	060	025	005	050
050	053	056	057	052	074	090	096	082	054	022	007	047
035	036	038	042	047	060	074	078	068	042	013	000	034
038	038	040	040	040	043	047	058	072	064	042	017	038

июнь 1846 г. включительно. Шкала Фаренгейта

63°77	63°54	63°32	63°06	62°85	63°18	65°20	67°24	68°78	70°05	71°46	72°59	67°58
64.54	64.23	64.00	63.60	63.41	63.12	64.46	66.33	67.94	69.72	71.62	73.10	67.91
62.37	62.06	61.69	61.44	61.15	60.97	61.31	63.03	65.39	67.48	69.50	71.00	65.76
59.53	59.27	59.00	58.80	58.40	58.28	58.17	59.49	61.82	64.14	65.95	67.35	62.62
55.37	55.21	55.05	54.81	54.59	54.32	54.04	54.44	56.42	58.48	60.09	61.29	57.61
52.16	51.86	51.69	51.53	51.21	50.95	50.80	50.83	52.20	54.42	56.17	57.42	54.14
52.08	51.72	51.42	51.19	50.96	50.83	50.51	50.88	52.67	54.94	56.87	58.28	54.41
52.71	52.31	52.07	51.87	51.54	51.19	51.15	51.88	53.19	55.57	57.05	58.30	54.63
54.36	53.95	53.64	53.31	53.10	53.20	53.13	54.94	56.90	58.61	59.94	60.94	56.77
56.70	56.33	56.11	55.88	55.64	55.63	57.14	59.08	61.00	62.75	64.07	65.04	59.97
58.82	58.43	58.00	57.69	57.48	58.14	60.55	62.50	63.96	65.27	66.50	67.50	62.46
61.18	60.82	60.49	60.17	59.91	60.83	63.41	65.80	67.17	68.42	69.62	70.42	65.35

Св. Елена. — Западная долгота 5°40'. Южная широта 15°56'.

Средняя суточная вариация склонения

Возрастающие числа указывают на увеличивающееся отклонение на восток  
отклонение

Среднее время	Полдень 0 ч.	1 ч.	2 ч.	3 ч.	4 ч.	5 ч.	6 ч.	7 ч.	8 ч.	9 ч.	10 ч.	11 ч.
Январь . . .	3.72	3.19	2.41	2.03	2.09	1.84	1.92	2.41	2.80	2.90	2.86	2.81
Февраль . . .	4.53	4.51	4.11	3.89	2.80	2.55	2.61	3.02	3.21	3.35	3.48	3.52
Март . . . .	3.76	4.11	3.48	2.57	2.15	2.20	2.48	2.64	2.69	2.68	2.85	2.84
Апрель . . .	3.28	2.48	1.65	1.27	1.03	1.01	1.23	1.50	1.56	1.60	1.71	1.81
Май . . . . .	0.71	0.44	0.57	0.71	0.55	0.21	0.25	0.48	0.56	0.72	0.78	0.90
Июнь . . . .	0.71	0.73	0.88	0.94	0.44	0.00	0.10	0.39	0.56	0.73	0.90	1.06
Июль . . . .	0.82	0.71	0.78	0.84	0.48	0.02	0.00	0.22	0.46	0.64	0.84	0.98
Август . . .	0.11	0.00	0.40	0.86	0.82	0.42	0.25	0.52	0.68	0.78	0.88	1.02
Сентябрь . .	0.89	0.85	0.65	0.44	0.35	0.28	0.28	0.53	0.62	0.67	0.79	0.78
Октябрь . . .	4.41	4.35	3.43	2.06	1.23	1.32	1.80	2.04	2.21	2.34	2.45	2.43
Ноябрь . . .	3.97	3.82	3.31	2.52	1.85	1.85	2.29	2.77	2.99	3.13	3.21	3.13
Декабрь . . .	3.65	3.48	2.70	1.94	1.66	1.85	2.15	2.58	2.93	3.12	3.20	3.13

Средняя суточная вариация наклонения по отдель  
Возрастающие числа указывают на увеличивающееся

Январь . . .	0.14	0.46	1.07	1.49	2.18	2.53	2.77	2.91	2.87	2.83	2.77	2.63
Февраль . . .	0.23	0.61	1.33	2.00	2.39	2.78	3.01	3.15	3.12	2.98	2.86	2.73
Март . . . .	0.11	0.56	1.33	1.86	2.21	2.47	2.80	2.97	2.99	2.89	2.89	2.67
Апрель . . .	0.45	0.89	1.54	2.14	2.53	2.83	3.05	3.17	3.26	2.88	2.97	2.63
Май . . . . .	0.20	0.74	1.16	1.62	1.90	2.10	2.22	2.36	2.28	2.21	2.12	1.99
Июнь . . . .	0.18	0.56	1.04	1.58	1.65	1.91	2.21	2.26	2.24	2.12	2.02	1.98
Июль . . . .	0.30	0.60	1.06	1.44	1.82	2.01	2.42	2.47	2.40	2.35	2.21	2.04
Август . . .	0.25	0.72	1.21	1.61	1.94	2.16	2.35	2.40	2.39	2.19	2.12	1.98
Сентябрь . .	0.18	0.70	1.29	1.72	2.02	2.19	2.40	2.40	2.32	2.13	2.01	1.99
Октябрь . . .	0.24	0.74	1.36	1.90	2.34	2.56	2.55	2.88	2.65	2.56	2.46	2.28
Ноябрь . . .	0.08	0.27	0.74	1.19	1.63	2.00	2.35	2.45	2.38	2.30	2.18	2.07
Декабрь . . .	0.26	0.73	1.06	1.59	2.07	2.41	2.69	2.78	2.61	2.45	2.39	2.15
Средние . . .	0.22	0.63	1.18	1.68	2.06	2.39	2.57	2.68	2.63	2.49	2.42	2.26

Западное склонение  $23^{\circ}38'$ . Южное склонение  $21^{\circ}40'$   
за годы с 1841 по 1845 включительно  
северного или верхнего конца магнитной стрелки. Среднее западное  
 $23^{\circ}38'.6$

Пол- ночь 12 ч.	13 ч.	14 ч.	15 ч.	16 ч.	17 ч.	18 ч.	19 ч.	20 ч.	21 ч.	22 ч.	23 ч.	Суточные средние
2:63	2:43	2:23	2:01	1:73	1:68	1:50	0:59	0:00	0:57	1:75	3:15	2:13
3:42	3:22	3:12	2:98	2:83	2:75	2:64	1:14	0:00	0:31	1:52	3:34	2:85
2:80	2:77	2:68	2:70	2:69	2:70	2:96	1:90	0:26	0:00	1:13	2:72	2:49
1:96	1:92	1:92	2:00	2:16	2:22	2:47	2:15	0:62	0:00	0:82	2:57	1:70
1:02	1:09	1:11	1:18	1:32	1:57	2:04	2:58	1:50	0:32	0:00	0:49	0:88
1:17	1:22	1:25	1:29	1:40	1:66	2:16	3:31	2:69	1:39	0:75	0:69	1:10
1:08	1:14	1:14	1:24	1:31	1:46	2:02	3:11	2:58	1:31	0:63	0:67	1:02
1:02	1:02	1:04	1:18	1:27	1:61	2:37	3:43	2:52	1:19	0:36	0:05	0:99
0:75	0:64	0:61	0:65	0:70	0:95	2:12	1:89	0:85	0:17	0:00	0:43	0:70
2:23	2:00	1:92	1:81	1:72	1:74	1:99	0:49	0:00	0:72	2:08	3:61	2:10
2:96	2:68	2:46	2:22	1:97	1:80	1:53	0:21	0:00	1:03	2:22	3:41	2:39
2:89	2:64	2:40	2:17	1:93	1:73	1:38	0:32	0:00	0:86	2:09	3:32	2:25

ним месяцам с январь 1841 по декабрь 1845 г.  
си наклонение. Среднее южное склонение  $21^{\circ}40'$

2.40	2.23	1.99	1.85	1.80	1.77	1.65	1.37	0.88	0.53	0.00	0.02	1.71
2.61	2.46	2.44	2.21	2.15	2.00	2.04	1.82	1.40	0.94	0.10	0.00	1.97
2.46	2.37	2.26	2.12	1.99	2.01	1.84	1.53	1.06	0.43	0.00	0.10	1.83
2.41	2.18	2.15	2.08	1.88	1.77	1.47	1.30	0.94	0.43	0.27	0.00	1.88
1.77	1.69	1.56	1.33	1.21	1.16	1.18	1.09	0.81	0.36	0.00	0.03	1.38
2.06	1.77	1.68	1.54	1.46	1.36	1.22	0.98	0.80	0.43	0.09	0.00	1.38
1.80	1.58	1.52	1.30	1.25	1.08	1.00	0.84	0.53	0.27	0.00	0.03	1.35
1.80	1.69	1.58	1.40	1.33	1.25	1.13	1.07	0.79	0.54	0.19	0.00	1.42
1.80	1.68	1.47	1.50	1.51	1.44	1.40	1.27	0.92	0.60	0.36	0.00	1.47
2.09	2.04	1.89	1.80	1.70	1.69	1.63	1.31	0.88	0.37	0.00	0.02	1.66
1.96	1.83	1.71	1.59	1.66	1.48	1.35	0.92	0.55	0.23	0.00	0.10	1.38
2.01	1.80	1.72	1.56	1.48	1.38	1.26	0.85	0.40	0.10	0.00	0.07	1.49
2.10	1.94	1.83	1.69	1.62	1.53	1.43	1.20	0.83	0.44	0.08	0.03	1.58

С в. Е л е н а. — Средняя суточная вариация полной интенсивно  
 Возрастающие числа указывают на

Среднее время	Полдень 0 ч.	1 ч.	2 ч.	3 ч.	4 ч.	5 ч.	6 ч.	7 ч.	8 ч.	9 ч.	10 ч.	11 ч.
Январь . . .	.00 130	.00 129	.00 116	.00 098	.00 081	.00 063	.00 046	.00 027	.00 016	.00 004	.00 000	.00 001
Февраль . . .	117	109	092	077	063	050	029	014	007	001	002	003
Март . . . .	153	147	124	096	070	055	032	020	010	000	006	004
Апрель . . .	162	150	122	088	068	042	021	010	005	001	004	000
Май . . . . .	163	142	115	087	065	049	036	023	016	011	004	000
Июнь . . . .	141	128	101	064	063	047	028	015	006	004	001	000
Июль . . . .	126	117	095	073	051	042	027	015	011	002	002	000
Август . . .	139	126	103	077	053	038	026	013	004	001	000	000
Сентябрь . .	143	131	105	077	056	037	026	013	004	000	003	007
Октябрь . . .	135	123	105	088	070	051	030	015	007	001	000	005
Ноябрь . . .	112	111	101	090	076	055	029	018	007	000	002	009
Декабрь . . .	116	110	105	089	071	051	027	011	004	000	000	003
Средние . . .	136	127	107	084	066	048	030	016	008	002	002	003

Средняя температура воздуха с

Январь . . .	67°68	68°05	67°93	67°79	67°30	66°04	64°58	63°39	62°93	62°62	62°42	62°27
Февраль . . .	69.14	69.61	69.85	69.59	68.95	67.89	66.59	65.43	64.91	64.66	64.46	64.32
Март . . . .	69.13	69.57	69.89	69.71	69.10	68.10	66.86	65.84	65.47	65.15	65.00	64.83
Апрель . . .	68.54	68.89	68.98	68.64	67.99	66.98	65.84	65.15	64.84	64.61	64.45	64.29
Май . . . . .	65.76	66.01	66.09	65.84	65.17	64.11	63.56	63.32	62.73	62.13	62.03	61.88
Июнь . . . .	62.40	62.76	62.73	62.39	61.83	60.98	60.14	59.68	59.49	59.34	59.20	59.11
Июль . . . .	60.37	60.83	60.77	60.51	59.87	58.98	58.14	57.70	57.48	57.25	57.13	56.91
Август . . .	59.68	59.99	60.12	59.72	59.11	58.11	57.23	56.83	56.60	56.45	56.32	56.20
Сентябрь . .	59.89	60.26	60.18	59.77	59.11	58.03	57.05	56.56	56.35	56.21	56.04	55.91
Октябрь . . .	61.50	61.98	61.91	61.31	60.46	59.31	58.18	57.57	57.64	57.12	56.99	56.84
Ноябрь . . .	63.44	63.88	63.97	63.52	62.63	61.32	59.94	59.11	58.76	58.57	58.41	58.24
Декабрь . . .	65.19	65.81	65.87	65.72	64.88	63.62	62.17	61.10	60.70	60.46	60.27	60.12

Сумма по отдельным месяцам с января 1841 по декабрь 1845 г.  
увеличивающуюся интенсивность

Пол- ночь 12 ч.	13 ч.	14 ч.	15 ч.	16 ч.	17 ч.	18 ч.	19 ч.	20 ч.	21 ч.	22 ч.	23 ч.	Суточные средние
.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
001	008	015	015	019	019	024	040	055	080	109	124	051
004	002	000	002	002	003	009	023	046	070	095	114	039
001	016	014	018	018	021	026	040	068	102	132	149	055
007	014	015	016	025	024	024	031	054	090	102	150	051
008	008	011	018	019	019	025	034	048	095	132	159	054
002	003	004	004	004	009	013	022	042	075	110	137	043
003	005	006	011	015	018	019	024	038	068	097	116	041
002	005	009	015	015	016	016	018	037	068	103	131	039
011	014	018	024	022	024	023	022	038	069	101	134	046
011	013	019	020	019	020	017	032	058	093	123	135	050
011	014	016	017	017	017	026	048	071	087	105	112	048
003	006	008	010	011	012	024	046	064	086	107	117	045
006	009	011	014	015	017	021	032	052	082	110	132	047

1841 по 1845 включительно

62906	61988	61966	61960	61949	61939	61937	61984	62979	64909	65938	66955	63998
64.13	63.96	63.78	63.59	63.51	63.44	63.42	63.62	64.43	65.72	67.08	68.24	65.87
64.65	64.50	64.31	64.17	64.15	64.03	64.05	64.29	65.08	66.39	67.35	68.38	66.24
64.11	64.02	63.88	63.77	63.66	63.51	63.49	63.69	64.50	65.70	66.74	67.86	65.60
61.67	61.57	61.40	61.24	61.19	61.19	61.04	61.06	62.01	63.22	64.11	65.22	63.05
59.00	58.86	58.74	58.61	58.56	58.53	58.47	58.52	59.13	60.16	60.98	61.80	60.07
56.81	56.72	56.60	56.51	56.43	56.36	56.31	56.38	57.07	58.09	58.90	59.69	57.99
56.10	55.98	55.76	55.68	55.53	55.50	55.39	55.56	56.20	57.22	58.07	58.96	57.17
55.82	55.67	55.51	55.37	55.29	55.21	55.21	55.44	56.12	57.18	58.31	59.14	57.07
56.64	56.48	56.30	56.18	56.11	56.01	56.06	56.50	57.38	58.61	59.71	60.73	58.23
58.08	57.90	57.71	57.62	57.55	57.43	57.53	58.03	58.94	60.20	61.35	62.35	59.84
59.95	59.75	59.57	59.47	59.34	59.31	59.39	59.77	60.69	61.97	63.03	64.19	61.77

Сингапур. — Северная широта 1°16'. Восточная долгота 103°53'.  
Среднее часовое колебание магнитного склона  
Возрастающие числа указывают на движение се

Среднее время	Полдень 0 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	4 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	6 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	10 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.	11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ч.
Январь . . .	2.04	2.52	2.79	2.72	2.52	2.24	2.11	2.18	2.04	1.97	1.84	1.70
Февраль . . .	2.31	2.92	3.13	3.06	2.79	2.52	2.31	2.31	2.18	2.04	1.90	1.90
Март . . . .	1.29	1.43	1.63	1.77	1.63	1.43	1.29	1.09	0.95	0.88	0.82	0.82
Апрель . . .	0.34	0.61	0.75	1.02	1.16	1.16	0.95	0.82	0.61	0.54	0.61	0.68
Май . . . . .	0.07	0.48	0.82	1.16	1.36	0.95	1.02	0.88	0.75	0.68	0.75	0.82
Июнь . . . .	0.20	0.41	0.54	0.61	0.54	0.34	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.20
Июль . . . .	0.07	0.41	0.61	0.88	1.02	0.88	0.48	0.34	0.27	0.20	0.27	0.34
Август . . . .	0.20	0.68	1.02	1.56	1.63	1.84	1.43	1.29	1.09	1.02	1.02	1.16
Сентябрь . .	0.48	0.88	1.36	1.63	1.63	1.56	1.50	1.29	1.16	1.09	1.02	1.09
Октябрь . . .	1.90	2.31	2.31	2.18	1.97	1.77	1.77	1.63	1.50	1.36	1.29	1.29
Ноябрь . . . .	2.45	2.92	2.99	2.86	2.45	2.11	1.97	1.84	1.70	1.56	1.36	1.36
Декабрь . . .	2.52	2.99	2.99	2.99	2.86	2.45	2.18	2.04	1.97	1.84	1.70	1.63

Средняя суточная вариация наклона по отдел  
Возрастающие числа указывают на увеличивающееся

Январь . . .	0.00	0.43	0.98	1.28	1.90	2.07	2.38	2.57	2.62	2.71	2.76	2.76
Февраль . . .	0.04	0.64	1.24	1.75	2.00	2.21	2.56	2.82	2.94	3.02	3.10	3.07
Март . . . .	0.06	0.29	0.75	1.36	1.75	1.88	2.22	2.55	2.65	2.70	2.74	2.72
Апрель . . .	0.28	0.82	1.54	2.09	2.47	2.71	3.04	3.00	3.27	3.36	3.41	3.49
Май . . . . .	0.00	0.32	0.80	1.17	1.62	1.96	2.29	2.34	2.42	2.43	2.42	2.20
Июнь . . . .	0.04	0.20	0.57	0.98	1.44	1.50	2.20	2.25	2.19	2.16	2.10	2.07
Июль . . . .	0.00	0.15	0.45	0.89	1.34	1.76	2.10	2.16	2.19	2.20	2.20	2.07
Август . . . .	0.12	0.34	0.69	1.01	1.35	1.68	1.99	2.32	2.21	2.27	2.26	2.28
Сентябрь . .	0.41	1.00	1.60	1.94	2.11	2.32	2.58	2.69	2.78	2.82	2.85	2.84
Октябрь . . .	0.38	1.17	1.94	2.38	2.48	2.59	2.86	3.07	3.23	3.29	3.34	3.23
Ноябрь . . . .	0.16	0.63	1.37	1.96	2.32	2.68	2.88	2.87	3.02	3.08	3.07	3.06
Декабрь . . .	0.09	0.54	1.13	1.62	1.92	2.26	2.53	2.66	2.85	2.86	2.85	2.86
Средние . . .	0.13	0.54	1.09	1.54	1.89	2.14	2.47	2.61	2.70	2.74	2.76	2.72

Восточное склонение  $1^{\circ}40'$  (прибл.). Южное склонение  $12^{\circ}$  (прибл.)  
 ния по отдельным месяцам 1843, 1844 и 1845 гг.  
 северного или верхнего конца магнита на восток

Полдень $12\frac{1}{4}$ ч.	$13\frac{1}{4}$ ч.	$14\frac{1}{4}$ ч.	$15\frac{1}{4}$ ч.	$16\frac{1}{4}$ ч.	$17\frac{1}{4}$ ч.	$18\frac{1}{4}$ ч.	$19\frac{1}{4}$ ч.	$20\frac{1}{4}$ ч.	$21\frac{1}{4}$ ч.	$22\frac{1}{4}$ ч.	$23\frac{1}{4}$ ч.	Суточные средние
1.63	1.63	1.50	1.43	1.29	1.02	0.61	0.00	0.00	0.41	0.82	1.22	1.59
1.97	1.90	1.90	1.90	1.84	1.70	1.29	0.54	0.00	0.00	0.34	1.43	1.84
0.88	0.88	0.88	0.82	0.82	0.82	0.32	0.48	0.00	0.07	0.54	1.02	0.96
0.82	0.95	0.95	0.95	0.88	0.82	1.16	0.95	0.34	0.00	0.20	0.41	0.70
1.09	1.16	1.29	1.36	1.36	1.43	2.11	2.24	1.43	0.68	0.27	0.00	0.75
0.41	0.54	0.61	0.68	0.68	0.82	1.36	1.56	0.82	0.41	0.00	0.14	0.46
0.54	0.68	0.82	0.75	0.82	1.16	1.63	1.97	1.29	0.54	0.14	0.00	0.67
1.22	1.36	1.43	1.50	1.50	1.70	2.52	2.79	1.77	0.75	0.14	0.00	1.27
1.16	1.22	1.29	1.29	1.36	1.43	1.97	1.77	0.75	0.20	0.00	0.20	1.14
1.43	1.36	1.36	1.29	1.22	1.09	1.16	0.54	0.14	0.00	0.27	1.02	1.33
1.43	1.43	1.36	1.29	1.16	1.02	0.48	0.00	0.00	0.27	0.82	1.63	1.51
1.56	1.56	1.56	1.50	1.43	1.16	0.61	0.00	0.00	0.41	1.02	1.77	1.70

ним месяцам в течение 1843, 1844 и 1845 гг.  
 склонение. Приблизительное южное склонение  $12^{\circ}$

2.66	2.71	2.71	2.72	2.72	2.72	2.73	2.52	1.97	1.09	0.32	0.02	1.97
3.08	3.03	2.98	2.99	2.97	2.97	3.03	2.88	2.35	1.21	0.40	0.00	2.22
2.72	2.67	2.71	2.72	2.72	2.75	2.75	2.54	1.84	0.75	0.11	0.00	1.91
3.43	3.40	3.33	3.29	3.29	3.27	3.15	2.92	2.18	1.15	0.28	0.00	2.46
2.38	2.40	2.42	2.46	2.52	2.51	2.25	1.87	1.25	0.49	0.03	0.00	1.69
2.15	2.21	2.15	2.20	2.21	2.29	2.02	1.71	1.25	0.69	0.22	0.00	1.53
2.18	2.19	2.19	2.21	2.21	2.27	2.02	1.74	1.28	0.69	0.27	0.05	1.53
2.26	2.20	2.18	2.22	2.21	2.22	1.93	1.68	1.30	0.62	0.14	0.00	1.56
2.85	2.79	2.74	2.75	2.75	2.79	2.66	2.39	1.66	0.79	0.15	0.00	2.09
3.33	3.23	3.22	3.20	3.24	3.20	3.25	2.96	2.18	1.14	0.21	0.00	2.46
3.06	3.03	3.02	2.95	3.01	3.00	3.15	2.80	2.01	1.04	0.17	0.00	2.26
2.76	2.76	2.72	2.69	2.65	2.69	2.44	2.38	1.81	1.08	0.34	0.00	2.02
2.74	2.72	2.70	2.70	2.71	2.72	2.62	2.37	1.76	0.89	0.22	0.01	1.98

Сингапур. — Средняя суточная вариация полной интенсивности  
 Возрастающие числа указывают на  
 Числа выражают колебания в частях всей силы.

Среднее время	Полдень 0 1/4 ч.	1 1/4 ч.	2 1/4 ч.	3 1/4 ч.	4 1/4 ч.	5 1/4 ч.	6 1/4 ч.	7 1/4 ч.	8 1/4 ч.	9 1/4 ч.	10 1/4 ч.	11 1/4 ч.
Январь . . .	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Февраль . . .	086	066	047	030	028	021	015	009	009	003	002	000
Март . . .	099	080	061	042	027	024	013	008	004	000	000	002
Апрель . . .	114	085	055	035	026	020	013	007	003	001	000	002
Май . . .	122	094	065	040	029	020	016	011	005	003	005	002
Июнь . . .	104	081	060	036	020	013	014	011	010	006	006	000
Июль . . .	096	075	051	026	011	042	004	004	001	000	000	000
Август . . .	100	081	056	033	019	013	007	007	004	004	002	000
Сентябрь . . .	101	081	055	033	016	009	010	005	006	000	002	002
Октябрь . . .	093	065	037	029	018	009	009	008	002	001	000	003
Ноябрь . . .	102	073	050	036	029	024	013	007	003	000	000	001
Декабрь . . .	080	063	044	030	021	015	009	003	001	000	001	000
Декабрь . . .	077	061	044	031	026	021	012	004	000	000	001	002
Средние . . .	098	075	052	033	022	019	011	007	004	002	002	001

Средняя температура воздуха, наблюдаемая на стандартном

Январь . . .	79°7	79°5	80°0	79°5	79°7	79°1	79°0	78°4	78°5	78°0	78°1	77°5
Февраль . . .	80.7	81.6	81.2	82.1	81.2	82.1	80.2	80.6	79.7	80.2	79.2	79.8
Март . . .	81.4	82.1	81.7	82.3	81.6	82.0	80.9	81.5	80.5	81.2	80.1	81.0
Апрель . . .	81.8	81.8	82.1	81.8	81.9	81.6	81.4	81.2	81.0	80.9	80.7	80.2
Май . . .	82.5	...	82.7	...	82.5	...	82.1	...	81.8	...	81.4	...
Июнь . . .	82.5	82.9	82.7	83.1	82.5	82.7	82.2	82.0	81.7	81.6	81.4	81.4
Июль . . .	82.4	83.0	82.8	83.1	82.7	82.7	82.2	82.1	81.8	81.9	81.5	81.5
Август . . .	81.7	81.9	81.9	81.9	81.8	81.8	81.4	81.3	81.0	81.2	80.8	80.8
Сентябрь . . .	82.1	82.6	82.4	82.3	82.2	82.1	81.7	81.6	81.5	81.2	81.0	80.8
Октябрь . . .	81.5	81.3	81.7	81.4	81.7	81.2	81.2	80.6	80.7	80.2	80.1	79.8
Ноябрь . . .	81.1	81.0	81.3	80.8	81.0	80.6	80.4	80.1	80.1	79.7	79.7	79.6
Декабрь . . .	81.0	81.3	81.3	81.3	80.9	80.8	80.2	80.0	79.6	79.4	79.2	79.2
Средние . . .	81.5	81.7	81.8	81.8	81.6	81.5	81.1	80.9	80.7	80.5	80.3	80.1

ности по отдельным месяцам в течение 1843, 1844, 1845 гг.

увеличение полной интенсивности

Приблизительная величина полной интенсивности 8.21

Полночь 12¼ ч.	13¼ ч.	14¼ ч.	15¼ ч.	16¼ ч.	17¼ ч.	18¼ ч.	19¼ ч.	20¼ ч.	21¼ ч.	22¼ ч.	23¼ ч.	Суточные средние
.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
007	002	008	007	010	012	022	033	054	074	099	100	031
000	001	005	005	009	011	014	025	049	082	103	110	032
005	008	007	009	011	012	012	027	057	087	112	122	035
000	004	009	011	013	015	020	043	076	110	139	137	041
004	006	006	006	008	012	025	044	073	097	114	118	036
001	001	003	004	004	008	020	038	062	085	102	105	031
002	004	006	004	010	015	026	044	070	091	105	110	034
004	010	011	011	016	018	028	046	077	096	115	114	036
003	008	014	018	019	017	023	045	079	104	117	115	035
006	011	011	016	019	017	020	037	070	101	117	121	037
002	006	007	013	012	013	017	034	059	082	098	095	029
003	006	009	013	014	014	019	035	056	078	095	091	030
003	006	008	010	012	014	021	038	065	091	110	112	034

термометре в обсерватории в течение 1841, 1842 и 1843 гг.

7799	7793	7796	7699	7794	7695	7790	7693	7793	7794	7896	7898	7892
78.6	79.0	78.3	78.6	78.2	78.2	77.7	78.2	78.0	79.4	79.6	81.8	79.8
79.9	80.6	79.4	80.3	79.1	79.9	78.7	79.8	79.4	80.6	80.6	81.5	80.7
80.3	80.3	79.9	80.0	79.5	79.6	79.2	79.8	79.9	80.6	81.1	81.4	80.8
80.9	...	80.5	...	80.3	...	79.9	...	80.9	..	81.8	...	81.4
81.2	81.2	80.7	80.7	80.3	80.2	80.1	80.4	81.0	81.7	81.8	82.6	81.6
81.1	81.2	80.7	80.9	80.3	80.6	80.8	80.8	80.8	81.9	81.9	82.6	81.7
80.4	80.3	80.1	80.1	79.8	79.8	79.5	79.8	80.2	80.8	81.2	81.6	80.9
80.5	80.3	80.1	80.0	79.7	79.7	79.4	79.4	80.3	80.9	81.4	81.8	81.0
79.6	79.8	79.4	79.3	79.0	79.3	78.7	79.2	79.5	80.0	80.7	80.9	80.3
79.3	79.1	78.9	78.7	78.6	78.5	78.4	78.5	79.2	79.6	80.2	80.5	79.8
79.0	79.0	78.6	78.4	78.1	78.1	77.9	78.2	78.7	79.5	80.1	80.7	79.6
79.9	79.8	79.5	79.4	79.2	79.1	78.9	79.1	79.6	80.2	80.7	81.3	80.4

3069. Я надеюсь в скором времени представить дальнейшие экспериментальные данные, имеющие своей целью пояснить и подвергнуть проверке изложенные здесь взгляды на физическую причину магнитных вариаций; часть этих данных я надеюсь получить с помощью дифференциальных весов; другие данные касаются заметной способности кислорода вызывать при различных условиях изменение в направлении магнитных силовых линий.

*Королевский Институт  
16 ноября 1850 г.*

### ДОКЛАД ОБ АТМОСФЕРНОМ МАГНЕТИЗМЕ<sup>1</sup>

В один из предыдущих вечеров (24 января) было показано, что кислородный газ является магнитным, поскольку он притягивается полюсами магнита; как и у других магнитных тел, указанная способность кислорода ослабляется или усиливается, когда температура его повышается или понижается, причем эти изменения происходят в пределах естественных температур. Эти свои свойства кислород приносит в атмосферу, и темой настоящего вечера является показать, в какой мере эти свойства можно было применить для объяснения некоторых из наблюдаемых вариаций земной магнитной силы.

Когда мы рассматриваем какой-нибудь источник магнитной силы (например, магнит), то он представляется нам в виде системы, обладающей полярностью, и если принять те места его, которые называют полюсами, за образец полярности в ее наиболее концентрированном состоянии, то эти противоположные полярности, проявляясь вне магнита, оказываются вполне определенными и в точности равными друг другу. Если сила магнита распределена в нем беспорядочно, то сумма противоположных полярностей все-таки сохраняет тот же характер определенности.

Вне магнита эти сгустки силы, которые называют полюсами, можно рассматривать как бы связанными друг с другом

<sup>1</sup> Royal Institution Proceedings, Апрель 11, 1851.

посредством так называемых магнитных кривых, или магнитных силовых линий, существующих в окружающем пространстве. Эти определения имеют важное значение и представляют существо магнетизма. Они указывают не только на направления силы, которые выявляются, когда между ними помещен небольшой магнит, или кристалл, или какой-либо другой носитель магнитного действия, но и на те линии силы, которые связывают и поддерживают полярности и которые одинаково существуют и тогда, когда нет никакой магнитной стрелки или кристалла, и тогда, когда последние имеются; эти линии существуют независимо, подобно (хотя и обладают отличной от них природой) лучу света или теплоты, который, хотя и находится в данном пространстве и требует времени для своего распространения, остается для нас совершенно незаметным сам по себе, пока он остается лучом, и унаеется лишь благодаря своим действиям, когда перестает существовать (как луч). Форма магнитной силовой линии может чрезвычайно сильно изменяться — от прямой до любой степени кривизны, и ей можно придать даже двойную и сложную кривизну. Ее направление определяется ее полярностью: та и другая изменяются одновременно. Она обладает той способностью, что помещенная на ней магнитная стрелка находит свое место покоя, расположившись параллельно ей; что кристалл известкового шпата поворачивается до тех пор, пока его оптическая ось устанавливается поперек нее; что в проводе, не испытывающем на себе никакого влияния, когда он движется по ней или вдоль нее, возникает электрический ток в момент, когда он ее пересекает. Этими и другими средствами выявляется наличие магнитной силовой линии и ее направление.

Земля представляет собою огромный магнит. Сила ее, согласно Гауссу (Gauss), равна той, какая получилась бы, если бы каждый кубический ярд Земли содержал в себе шесть однофунтовых магнитов. Следовательно, общая сила ее равна силе 8 464 000 000 000 000 000 000 подобных магнитов. Распределение этой магнитной силы неравномерно, и на поверх-

ности Земли нет точек, которые собственно можно было бы назвать полюсами. Тем не менее в высоких северных и южных широтах имеются области полярности, и последние связаны между собою магнитными силовыми линиями (представляющими собою линии направления), которые, вообще говоря, исходят из Земли в одном (магнитном) полушарии и, пройдя по различным направлениям через экваториальные районы в другое полушарие, входят здесь в Землю, чтобы завершить известный круг силы. Свободная магнитная стрелка указывает наличие и направление этих линий. В Лондоне они исходят из Земли под углом около  $69^\circ$  к горизонту (это — т. н. наклонение), а плоскость, в которой они поднимаются, образует угол почти в  $23^\circ$  к западу с истинным севером, и дает так называемое западное склонение. Там, где наклонение мало, например у магнитного экватора, эти линии едва поднимаются над землей и проходят лишь небольшой путь над ее поверхностью; но там, где оно велико, например в северных и южных широтах, они поднимаются под большим углом и уходят в далекие области пространства, откуда возвращаются на Землю в противоположном магнитном полушарии. Таким образом, они покрывают земной шар системой сил, подобных системе сил около обыкновенного магнита; эта система, проходя через атмосферу, подвергается варьирующему влиянию ее магнитного кислорода. Имеются все основания полагать, что эти линии закреплены в Земле, из которой они поднимаются и которой они создаются, совершенно так же, как линии, возникающие в магните, закреплены, хотя и не в такой мере, в последнем; всякое возмущение, действующее на них сверху, вызывает изменение их места и направления в атмосфере и в выше расположенном (пустом) пространстве; это изменение там больше, чем внизу в Земле.

Система магнитных силовых линий около магнита или около Земли связана боковым напряжением всей этой совокупности, аналогичным до некоторой степени боковому напряжению линий статической электрической силы: как

одно, так и другое легко обнаружить на опыте. Возмущение напряжения в одном месте мгновенно сопровождается возмущением напряжения в каждом другом месте; ибо подобно тому как сумма внешних сил какой-нибудь системы, неизменная по началу, является вполне определенной и не может быть изменена, так всякое изменение интенсивности или направления среди силовых линий в одном месте должно сопровождаться соответствующим изменением в каждом другом месте. Так, например, если масса мягкого железа по восточную сторону от магнита вызывает сгущение силовых линий этого магнита по эту сторону, то по западную сторону от него должно одновременно произойти — и действительно происходит — соответствующее расширение или расхождение этих линий. Еще пример: когда Солнце, поднимаясь на востоке, делает кислород воздуха на этой стороне земного шара менее магнитным и, следовательно, менее способным благоприятствовать прохождению силовых линий Земли в данном месте, то через область на западе направляется большее число этих линий. Может быть, кто-нибудь усомнится в том, что силовые линии имеют самостоятельное существование, как это было нами принято; но это не вносит никакой ошибки в смысле действия на магнитные стрелки, так как на опыте эти действия должны быть — и оказываются в действительности — именно такими.

Способность магнитного тела, как железо или кислород, содействовать прохождению через него силовых линий в большей мере, чем через другие немагнитные тела, можно выразить словом: проводимость. Различные тела, как железо, никель, кислород, проводят в неодинаковой степени; к тому же еще одно и то же тело, как железо или кислород, проводят в неодинаковой степени при различной температуре. Когда пространство, пронизываемое однородными магнитными силовыми линиями, занято однородным телом как воздух, то распределение линий не изменяется; но если ввести сюда вещество, проводящее лучше воздуха, так что оно займет часть этого

пространства, то силовые линии в нем сгустятся и отвлекутся из других мест, как это показано буквами  $P, P$  на рис. 224; а если ввести сюда вещество, проводящее хуже, то линии разойдутся, как в  $D, D$ . В обоих случаях силовые линии изгибаются, и небольшая магнитная стрелка, стоящая на них в изогнутой части, соответственно изменяет свое направление. Экспериментальные иллюстрации этих изменений направления были приведены в статье м-ра Фарадея в *Philosophical Transactions* за 1851 г., часть 1, пар. 2843 и сл.

Так вот, согласно настоящей гипотезе, предполагается, что изложенное выше имеет место в атмосфере. Если пред-

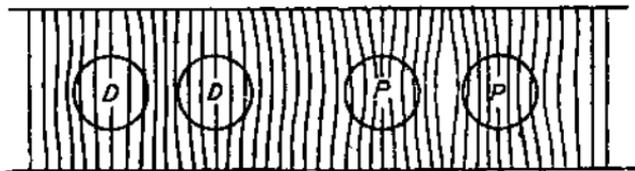


Рис. 224.

положить, что вся она находится при средней температуре, то силовые линии будут иметь направление, которое определяется распределением магнитной силы внутри Земли. Потом присутствие Солнца на востоке сделает всю атмосферу в этой области более плохим проводником, вследствие чего она приобретет характер  $D$ ; по мере того, как Солнце будет затем подниматься, проходить меридиан и двигаться дальше на запад, атмосфера под его влиянием будет вызывать изменения, показанные в том или другом  $D$ . Ясно, что на данной широте оно при своем прохождении будет сообщать магнитной стрелке противоположные отклонения; очевидно также, что в один и тот же момент времени оно будет отклонять в противоположные стороны две магнитные стрелки, находящиеся в северных и южных широтах. Когда наступает ночь, и с востока прибывает и перемещается на запад температура ниже средней, то силовые линии изгибаются как в  $P$  или  $P$ , и тогда

магнитная стрелка испытывает вариацию, противоположную той, какая имела место раньше.

Ясно, что в соответствии с магнитной природой кислорода и суточными изменениями его температуры должны получаться естественные явления изменения, но вызывают ли они наблюдаемые вариации на самом деле и способны ли их вызывать, это — вопрос, который может быть разрешен лишь весьма тщательными исследованиями. В настоящее время во многих местах проводятся с крайней тщательностью наблюдения на поверхности Земли; их сопоставляют друг с другом, выводят из них средние данные о направлении и интенсивности магнитной силы Земли для каждого часа дня и каждого времени года, а также извлекают из них много достопримечательных, аномальных и экстраординарных результатов. Теорию причин каждой из вариаций или всех этих вариаций можно проверить, прежде всего, на основании *направления*, которое занимает или должна занимать подвергающаяся вариации магнитная стрелка, а затем — на основании *величины* вариации. Выдвинутая ныне гипотеза сверялась со средней суточной вариацией для всех месяцев года на северных и южных станциях наблюдения, каковы Торонто и Гобартон, и на ряде других станций, расположенных вблизи экватора и вдалеке от последнего, и с точки зрения направления она оказалась в согласии с наблюдаемыми результатами в гораздо большей мере, чем это предвидел автор гипотезы. Так, например, согласно гипотезе, пути, описываемые верхним концом свободной магнитной стрелки в северном и южном полушариях, должны представлять собою замкнутые кривые и движение по ним должно протекать в противоположных и (заранее) известных направлениях, и они действительно таковы; кривые, описываемые магнитными стрелками в северных и южных широтах, должны быть больше летом и меньше зимою, и они действительно таковы; ночное или холодное действие должно увеличиваться в зимние месяцы, и так оно и есть; северное полушарие вследствие более высокой своей температуры

должно иметь некоторый перевес над южным полушарием, и так оно и есть; распределение суши и воды должно оказывать известное влияние, и таковое существует в надлежащем направлении, — так что при первой после выдвижения проверке гипотезы кажется, что она удивительно хорошо подтверждается фактами. Все эти соответствия были особо проверены и изложены в *Philosophical Transactions*, о чем было упомянуто выше. Следующим шагом будет определить, какова величина изменения проводимости воздуха при данных изменениях температуры, и затем использовать эти данные и попытаться выяснить, находится ли ожидаемое изменение (равно как и его направление) в согласии с тем, что имеет место в действительности.

*Раздел 34. О магнитных силовых линиях; определенность их характера и их распределение в магните и в окружающем пространстве.*

Поступило 22 октября. Доложено 27 ноября и 11 декабря 1851 г.

## РАЗДЕЛ 34

### О магнитных силовых линиях; определенность их характера и их распределение в магните и в окружающем пространстве

3070. Со времени наиболее ранних моих опытов об отношении между электричеством и магнетизмом (114, выноска) мне приходилось думать и говорить о том, как магнитные силовые линии представляют магнитную силу, и притом не только с точки зрения ее качества и направления, но и с точки зрения количества. В некоторых позднейших исследованиях (2149 и др.) я был поставлен в необходимость чаще пользоваться этим термином, и это привело меня к убеждению, что настало время, когда мысль, выражаемая указанными словами, должна быть изложена возможно ясно и так же тщательно изучена; что следует установить, в какой мере ею действительно можно пользоваться для представления магнитных состояний и явлений, в какой мере она может быть полезной для их пояснения, и, наконец, в какой мере она может помочь нам составить себе

---

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1852, стр. 1.

более детальные представления о физической природе силы, выявить те действия, новые или старые, которые она способна производить.

3071. Магнитную силовую линию можно определить как линию, которую описывает очень небольшая магнитная стрелка, когда ее перемещают в ту или иную сторону по направлению ее длины, так что стрелка все время остается касательной к движению; или, иначе, это — та линия, вдоль которой можно в любую сторону перемещать поперечный провод, и в последнем не проявится никакого стремления к возникновению какого-нибудь тока, между тем как при перемещении его в любом ином направлении такое стремление существует; или еще: это та линия, которая совпадает с магнекристаллической осью кристалла висмута, который перемещают вдоль нее в каком-либо направлении. Направление этих линий возле магнитов и электрических токов и между магнитами и электрическими токами можно вообще легко представить и понять, пользуясь обычным образом железными опилками.

3072. Эти линии имеют не только определенное направление, которое можно выявить таким способом (3071): они связаны с полярной или антитетической силой и в противоположных направлениях обладают противоположными качествами или свойствами. Эти качества, которые нужно различать и определять, выясняются либо из положения концов магнитной стрелки, либо из направления тока, индуцируемого в движущемся проводе.

3073. Столь же важным моментом при изучении этих линий является то обстоятельство, что они представляют определенное и неизменное количество силы. Таким образом, хотя их вид, когда они существуют между двумя или большим количеством центров или источников магнитной силы, может очень сильно изменяться, равно как может изменяться и пространство, в котором их можно проследить, тем не менее сумма силы, содержащейся в каком-либо сечении данного количества линий, в точности равна сумме силы в любом другом сечении тех же линий,

как бы ни изменялась их форма, или как бы ни сходились или расходились они во втором месте. Экспериментальное доказательство этого свойства магнитных линий будет дано ниже (3109 и др.).

3074. Мне думается, что этими линиями можно с большим успехом воспользоваться для того, чтобы представлять природу, состояние, направление и относительную величину магнитных сил, и что во многих случаях, по крайней мере для физика-теоретика, они имеют преимущество перед тем методом, который представляет силы сосредоточенными в центрах действия, каковы полюсы магнитов или магнитных стрелок; а также перед другими методами, например перед тем, который рассматривает северный и южный магнетизм, как некоторые жидкости, разлитые по концам стержня или между его частицами. Нет сомнения, что каждый из этих методов, если он не прибегает к слишком большим допущениям, даст при правильном применении верные результаты; и значит, все они должны давать одни и те же результаты, поскольку каждым из них соответственно можно пользоваться. Однако некоторые из них по самой своей природе могут получить гораздо более широкое применение и дать гораздо более разнообразные результаты, чем другие. Для правильного разрешения частной задачи можно пользоваться и анализом и геометрией, хотя, вообще говоря, один из этих методов обладает гораздо большей силой и большим охватом; для того, чтобы изобразить некоторые физические силы и состояния, можно воспользоваться представлением об отражении света или звука. Так и при рассмотрении магнитных явлений можно пользоваться представлением о притяжениях и отталкиваниях центров, или представлением о распределении магнитных жидкостей, или представлением о силовых линиях. Я хочу в дальнейшем настаивать на том, чтобы время от времени и почаще пользовались последним.

3075. Я хотел бы придать выражению *силовая линия* ограниченный смысл: оно должно содержать в себе не более, чем нужно, чтобы характеризовать состояние силы в данном месте, в отно-

шении его величины и направления; оно не должно заключать в себе (до поры до времени) какого-либо представления о природе и физической причине явлений, не должно быть связано с подобным представлением и не должно от него зависеть. Однако вполне допустимо, если мы попытаемся понять, каким образом физические силы возникают, существуют или передаются; или, изучив их до некоторой степени путем опыта и сравнения, попытаемся представить их каким-либо способом, которым мы вообще пользуемся для простого представления сил; необходимо только, чтобы в результате этого не получилось какой-либо погрешности. Наоборот, если естественно-научная истина и условное ее изображение теснейшим образом совпадают друг с другом, то мы достигаем сильнейшего прогресса в области нашего знания. Пример такого рода в отношении к свету дают нам теории испускания и эфира. Подобное значение для электричества имеет представление о жидкости или о двух жидкостях, а отсюда в дальнейшем возникло представление о токе, которое настолько крепко засело в нашем уме, что иногда создает в науке неясность по вопросу об истинном характере физических агентов; быть может, это происходит и теперь, и притом в такой степени, что мы в настоящее время этого и не подозреваем. Так же обстоит дело с представлением о магнитной жидкости или о магнитных жидкостях, а также с допущением о магнитных центрах действия, равнодействующие которых находятся якобы на полюсах. Мы не знаем, каким образом магнитная сила передается через тела или через (пустое) пространство и как достигается этот результат: посредством действия просто на расстоянии, как в случае тяготения, или же через какой-либо посредствующий агент, как в случаях света, тепла, электрического тока и (как я думаю) в случае статического электрического действия. Представление о магнитных жидкостях в том виде, как его применяют некоторые, или представление о магнитных центрах действия не заключают в себе представления об этом последнем виде передачи; представление о силовых линиях ее в себе заключает. Если, однако, тот или другой метод

представления сил не заключает в себе передачи такого рода, это еще не опровергает его, и тот метод, который находится в согласии с этим представлением, может оказаться наиболее соответствующим природе. Почти все ученые, по-видимому, склоняются к мысли, что в большинстве случаев имеется именно распространение через посредствующую среду; я, со своей стороны, изучая отношение вакуума к магнитной силе и общий характер магнитных явлений, протекающих вне магнита, больше склоняюсь к мысли, что передача силы представляет собой именно такое явление, протекающее вне магнита; я считаю невероятным, что эти явления представляют собою простое притяжение и отталкивание на расстоянии. Такое действие можно считать функцией эфира, ибо вряд ли можно считать вероятым, что эфир, если он существует, нужен только для того, чтобы передавать излучение (2591, 2787). Возможно, что если бы мы были лучше осведомлены о настоящем вопросе, то мы увидели бы источник тех противоречий, которые, как полагают, существуют между выводами Кулона, Гарриса и других физиков, и нашли бы, что на самом деле это вовсе не противоречия, а только количественные расхождения, зависящие от несовершенства представлений о явлениях и их причинах.

3076. Магнитные силовые линии можно распознать по их действию либо на магнитную стрелку, либо на движущееся поперек их проводящее тело. Каждым на этих действий можно воспользоваться также для того, чтобы обнаружить направление магнитной линии и силу, проявляющуюся в каждой данной точке на этой линии; при тех или других обстоятельствах имеет преимущество один или другой метод. Но действия очень различны по своей природе. Стрелка дает свои показания посредством притяжений и отталкиваний; движущийся проводник или проволока обнаруживают их тем, что в них возникает электрический ток. Последнее представляет собою явление, совершенно отличное от того, которое наблюдается с магнитной стрелкой, ток создается совершенно другим действием сил;

вследствие этого он дает нам такое представление о свойствах силовых линий, какого никогда не могут дать притяжения и отталкивания магнитной стрелки. По этой и по другим причинам я намерен в настоящем случае развить и применить метод движущегося проводника.

3077. Общие принципы получения электрического тока в проводе, движущемся под влиянием магнитных сил, были изложены ранее в первой и второй сериях настоящих Исследований (36 и др.). Поэтому в настоящее время необходимо одно: отметить особый характер показаний, получаемых по этому методу, по сравнению с показаниями магнитной стрелки; далее требуется показать, каким образом электрический ток служит особым и важным дополнением к магнитной стрелке при разъяснении магнитного действия.

3078. Движущийся провод обнаруживает свое наибольшее действие и показания не тогда, когда он переходит из более сильных мест в более слабые, или наоборот, а когда он движется в местах одинакового действия, т. е. поперек силовых линий (217).

3079. Он определяет направление полярности посредством действия, которое совершенно не связано ни со стремлением занять определенное положение, ни с притяжением или отталкиванием; для этого определяется направление электрического тока, который возникает в нем во время движения.<sup>1</sup>

3080. Этот принцип можно применить для исследования сил *внутри* многих твердых тел, как металлы, а равно и вне их — в воздухе. Он редко встречает затруднение в различия окружающих сред, и его можно с одинаковой легкостью применять в жидкостях, газах или в вакууме. Поэтому с ним можно проникнуть в место наблюдения и пользоваться им в таких случаях, когда

---

<sup>1</sup> Естественное изображение этой полярности можно получить, обратившись к силовым линиям Земли в северном полушарии, а именно: если человек с протянутыми руками будет двигаться в наших широтах, то электрический ток, стремящийся возникнуть в проводе, который изображают руки, будет направлен справа через руку и туловище налево.

магнитная стрелка исключается; а в других случаях, когда можно прибегнуть к магнитной стрелке, но только нстречаясь с большими помехами со стороны окружающих сред, с помощью движущегося провода можно получить результат (3142) без затруднений.

3081. Этот метод можно столь же легко применить даже к внутренней части магнита (3116), т. е. в таком месте, которое совершенно недоступно для магнитной стрелки.

3082. С помощью движущегося провода можно суммировать или получить сразу результирующую магнитного действия в нескольких местах, т. е. действие, зависящее от площади или сечения силовых линий; таким образом можно произвести экспериментально сравнение (этих мест), что с помощью магнитной стрелки неосуществимо, разве только с очень большим трудом, и притом несовершенно. Все равно, как при этом провод движется поперек силовых линий: прямо или косо, в одном направлении или в другом; он при этом подытоживает — принципиально с одинаковой точностью — сумму сил, представленных теми линиями, которые он пересек (3113).

3083. Таким образом, движущийся провод можно одобрить в качестве пранильного научного прибора, показывающего наличие магнитной силы. В настоящем сообщении будут приведены примеры представляемых им преимуществ, уже упомянутых выше, правда, его чувствительность далеко не достигает еще чувствительности магнитной стрелки, однако нет сомнения в том, что она может быть в очень высокой степени увеличена. Мне лично представляется уже вполне ясным разнообразие возможных его конструкций и большие выгоды, как следствие этого раавообравия. Хотя действия и движущегося провода и магнитной стрелки зависят от существенных особенностей и качеств магнитной силы, но те из них, которые в одном случае оказываются действительными и потому обнаруживаются, весьма отличны от тех, которые активны в другом случае; я хочу сказать — поскольку мы до сих пор сумели отнести явления непосредственно к существенным особенностям магнитного поля.

Это отличие может в будущем дать возможность глубже заглянуть с помощью провода в природу магнитной силы; таким образом этот метод в конце концов подведет нас к самым основным вопросам, например: является ли магнитная полярность аксиальной или же она зависит от поперечных боковых условий; происходит ли передача силы так же, как для колебаний или как для тока, или же она является просто действием на расстоянии, а также ко многим другим вопросам, которые возникают в умах ученых, работающих в этой отрасли знания.

3084. Я возьму теперь простой стержневой магнит и воспользуюсь им для пояснения того, что было раньше сказано

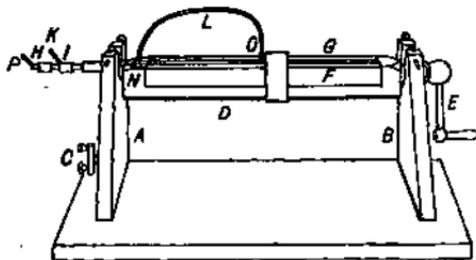


Рис. 225.

о силовых линиях и движущемся проводнике, а также для того, чтобы выяснить расположение этих линий как вне, так и внутри самого магнита, с которыми они связаны и которому они принадлежат. Для этой цели я воспользовался следующим прибором. Пусть рис. 225 представляет собою деревянную станцию, основанием которой является доска длиною в 17.5 дюймов, шириною в 6 дюймов и толщиной в 0.8 дюйма. Эти размеры послужат масштабом для других частей прибора. *A* и *B* — две деревянные стойки, *D* — деревянная ось с двумя длинными вырезами, предназначенными для вкладывания в них двух стержневых магнитов *F* и *G*. Поперек оси дерево срезано не полностью, а посередине оставлено, так что магниты стоят друг от друга на расстоянии примерно  $\frac{1}{15}$  части дюйма. От *O* до стойки *A* дерево

однако снято вплоть до оси вращения, так что между двумя магнитами, когда они стоят на своих местах, получается желобок; дерево удалено и дальше, и таким образом желобок продолжен до конца оси в  $P$ . Этот желобок или отверстие предназначено для того, чтобы в него вставить провод, который можно перемещать вдоль оси вращения, а затем, пропустив его между магнитами, где-нибудь между  $O$  и  $N$ , загнуть его к концу  $P$  оси с наружной стороны. Магниты размещены так, что центральная линия их общей системы совпадает с осью вращения.  $E$  — ручка, с помощью которой, когда нужно, производится вращение.  $H$  и  $I$  — два плотно надевающихся на ось медных кольца; с их помощью должно производиться соединение между проводом, прилаженным так, что он вращается вместе с магнитами и неподвижными концами проводов, идущих от гальванометра. Так, например, пусть  $PL$  — обмотанный провод, который идет по дну желобка на оси прибора и, выйдя наружу в экваториальной части магнитов, возвращается в желобок вблизи  $N$  и заканчивается в  $K$ . Когда форма проволоочной петли определена и придана проводу, тогда между проводами в желобке у  $K$  закладывают кусочек мягкого дерева; толщина кусочка такова, что когда кольцо  $I$  поставлено на свое место, оно давит на верхний провод, на кусок дерева и на нижний провод и держит все это плотно связанным вместе; при этом однако провода фактически разъединены друг от друга. Тогда устанавливают на своем месте на оси второе кольцо  $H$  и с конца оси вгоняют (в кольцо) деревянный клинышек; он должен нажать конец  $P$ , создать тесный и полный контакт его с кольцом  $H$  и держать всю систему в порядке. Таким образом, провод может свободно вращаться вместе с магнитами, и кольца  $H$  и  $I$  служат его концами. Две клеммы (одна показана в  $C$ ) держат концы провода (тоже — медного), идущего от гальванометра; эти концы устроены так, что своей упругостью они прижимаются к кольцам и таким образом создают действительно тесный контакт; во время вращения оси на контактах ни различные вещества, ни трение не возбуждают тока.

3085. Оба магнита представляют собою стержни, каждый длиною в 12 дюймов, шириной в 1 дюйм и толщиной в 0.4 дюйма. Каждый из них весит 19 унций и обладает такой силой, что может удерживать на своем конце приставленный к нему концом же другой магнит, но не больше того. Когда магниты установлены на своих местах, то одинаковые полюсы лежат у них рядом, так что они должны действовать как один магнит с разрывом посередине. Их удерживают на месте с помощью шнура или иногда с помощью медного кольца, которое плотно ходит по ним и по оси.

3086. Гальванометр представляет собою очень чувствительный прибор, изготовленный Румкорфом (Rumkorff) (2651). Он стоял на расстоянии около 6 футов от магнитного прибора и при вращении последнего не испытывал на себе никакого действия. Провода, соединявшие его с магнитами, были медные, 0.04 дюйма в диаметре; полная длина их составляла около 25 футов. Длина проволоки в гальванометре мне неизвестна; диаметр ее составлял  $\frac{1}{135}$  дюйма. Свойства гальванометра, проводов и магнитов были таковы, что когда я свернул виток провода в виде петли и последнюю провел один раз понерх полюсов соединенных друг с другом магнитов, скажем, из *a* и *b* (рис. 226), то стрелка гальванометра отклонилась на два градуса с лишним. Колебание стрелки происходило медленно; поэтому легко было повторить указанное действие пять или шесть раз, или еще больше, прерывая и возобновляя контакт через надлежащие промежутки времени; таким образом можно было соединять действие одинаково направленных индукционных токов; этим способом можно было легко получить отклонение в  $10^\circ$  или  $15^\circ$  в ту и другую сторону от нуля. Таким образом; эта установка оказалась достаточно чувствительной для первых опытов, и хотя сопротивление, оказываемое тонкой длинной проволокой гальванометра слабым токам, было значительно, однако оно должно было оставаться всегда одинаковым и не должно было влиять на результаты — ни в том случае, когда окончательное действие было равно  $0^\circ$ , ни в тех случаях, когда результаты достигались

не путем абсолютного измерения, а на основании относительных разностей.

3087. Первый практический результат, который был получен с помощью описанного выше прибора по отношению к магнитоэлектрической индукции вообще, заключается в том, что в куске металла или проводящего вещества, движущегося поперек магнитных силовых линий, возникает или стремится возникнуть электрический ток. Более строгое и точное определение всего этого действия таково; наметим или представим себе не-

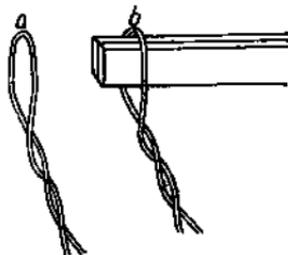


Рис. 226.

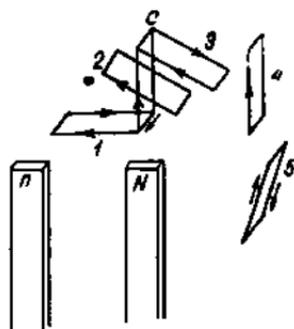


Рис. 227.

прерываю цепь проводящего вещества, все равно, в твердой или жидкой массе металла или проводящего вещества, в металлических проводниках или стержнях, расположенных в непроводящем веществе или в (пустом) пространстве; пусть эта цепь, будучи приведена в движение, пересекает магнитные силовые линии, или, оставаясь неподвижной, пересекается такими силовыми линиями вследствие перемещения магнита; или пусть благодаря неравенству углового движения, или благодаря противоположному движению различных ее частей, или благодаря неравенству движения в одном и том же направлении, одна часть ее пересекает больше или меньше линий, чем другая; тогда по этой цепи пойдет ток, вызываемый разностным отношением двух или большего числа частей цепи, пересекающих во время движения (силовые линии). Направление этого тока определится

(при линиях с данным направлением полярности) направлением пересечения вместе с относительным количеством пересечения в двух или большем числе деятельных и определяющих (или пересекающих) частей цепи.

3088. Так, например, пусть рис. 227 представляет магнитный полюс  $N$  и над ним цепь из металла, которая может иметь любую форму и сначала находится в положении  $C$ ; если эта цепь переместится в одном направлении в положение 1, или в противоположном направлении в положение 2, или в результате двухкратного изменения направления придет в положение 3, или поступательным движением попадет в положение 4, или в положение 5, или вообще в какое-угодно промежуточное положение между первым положением и указанными выше или любыми им подобными, или если при неизменности первого положения  $C$  полюс переместится в положение  $n$  или по направлению к этому положению, то в цепи возникнет электрический ток, который во всех случаях будет иметь одно и то же направление, а именно то направление, которое указано на рисунке стрелками. Обратные движения дадут токи противоположного направления (256 и др.).

3089. Раньше (27 и др.)<sup>1</sup> были даны общие принципы получения электрического тока путем магнитной индукции; был также установлен закон направления тока по отношению к силовым линиям (114, 3079 выноска). Однако полное значение данного выше описания может быть надлежащим образом оценено лишь позднее, когда будут описаны экспериментальные результаты, которые позволят нам узнать больше об отношениях тока к *силовым линиям*.

3090. Когда говорят, что *силовые линии* пересекают проводящую цепь (3087), пужно представить себе, что это пересечение линий производится поступательным перемещением магнита. Простое вращение магнитного стержня около своей оси не производит никакого индукционного действия в цепи, внешней по

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1832, стр. 131 и др.

отношению к магниту, так как в этом случае не выполняются условия, изложенные выше (3088). Не следует думать, что система сил около магнита обязательно вращается вместе с магнитом; это — то же, что представлять себе, будто лучи света, исходящие от Солнца, вращаются вместе с Солнцем. В некоторых случаях (3097) можно даже считать, что магнит вращается среди собственных сил и производит полное электрическое действие, ощутимое для гальванометра.

3091. Прежде всего провод был протянут вдоль оси магнита до среднего расстояния, затем выведен из магнита вблизи экватора и возвращен к началу снаружи; рис. 228 показывает это расположение. Если предположить, что магнит и провод проделывают один оборот, тогда, очевидно, можно считать, что провод *a* входит по оси магнита и вновь возвращается из *b* поперек силовых линий вне магнита к оси в *c* и что при одном обороте провод от *b* до *c* пересекает один раз все силовые линии, исходящие из конца *N* магнита. Другими словами, какою бы ни был путь, по которому провод проходит от *b* до *c*, он *один раз* пересекает всю систему линий, принадлежащих магниту. Для того, чтобы составить себе правильное представление об этом результате, вообразим себе лицо, стоящее у рукоятки *E* (рис. 225) (3084) и смотрящее вдоль магнитов, причем магниты неподвижны, а проволочная петля от *b* до *c* поворачивается налево в горизонтальную плоскость. Если теперь повернуть эту петлю вверх и направо, причем магнит останется неподвижным, то это будет равносильно *прямому* вращению (по направлению часовой стрелки) на  $180^\circ$  и вызовет слабый ток в гальванометре в определенном направлении. Если петлю повернуть обратно, на  $180^\circ$  в противоположном направлении, то это произведет соответствующий ток в направлении, обратном прежнему. Если провод

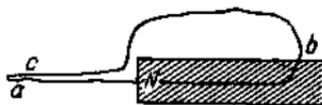


Рис. 228.

держат в вертикальной или какой-либо другой плоскости, так что его можно будет считать неподвижным, и повернуть магнит на пол-оборота, то это тоже вызовет ток; а если его повернуть в обратном направлении, то это вызовет ток противоположного направления. Но что касается *направления* токов, то ток, возникающий при *прямом* вращении провода, тождествен с тем током, который возникает при *обратном* вращении магнита, а ток, возникающий при *обратном* вращении провода, тождествен с тем током, который возникает при *прямом* вращении магнита. Более точных указаний о связи между направлением тока и тем полюсом магнита, которым мы пользуемся, и направлением вращения провода или магнита, в настоящее время не требуется, но в случае нужды их можно получить сразу, обратившись к рис. 227 (3088) или к общему закону (114, 3079 выноска).

3092. Если магнит и петля вращаются вместе в любом направлении, то не получается следа тока. Если бы в этом случае существовало какое-либо действие, то его можно было бы значительно усилить, так как можно было бы произвести 10, 20 или какое-угодно число вращений без всякого неудобства; легко было сделать тридцать или больше оборотов за время отклонения стрелки гальванометра в одном направлении. Было бы также легко, если бы вообще получалось какое-нибудь действие, собрать его в гальванометре, изменяя в надлежащее время направление вращения. Однако ни при каком числе оборотов нельзя было получить никакого действия при одновременном вращении магнита и провода.

3093. После этого я снял петлю с оси магнита, но прикрепил ее к последнему с помощью куска картона, так что все было соединено накрепко и должно было вращаться с одинаковой угловой скоростью (рис. 229). Однако при любой форме и при любом положении петли независимо от того, какова была ее величина, где она была прикреплена: близко к магниту или далеко от него, была она открытой или замкнутой, лежала она в одной плоскости или была изогнута и располагалась в нескольких плоскостях, какова ни была ее форма или состояние или

место, если только она вращалась вместе с магнитом, никакого тока не получалось.

3094. Далее, когда петля находилась вне магнитов и с помощью особых приспособлений была твердо скреплена с ними, то при каком угодно количестве оборотов магнита (если только вращение не сопровождалось смещением петли с места) в петле не возникало ни малейшего тока.

3095. Тогда я составил проволочную петлю из двух частей: часть  $c$  (рис. 230) снаружи магнита была закреплена в  $b$ , а часть  $a$ , представлявшая собою отдельный кусок, была продвинута

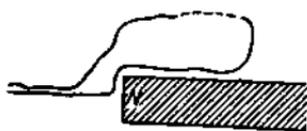


Рис. 229.

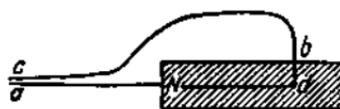


Рис. 230.

вдоль оси настолько, что она пришла в соприкосновение с первой частью в  $d$ . Таким образом, одну часть петли можно было вращать вместе с другой или без нее, сохраняя все время металлическую связь и замкнутый круг для индукционного тока. В этом случае, если внешний провод и магнит оставались неподвижными, то при каком-угодно числе оборотов провода  $a$  около его оси не получалось никакого тока. Точно так же не получалось никакого тока, когда вращались вместе магнит и провод  $cd$  — независимо от того, вращался при этом провод  $a$  или нет. Когда магнит вращали без внешней части провода  $cd$  или же последняя вращалась без магнита, то, как и раньше (3091), ток получался.

3096. Тогда магнит был включен в цепь следующим образом. Провод  $a$  (рис. 231) был присоединен металлически на обеих сторонах промежутка между магнитами у  $N$  (т. е. у полюса), а часть провода  $c$  была присоединена к центру в  $d$ . Результат оказался во всех отношениях тождественным с тем, какой получался, когда провод был продолжен до  $d$ , т. е. никаким количе-

ством оборотов магнита совместно с частью провода с нельзя было вызвать какого-либо электрического тока. Когда я устроил так, что часть с заканчивалась у  $e$ , т. е. у экваториальной части магнита, результат оказался в точности таким же. Когда часть с заканчивалась у  $e$ , а часть провода  $a$  была продлена до центра в  $d$  и там завершила контакт, то результат и теперь оказался тем же. Таким образом, не получилось никакого различия от того, что между  $N$  и  $d$  или между  $d$  и  $e$  я пользовался частями магнита вместо изолированной медной проволоки для устройства непрерывной цепи, по которой должен был проходить ин-



Рис. 231.

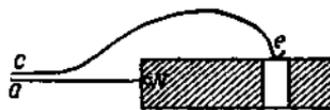


Рис. 232.

дукционный ток. Вращение части  $a$  не давало никакого эффекта, где бы эта часть ни заканчивалась.

3097. Для того чтобы определить действие вращения магнита без внешней части провода, я приделал вокруг магнита в экваториальной его части соприкасающееся с ним медное кольцо, а провод  $c$  (рис. 232) прижал с помощью пружины к этому кольцу, а также к кольцу  $H$  на оси (рис. 225) (3084); цепь была проверена и оказалась в порядке. Когда затем провод  $ce$  оставался неподвижным, а магнит был проведен во вращение, возник ток; он был одинаков по силе при одинаковом числе оборотов и не зависел от того, кончалась часть провода  $a$  у  $N$  или проходила дальше до центра магнита, была она изолирована от магнита или продолжена дальше до медного кольца  $e$ . Затем я, с помощью некоторого приспособления, хотя и грубого, но достаточного для данной цели, приводил провод во вращательное движение, а магнит при этом оставался неподвижным; тогда в соответствии с описанным выше действием (3091) возникали токи противоположного направления; а результаты, получаю-

щиеся в том случае, когда провод и магнит вращаются одновременно (3092), показывают, что эти последние токи в точности равны по силе первым. Когда внутренний и внешний провод оставались оба неподвижными, а вращался только магнит, то возникал ток полной силы, причем это происходило независимо от того, где был устроен контакт аксиального провода  $a$ : в полюсе магнита или в центре последнего.

3098. Новое расположение магнита и проводов было устроено в таком виде: в середине магнитов, от центра  $d$  (рис. 233) до периферии  $b$ , был укреплен изолированный радиальный провод, который на периферии был присоединен к экваториальному

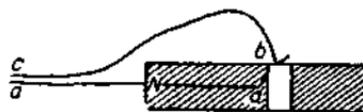


Рис. 233.

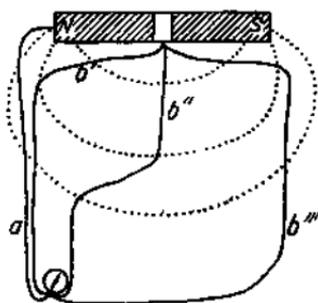


Рис. 234.

кольцу (3097). В центре (магнитов) с этим радиальным проводом соприкасался аксиальный провод, который проходил к полюсу. Внешняя часть цепи, нажимая на кольцо у экватора, шла дальше снаружи над полюсом и замыкала цепь как прежде. Если теперь магнит вращался отдельно от аксиального и внешнего проводов, получался полный и надлежащий ток; при этом однако единственной частью, в которой при вращении мог возникнуть этот ток, был небольшой провод  $db$ , так как при изложенных выше обстоятельствах он замещал собою корпус магнита, который мы вращали в предыдущем случае (3097).

3099. Внешнюю часть провода я теперь не отводил назад над полюсом магнита, через который проходил аксиальный провод, а увел в сторону вверх другого полюса и затем дальше по длинной цепи к гальванометру: несмотря на это, вращение магнита при любой из описанных выше установок давало в точ-

ности тот же результат, что и раньше. Если посмотреть на рис. 234, то станет ясно, что как бы ни отводились провода, общий результат, согласно принятому принципу действия, будет одинаков. В самом деле пусть  $a$  — аксиальный провод,  $a'$ ,  $b'$ ,  $b''$ ,  $b'''$  — экваториальный провод, представленный в трех различных положениях, тогда все силовые магнитные линии, которые пересекают экваториальный провод в одном положении, пересекут его и в другом положении или вообще в *каждом* ином положении, какое только ему можно придать. Опыты показали (3093), что расстояние, на котором провод пересекает силовые линии, не имеет значения.

3100. При рассмотрении сил магнита можно допустить, что те два магнита, с которыми производились опыты при выше описанных экспериментальных исследованиях, ведут себя действительно как один центральный магнит. Нам следует лишь представить себе, что мы вставили небольшие схожие магниты, чтобы заполнить узкое пространство, незанятое проводом, и тогда получится сплошной магнит; или можно считать, что раньше это был полный магнит и что из него вынули некоторую часть; а мы знаем, что ни одно из этих изменений не нарушает общего распределения сил. В стержневом магните и вокруг него силы распределены простейшим образом и в высшей степени правильно. Предположим, что стержень удален от других магнитных влияний; тогда можно считать, что его сила распространяется согласно известному закону на любое расстояние. Но если принять наглядное представление о *силовых линиях* (3074), то всякий провод и всякая линия, которая идет из точки на магнитном экваторе стержня через один из полюсов и при этом проходит по магнитной оси и дальше к точке на противоположной стороне экватора, должна пересечь *все* линии на плоскости, через которую она проходит; при этом безразлично, через который полюс она проходит. Равным образом провод, идущий от конца магнита на магнитной оси к точке на магнитном экваторе, должен пересечь такое количество кривых, которое составляет половину кривых, лежащих во всей плоскости, как бы ни была

мала или велика длина этого провода; он может иметь и искривленную форму и переходить на своем пути к экватору из одной плоскости в другую.

3101. Далее, если такой провод, как только что описанный, повернуть один раз вокруг того конца магнита, к которому он присоединен, что может быть сделано с помощью скользящего контакта на экваторе, то во время обращения он пересечет *все* силовые линии; это случится независимо от того, как устроен контакт: совпадает он на полюсе в точности с магнитной осью или находится где-нибудь в конце стержня, необходимо только, чтобы он за это время не изменялся. Все это остается в силе, если даже магнит путем индукции на расстоянии подвергается влиянию других магнитов или тел или сам проявляет по отношению к ним часть своей силы [вследствие этого распределение его силы может стать очень неправильным по сравнению с магнитным стержнем (3084), когда он свободен от всякого влияния], или если его форма — неправильная или искривленная, вплоть до подковообразной. Наконец, представим себе, что у провода один конец приложен к *какой-нибудь* точке на поверхности магнита, а другой конец приложен к точке на магнитном экваторе, и пусть этот провод обойдет один раз на скользящем контакте вокруг экватора, а петля провода обойдет вокруг одного из полюсов, так что в конце концов она займет свое первоначальное положение; тогда этот провод во время своего движения *один раз* пересечет каждую из силовых линий, принадлежащих магниту.

3102. Провод, идущий от полюса к полюсу и проходящий вплотную около экватора, конечно, пересечет половину внешних силовых линий в большой плоскости, два раза каждую в противоположных направлениях с точки зрения полярности; поэтому при вращении его вокруг магнита в нем вовсе не индуцируется тока. Если он не соприкасается с экватором, то какие бы линии он не пересекал, он пересекает каждую два раза, и таким образом сохраняется то же равновесие. Если магнит вращается под проводом, то он играет роль вращающегося центрального провода, о котором речь была выше (3095); или же,

если предположить, что электрический ток проходит по нему не прямолинейно, а по какому-либо иному пути, то этот путь подчиняется установленному выше закону нейтральности, как в этом можно убедиться, если учесть внутреннее состояние самого магнита (3117). В сказанном и заключается причина того, почему присоединение таких проводящих цепей к магниту не приводит к возникновению токов ни при каких условиях движения. По поводу пересечения силовых линий я могу привести еще один пример: возьмем проволочное кольцо несколько большего диаметра, чем магнит, и поставим его сбоку возле одного из полюсов так, чтобы силовые линии в этом месте проходили в плоскости кольца, а затем повернем его на  $90^\circ$  и проведем через полюс к экватору (3088); оно *один раз* пересечет все линии магнита, за исключением очень небольшого их числа, которое останется непересеченным у экватора.

3103. Если мы намереваемся установить экспериментальным путем точную величину силы, представляемой *силовыми линиями*, то необходимо придерживаться известных мер предосторожности; в противном случае результаты окажутся ошибочными. Так, например, десять оборотов провода вокруг магнита или магнита внутри неподвижного провода (3097) должны бы давать постоянное отклонение на гальванометре, и тем не менее без всяких изменений в положении провода результаты могут в различных случаях очень сильно отличаться друг от друга и составить один раз  $9^\circ$ , а в другой раз только  $4^\circ$  или  $5^\circ$ . Я напел, что это вызывается различием скорости в известных пределах и это можно объяснить и предупредить нижеследующим образом.

3104. Когда провод движется поперек силовых линий медленно, то в нем возникает слабый электрический ток, который продолжается, покуда происходит движение; когда он движется поперек тех же линий быстро, то возникает более сильный ток, но в течение более короткого времени. Действию тока, отклоняющего стрелку гальванометра, противостоит действие Земли, стремящееся вернуть стрелку к нулю. Следовательно, непрерывный слабый ток не может отклонить ее столь же сильно,

как непрерывный сильный ток. Если токи ограничены в своей продолжительности, то должен получиться один и тот же результат, если только продолжительность колебания стрелки в одну сторону значительно не превышает продолжительности того и другого тока. Если продолжительность отклонения стрелки равна десяти, а продолжительность десяти быстрых вращений составляет шесть, то все действие индуцируемого тока направляется на отклонение стрелки; но если продолжительность десяти медленных вращений составляет двенадцать или пятнадцать, то возникающий ток можно отчасти распознать не по величине отклонения, а лишь по тому, что стрелка в течение некоторого времени задерживается в конце меньшей дуги отклонения. Поэтому, когда я сравнивал большие и малые скорости и, конечно, во всех случаях, когда я сравнивал вращения провода и магнита, я брал только такое число вращений, которое можно было свободно выполнить за время движения стрелки в одну сторону; при этом я, значит, мог видеть, что стрелка идет к своему крайнему положению и после того, как вращение и индукционный ток прекратились. Если стрелка начинала двигаться назад в момент прекращения движения, то этот опыт я признавал непригодным для сравнения и отбрасывал его. При соблюдении указанных мер предосторожности и при таких скоростях вращения, что они занимали от одной трети до трех пятых того времени, какое было необходимо для отклонения стрелки, то одно и то же количество оборотов (десять) давало с моим прибором и ту же величину отклонения, а именно  $95^\circ$ , хотя продолжительность вращения изменялась в отношении  $1 : 2$  и даже более.

3105. Другой причиной расхождения, получающегося при изменении скорости, является ослабление действия тока на стрелку при увеличении угла, образуемого последней с обмотками катушки. Поэтому постоянный ток в первые моменты времени производит при отклонении магнитной стрелки большее действие, чем в последующее время. Однако это явление было едва ощутимо для отклонений от  $9^\circ$  или  $10^\circ$ , вызывавшихся то-

ками, которые прекращались ранее, чем стрелка продвигалась на  $4^\circ$  или  $5^\circ$ .

3106. Раньше было уже показано, насколько безразлично, что собственно вращается: провод в одном направлении или магнит в другом (3091); в дальнейшем это было подтверждено теми примерами, при которых магнит и провод вращались одновременно (3092), ибо тогда токи, которые стремятся возникнуть, в точности равны и противоположны друг другу, каково бы ни было положение провода. Но в неподвижности стрелки легче убедиться, чем изменять величину дуги, которую можно наблюдать лишь одно мгновение; притом же одновременное вращение магнита и провода можно производить быстро и непрерывно; по всем этим основаниям последнее доказательство можно считать весьма удовлетворительным.

3107. Далее я производил опыты по вопросу о влиянии *расстояния* провода (рис. 235) от магнита; для этого я менял провод, так что иногда он имел длину не более 8 дюймов (он был из меди диаметром в 0.04 дюйма) и находился лишь на расстоянии полдюйма от магнита; в других случаях он имел длину в 6 или 8 футов и был растянут на большом расстоянии от магнита. Я наблюдал отклонение, производимое десятью оборотами магнита, и брал среднее из нескольких наблюдений для каждого из положений провода. При одном и том же положении провода они оказались очень близкими друг к другу (при соблюдении описанных выше мер предосторожности); и для различных положений средние оказались в совершенном согласии, составив  $9.5$ . Я имел намерение повторить эти опыты над влиянием расстояния — в таком виде, что в движение приводился провод, а магнит оставался неподвижным, как например, это было описано ранее (3091); эти опыты были не столь показательны, так как время позволяло получать лишь меньшие отклонения (3104), но одно и то же число поворотов на  $180^\circ$  давало одно и то же отклонение на гальванометре независимо от того, как пролегал путь провода; в тесной близости к магниту или на большом от него расстоянии; и отклонение в этом случае совпа-

дало с тем отклонением, какое получалось, когда вращался магнит, а провод оставался неподвижным.

3108. Теперь по вопросу о *скорости* движения; когда магнит вращается, а провод помещен на *различных расстояниях*, то отклонение стрелки, вызываемое десятью оборотами магнита, одинаково — независимо от того, каково было движение: быстрое или медленное; при этом необходимо только придерживаться описанных выше мер предосторожности (3104). Что то же самое имело бы место, если бы двигался провод, а магнит оставался неподвижным, доказывается тем, что, какова бы ни была скорость, с какой вращаются вместе провод и магнит, и на каком бы расстоянии друг от друга они ни находились, они в точности нейтрализуют друг друга и равны друг другу (3096).

3109. Из этих результатов можно сделать следующие заключения. *Величина* магнитной силы, обнаруживающаяся по ее действию при возбуждении электрических токов, является при одних и тех же силовых линиях определенной, каково бы ни было расстояние от магнита той точки или плоскости, на которую они действуют; или иначе: она одинакова в любых двух или большем количестве сечений одних и тех же силовых линий, какова бы ни была их форма или их расстояние от местонахождения силы. Это следует из результатов, которые были получены с магнитом и проводом, когда оба они входили в состав цепи (3108), а также с проволочной петлей, вращающейся вместе с магнитом (3092), где стремление токов к возникновению в двух местах взаимно противоположны и в точности друг друга нейтрализуют или уравнивают.

3110. Можно сравнить между собою весьма различные сечения вне магнита. Так, можно представить себе, что провод проходит через силовые линии вблизи полюса (или он на самом деле может быть устроен так, что он их пересекает) и затем идет

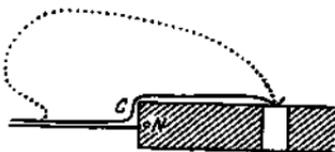


Рис. 235.

дальше *вдоль* силовой линии и, наконец, окажется над экватором; здесь его можно направить таким образом, что он пересечет те же самые силовые линии в противоположном направлении и затем вернется *вдоль* силовой линии к своему началу; таким образом можно сравнивать друг с другом сечения поверхности. Представим себе петлю, образующую замкнутый круг, который расположен в большой плоскости, проходящей через ось магнита; тогда ясно, что одни и те же силовые линии входят в нее и выходят из нее, хотя в одном месте петли они могут быть, так сказать, рассеяны, а в другой сжаты, или (выражаясь на языке излучения) они могут быть более интенсивными в одном месте и менее интенсивными в другом. Ясно также, что если петля расположена не в одной плоскости, то при полном обороте, вместе с магнитом или без него, она пересечет противоположными своими сторонами совершенно одинаковое количество силовых линий. Отсюда получается широкая возможность экспериментально сравнивать друг с другом каждое сечение данного количества силовых линий с каждым другим сечением.

3111. Эти результаты показывают, что при данных обстоятельствах не существует ни потери, ни уничтожения, ни исчезновения, ни скрытого состояния магнитной силы от расстояния.

3112. Что схождение или расхождение силовых линий не влечет за собою изменения их количества.

3113. Никакого различия от того, что пересечение происходит наклонно, не получается. Легко придать петле такую форму (3110), что она будет пересекать силовые линии перпендикулярно в обоих местах пересечения, или перпендикулярно в одном месте и наклонно в другом, или в какой-либо степени наклонно в обоих местах, и тем не менее результат всегда оказывается тождественным (3093).

3114. Точно так же из результатов, которые получаются при вращении провода и магнита (3097, 3106), следует, что когда провод движется среди одинаковых линий (или в поле одинаковой магнитной силы) и с однообразной скоростью,

то возникающий при этом электрический ток пропорционален времени и скорости движения.

3115. Они показывают также, что вообще количество электричества, приводимого в движение, прямо пропорционально числу пересекаемых линий.

3116. Наравне с этими выводами настоящий метод исследования дает возможность глубже заглянуть во внутренние явления в магните и выяснить, действительно ли силовые линии (я они правильно изображают все, что нам известно о характерном действии магнита) заканчиваются вне его или в каких-нибудь предполагаемых точках, так называемых полюсах; или же они продолжают и располагаются внутри магнита. Для этой цели рассмотрим внешнюю петлю (3093) (рис. 229). Когда она вращается вместе с магнитом, не возникает никакого тока, так как силовые линии, пересекаемые в одном месте, вновь пересекаются в противоположном направлении в другом месте (3110). Но если одну часть петли провести по оси магнита, а затем провод выпустить наружу у экватора (3091), то тоже не получится никакого действия; в то же время ясно, что силовые линии, через которые проходит каждая часть (петли) вне магнита, все вместе стремятся вызвать ток, ибо в этом случае все внешние силовые линии пересекаются этим проводом в течение одного оборота (3101). Поэтому в поисках силы, равной той, которая может быть проявлена снаружи, нам следует взглянуть на часть провода *внутри* магнита, и мы найдем эту силу в том небольшом участке, который представляет собой радиус в центральной и экваториальной частях. В самом деле, когда радиальную часть провода мы вращали, то она не создавала никакого действия (3095); когда мы вместе вращали аксиальную, внутреннюю радиальную и внешние части, то они не создавали никакого действия; когда мы вращали один только внешний провод в прямом направлении, то это создавало ток (3091), а когда вращали в *прямом* направлении один только внутренний радиальный провод (изолированный

от магнита), то это тоже создавало ток (3095, 3098) в направлении, противоположном первому; и оба эти тока были в точности одинаковы по силе, ибо когда мы вращали в *прямом* направлении одновременно обе эти части провода, то они полностью взаимно друг друга компенсировали (3095). Этот радиальный провод можно заменить самим магнитом (3096, 3118).

3117. Таким образом, согласно указанным выше опытам внутри магнита существуют силовые линии той же природы, что и внешние силовые линии. Мало того, их число в точности



Рис. 236.

равно числу внешних линий. Их направление связано с направлением внешних линий, и они являются их естественным продолжением, абсолютно не отличающимся от них по своей при-

роде, поскольку это можно видеть из опытов. Следовательно, каждую силовую линию, на каком бы расстоянии от магнита мы ее ни взяли, можно рассматривать как замкнутый круг, который в некоторой части своего пути проходит через магнит и который в каждой части своего пути обладает равным количеством силы.

3118. Если удалить аксиальную часть провода и вместо нее воспользоваться магнитом, так что он окажется включенным в цепь, то легко увидеть, каким образом он выполняет роль проводника. В самом деле предположим, что самый провод продолжен от *N* до *b* (рис. 236) по данному из трех путей, указанных пунктирными линиями; тогда как с точки эксперимента (3093), так и с точки зрения теории (3100) действие во всех случаях оказывается одинаковым. Ибо какова бы ни была форма пути, последний при обороте пересечет такое же количество силовых линий внутри магнита, какое пересекается в противоположном направлении частью провода, находящейся вне магнита; а когда для составления полной цепи мы пользуемся магнитом вместо внутреннего провода, то его

вещество дает в точности тот же результат, так как направление и все прочие обстоятельства, влияющие на результат, остаются те же: просто один проводник заменен другим. Можно было бы предположить, что большая масса магнита в состоянии произвести нечто большее, чем тонкий провод, но позднее (3137) можно будет увидеть основание, в силу которого ее действие лишь равно действию провода. Аксиальный провод при вращении делает одно: проводит ток (3095), а все действие создается той частью, которая представляет радиус оси до экватора (3098); так и магнит, вращаясь как цилиндр, при всей своей массе подобен вращающемуся проводу; исключением является лишь та часть его, которая представляет радиус, соединяющий точку на полюсе или на оси с точкой на экваторе, где завершается соединение с проводом. Как это было показано уже давно (220), если привести во вращение цилиндрический магнит и концы провода гальванометра *ac* присоединить к краям его оси, то не возникает никакого тока; но если *a* присоединить к экватору или к какому-либо другому месту поверхности цилиндра, то при одном и том же вращении всегда получается ток одного и того же направления.

3119. Далее, для того чтобы подтвердить эти положения, я разрезал магнит пополам по экваториальной плоскости и затем ставил там медный диск или только радиальный провод или складывал магниты друг с другом, и все эти три устройства я последовательно применял для того, чтобы завершить цепь от аксиального провода (3095) к неподвижному проводу на поверхности экватора. При каждом из этих устройств получался ток, одинаковый как по направлению, так и по величине. Если к концам вышеописанного цилиндрического магнита (3118) прикрепить диски из серебра или меди, а к поверхностям этих дисков прикладывать провода, то при вращении их вместе с магнитом получаются совершенно те же по направлению токи, как если бы провода были приложены к поверхности самого магнита (218, 219).

3120. Этим поразительным распределением сил, которое выявляется с помощью движущегося провода, магнит в точности походит на электромагнитную катушку как по тому, что силовые линии протекают в виде замкнутых кругов, так и по равенству их суммы внутри и снаружи. Нет сомнения в том, что магнит весьма разнороден по своей природе, поскольку, как мы хорошо знаем, он состоит из частей, которые сильно отличаются друг от друга по степени развиваемого ими магнетизма; нам часто кажется даже, что некоторые внутренние их участки действуют как якорь, или как субмагнит, по отношению к участкам, расположенным дальше от центра, и таким образом образуют иногда внутри их замкнутые круги или нечто им эквивалентное. Но они не создают ни малой части результирующей силы во вне, а только эту результирующую мы и в состоянии заметить каким-либо путем: по ее действию на стрелку, или на другие магниты, или на мягкое железо, или на движущийся провод. Таким образом, и та сила, которая обнаруживается *внутри* магнита по ее действию на движущуюся массу, это — все та же результирующая: она ей равна по величине, а по своей полярности и другим свойствам с ней тождественна. Несомненно, бывают такие случаи, например при приближении якоря к полюсам, или при приближении других магнитов, в благоприятном или неблагоприятном положении, когда развивается больше внешней силы, или часть силы может частью быть загнана вовнутрь, и таким образом внешняя сила уменьшится. Но в этих случаях та сила, которая остается снаружи, в точности соответствует той, которая является результирующей внутри магнита. В самом деле, я ставил одноименный или противоположный полюс сильного подковообразного магнита на расстоянии полутора дюймов от полюсов стержневого магнита, который был подготовлен для вращения с присоединенными к нему проводами (3092), как это было описано выше; тогда при их вращении не было заметно ни малейшего действия на гальванометр: силы внутри магнита и силы вне его полностью друг друга компенсируют.

3121. Ранее была подчеркнута определенность характера сил неизменяющегося магнита, на каком бы расстоянии от магнита их ни наблюдать (3109). Сколь поразительнее должен представляться этот момент теперь, когда, имея возможность заглянуть внутрь магнита, мы и здесь находим ту же определенность: каждое сечение этих сил — все равно, внутри магнита или вне его — имеет в точности одну и ту же величину. Таким образом, силу магнита легко представить с помощью действия *каждого* сечения его силовых линий; а так как токи, индуцированные двумя различными магнитами, можно легко пропустить через один и тот же провод, или, другими словами, сравнить между собою, то отсюда открывается легкая возможность установления стандарта для магнитов.

3122. С другой стороны, применение представления о *силовых линиях*, которое я предлагаю для изображения истинных и реальных магнитных сил, властно требует, чтобы была найдена единица этой силы, если это достижимо, с помощью какой-либо экспериментальной установки, совершенно так же, как существует стремление иметь единицу для лучей света или тепла. Мне кажется вполне вероятным, что дальнейшие исследования обеспечат пути для установления такого стандарта. А до той поры, чтобы шире воспользоваться этим представлением о магнитной силе и для графического изображения состояний этой силы, можно в каждом данном случае применять линии для представления этих единиц. Так именно я пользовался ими в предыдущих сериях настоящих Исследований (2807, 2821, 2831, 2874 и др.), где я одновременно давал направление *силовой линии* и относительное количество силы или силовых линий в данном объеме, что я изображал большей или меньшей их густотой, т. е. их числом в этом объеме. Такое применение единичных линий не заключает в себе, полагаю, никакой ошибки ни в отношении направления полярности, ни в отношении величины силы, показанных для какого-либо места диаграммы.

3123. Токи, возникающие в проводах, когда они пересекают магнитные силовые линии, столь слабы по своему напряжению (хотя достаточно обильны по количеству, как это показывают многие результаты), что тонкая проволока гальванометра необходимо должна оказывать их прохождению большое сопротивление. Поэтому раньше, чем перейти к дальнейшим экспериментальным изысканиям, я построил другой гальванометр; в нем я воспользовался стрелками от гальванометра, изготовленного Румкорфом, но катушка была заменена единственным оборотом очень толстой проволоки. Это

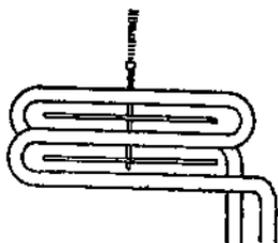


Рис. 237.



Рис. 238.

была медная проволока диаметром в 0.2 дюйма. Она проходила горизонтально под нижней стрелкой, затем настолько близко, насколько это было возможно, между ней и верхней стрелкой, над верхней стрелкой, затем снова между ней и нижней стрелкой (рис. 237), затем была прикреплена к подставке и выведена наружу на расстояние 19 или 20 футов от стеклянного колпака. Эта проволока обладала очень большой проводимостью, и хотя она лишь один раз обходила каждую стрелку, отклонение, которое она давала, было во много раз больше, чем то, которое давала проволока, принадлежавшая прежнему гальванометру. Так, например, когда я спаял концы двенадцатифутовой проволоки, так что образовалась петля или цепь, то однократное прохождение проволоки между полюсами подковообразного магнита (3124) вызывало отклонение

или, скорее, отскок стрелки больше чем на  $90^\circ$ . Я устроил более совершенный прибор в том же роде; в нем проводящая спираль была вырезана из медных пластин, так что получился квадратный стержень толщиной в 0.2 дюйма, который дважды обходил плоскость колебаний каждой стрелки, как это показано на рис. 238. Длина этого металлического стержня, окружавшего стрелки, составляла 24 дюйма, и этот гальванометр был очень чувствителен; но опыты, которые описаны в дальнейшем, были произведены главным образом с первым прибором.

3124. Необходимо было прежде всего выяснить влияние некоторых обстоятельств на этот простой гальванометр в смысле изменения его показаний.



Рис. 239.

Предназначенный для опытов магнит представлял собою составной подковообразный прибор весом в 16 фунтов; он не мог удержать 40 фунтов на своем якоре или субмагните. Прошло уже несколько лет с того времени, когда он был намагничен; поэтому представляется вероятным, что он уже достиг состояния постоянства силы. Его полюсы имеют форму, показанную на рис. 239. Расстояние между ними составляет 1.375 дюйма, а расстояние вниз, от их верхушки до основания или до экватора магнита, составляет 8.5 дюйма. Гальванометр стоял на продолжении магнитной оси, т. е. линии, идущей от полюса к полюсу, и независимо от того расстояния, на котором он находился: 6 футов или только 3 футов, это едва оказывало какое-либо влияние на период его колебания; он был так хорошо астазирован, что требовалось около десяти секунд на одно колебание вправо или влево.

3125. Когда провод двигался поперек магнитного поля, как это было только что описано (3123), но с различными скоростями, то по причинам, описанным выше (3104, 3106), получались различные по величине действия на гальванометр. Наиболее быстрое движение давало наибольший результат,

доходивший временами до  $140^\circ$ , между тем как очень медленное движение давало только  $30^\circ$  или  $40^\circ$ . Но при умеренных скоростях действия были почти одинаковыми, и когда я работал с одной и той же скоростью и брал среднюю из всех наблюдений, то мог получать очень однообразные результаты.

3126. Когда я разрезал провод и соединял концы различными способами, то нашел, что требуется большая тщательность при устройстве контакта тем или иным способом. Так, например, легкого прижатия концов друг к другу было недостаточно; их приходилось как следует и свежею очистить и затем плотно прижимать друг к другу. Соединения путем спайки или погружением в чашки со ртутью оказались все же лучше при тщательном их исполнении; ими я и пользовался — чаще всего у гальванометра и в других местах (цепи).

3127. Для того чтобы выяснить вообще сопротивление, получающееся при включении в цепь тонких проволочек, в цепь далеко от магнита было введено 28 дюймов медной проволоки диаметром в 0.045 дюйма, при отличных соединениях. Колебание, или отброс, который раньше составлял  $140^\circ$  и больше, свелся теперь к  $40^\circ$ . Когда я эту проволоку вынул и заменил другой, тоже медной, но только длиной в 19.5 дюймов и диаметром в 0.0135, то отклонение уменьшилось до  $7^\circ$  или  $8^\circ$ .

3128. Для грубого сраждения силы этого магнита с силой прежнего стержневого магнита (3085) с помощью рассматриваемого гальванометра, я согнул толстую проволоку в петлю (3086) и два стержневых магнита со сложенными вместе одноименными концами быстро всунул в нее два экваториального участка. Отклонение было около  $30^\circ$ . При таком продвижении магнитов были пересечены почти все силовые линии стержневых магнитов. Подобное же движение магнитов, вплотную у петли, но вне ее, не оказало никакого действия на гальванометр.

3129. Для того чтобы выяснить изменение силовых линий как в смысле их расположения, так и в смысле их общего числа,

при очень большом сближении полюсов подковообразного магнита (3124), были произведены следующие опыты. Расстояние между полюсами равно 1.375 дюйма; когда в это пространство был внесен кубик из мягкого железа со стороной в 0.8 дюйма, то оно сократилось до 0.575 дюйма. Таким образом, расстояние между полюсами фактически сильно уменьшилось и, как это было ватем доказано экспериментальным путем (3130), здесь сконцентрировалась вся внешняя сила магнита. Затем, пока кубик находился в указанном месте, я заставлял толстый провод диаметром в 0.2 дюйма проходить поперек силовых линий или через место наиболее сильного действия, и в таком положении устанавливал. После этого железный кубик я то убирал, то снова ставил на место и наблюдал получающиеся результаты. При этом возникали слабые электрические токи; но каким бы путем я ни вносил кубик на место: снизу или сверху или с которого-нибудь боку, возникавший ток имел всегда одно и то же направление; а когда я убирал кубик, то возникавший при этом ток имел противоположное направление. Когда одним движением я подносил кубик к магнитной оси, проносил мимо нее или уносил от нее, то это не оказывало никакого влияния на гальванометр. С другой стороны, когда я перемещал проволоку поперек магнитного поля, как это было описано выше (3123), с тем чтобы одним движением пересечь все силовые линии и суммировать их силу в гальванометре, то результат не изменялся от того, где находился железный кубик: на своем месте или нет. Это показывает, поскольку рассматриваемый прибор мог это удостоверить, что сумма силы в сечении всех силовых линий вне магнита была одинакова при тех и других обстоятельствах, хотя распределение их было различно.

3130. Именно то действие, которое производил кубик, когда он находился на месте или же отсутствовал (3129), на силы, действовавшие на неподвижный провод, послужило доказательством различия распределения сил в различные моменты времени.

3131. Кусок висмута, взятый вместо железного кубика, не оказал заметного действия на провод, все равно, был последний неподвижен или же двигался.

3132. Этот гальванометр прежде всего послужил для повторения всех прежних опытов со стержневым магнитом (3091 и др.). Результаты оказались совершенно тождественными, за исключением того, что величина отклонения, когда именно оно являлось результатом опыта, была больше, чем в прежних случаях.

3133. Для того чтобы сравнить различные толщины одного и того же металла, я взял медные проволоки длиной  $\approx 10.5$  дюй-



Рис. 240.

ма и различных диаметров и, согнув их в петли такой формы и размера, чтобы их можно было легко провести мимо полюса подковообразного магнита, припаял к концам двух проводящих стержней, изготовленных из медного провода диаметром в 0.2 дюйма и длиной в 35 дюймов каждый, которые были прикреплены к противоположным сторонам узкой деревянной планки. Все это устройство можно увидеть на рис. 240. Концы *ab* погружаются в чашки со ртутью у гальванометра; участки *u c* сближены до соприкосновения, и их отделяет друг от друга лишь кусочек картона; таким образом, участки от *c* до *ab* устранены от какого-либо действия; они могут действовать только как проводники, между тем как петля, которая устроена таким образом, что она может пройти мимо одного из магнитных полюсов, пересекает почти всю совокупность магнитных кривых, и притом всегда в одной и той же пропорции.

3134. Прежний магнит оказался слишком сильным для сравнительных опытов; поэтому был взят меньший магнит, состоящий из пяти пластинок; он весит 8 фунтов и способен

легко удерживать на якоре 21 фунт. Полюсы находились на расстоянии 1.2 дюйма друг от друга и имели в направлении магнитной оси толщину в один дюйм. Когда требовалось меньше магнитной силы, то регулировка легко достигалась тем, что якорь прикладывался к обоим коленам сбоку, и в зависимости от того, какая сила требовалась: побольше или поменьше, магнитная связь устраивалась либо ближе к полюсам, либо ближе к экватору или стигу. Опускание петли между полюсами тогда лучше всего регулировалось тем, что подводящие провода должны были в конечном положении дойти до упора.

3135. Было установлено, что действие быстрого и медленного движения — то же, что и раньше (3104, 3105). Скорости, которые можно было сообщить от руки, оказались весьма эффективными и при быстрых движениях давали весьма однообразные результаты.

3136. Я сравнивал друг с другом три различных петли, диаметры которых составляли 0.2, 0.1 и 0.05 дюйма, т. е. относились друг к другу, как 4, 2 и 1; площади их сечения или массы находились, таким образом, между собою в отношении 16, 4 и 1. С каждой из этих петель было сделано десять или двенадцать наблюдений. Результаты оказались очень близкими друг к другу, и средняя для каждой петли, представляющая собою величину отклонения в одну сторону от нуля, составила:

медная проволока толщиной в 1/20 дюйма	. . 16°00
медная проволока толщиной в 1/10 дюйма	. . 44.40
медная проволока толщиной в 1/5 дюйма	. . 57.37

Но хотя более толстые проволоки дали наибольшее действие, результаты оказались, очевидно, не вполне пропорциональными массам проводов: более тонкие проволоки имеют в этом отношении значительное преимущество. С другой стороны, когда четыре меньших провода были сложены рядом, так что получилась единая петля, равная по массе второй петле,

то она дала тот же результат, что и эта петля, оказавшись таким образом равносильной с ней.

3137. Диспропорциональное различие трех этих проводов является, очевидно, следствием относительного различия той части цепи, которая только проводит ток. Для того чтобы точно сравнить влияние силовых линий на провода различных диаметров, движущихся поперек них, эти диаметры следует продолжить до гальванометра и через самый гальванометр (205); в противном случае ток через тонкий провод получает преимущество, которое ему дает проводящая часть, чего ток через толстый провод не имеет. В этом и заключается причина



Рис. 241.

того, что тонкая проволока гальванометра вроде той, какая была описана выше (3086), дает результаты, более схожие для толстых и тонких проволочных петель, или для пучков малого или большого количества проволок. Для того чтобы расширить материал этого сравнения, я припаял к двум парам проводников, размеры которых были описаны выше (3133), два медных цилиндра длиной в 5.5 дюйма каждый, но при этом один был толщиной лишь в 0.2 дюйма, а другой в 0.7 дюйма, т. е. по массе в 12 раз больше первого (рис. 241). Затем я последовательно пропустил их между полюсами магнита, и они дали результаты, весьма близкие к равенству. Если между ними и была какая-нибудь разница, то действие оказалось больше при более тонком цилиндре. Возможно, что так оно и должно быть: так как магнитное поле не было одинаковым по силе, а было наиболее интенсивным на магнитной оси, то ясно, что в то время, как одна часть большого цилиндра была при его прохождении на оси, другие части его находились в местах менее интенсивной силы и меньшего действия, и таким образом

в них мог существовать обратный ток, какого не могло быть в таком же размере в цилиндре, диаметр которого составлял немного больше четверти диаметра первого и который в то же время имел отвод для токов, равный собственному его диаметру, в виде проводящих проволок. Подобное же соотношение масс имеет место в том случае, когда корпус самого магнита, находясь во вращательном движении, достигает не больше того, что дает маленькая радиальная проволока внутри него (3118).

3138. Следует хорошо понять влияние этой побочной проводимости (3137) в случаях магнитоэлектрической проводимости; в противном случае при применении настоящих положений к исследованию часто могут вкратиться ошибки. Их влияние можно показать на следующих примерах. Петля из четырех проволок диаметром в 0.048 дюйма (3136) была проведена мимо полюса магнита и дала определенное действие отклонения или отброса. Когда эти проволоки разделили на две группы по две, так что они находились друг от друга на расстоянии половины или трех четвертей дюйма, и когда, следовательно, при пересечении магнитного поля одна пара проходила раньше другой, то действие стало меньше по причине, изложенной выше в случае медного цилиндра (3137). Когда я пропускал вместе три проволоки, а одну отделял от них на один-два дюйма, то действие падало очень сильно; а когда эту четвертую проволоку я перерезал, чтобы предотвратить возникновение в ней обратного тока, то действие от трех проволок на гальванометре очень сильно возросло и почти достигло действия от четырех проволок, когда их брали вместе.

3139. Была устроена петля из семидесяти шести одинаковых тонких медных проволок, каждая из которых имела длину 10.5 дюйма и диаметр в 0.0125 дюйма, и наблюдалось ее действие по мере того, как вырезывали все большее и большее количество этих проволок. Так как наибольшую ценность представляет сравнение малых количеств проволок, я приведу средние из ряда наблюдений для каждого числа проволок в порядке, обратном тому, в каком они были получены; резуль-

таты с большими количествами проволок я привожу лишь с целью вообще показать, каким образом в данном случае действие переходит в действие с медным цилиндром (3137). Провода гальванометра имели все время одну и ту же длину и толщину.

1 проволока дала средний отброс	8°.3
2 проволоки дали средний отброс	15.3
3 проволоки дали средний отброс	21.8
4 проволоки дали средний отброс	27.9
5 проволок дали средний отброс	34.4
6 проволок дали средний отброс	37.8
8 проволок дали средний отброс	50.1
12 проволок дали средний отброс	65.1
16 проволок дали средний отброс	80.5
26 проволок дали средний отброс	118.5
36 заставляли стрелку сделать почти полный оборот	
46 сильнее, чем в предыдущем случае	
56 заставили стрелку вращаться кругом	
66 несколько сильнее	
76 еще сильнее: стрелка свободно вращалась по кругу.	

Всякий раз, когда стрелка переходила за  $180^\circ$ , я возвращал ее обратно, чтобы сила кручения во всех случаях оставалась одинаковой.

3140. Иногда я пользовался петлей из четырех одинаковых проволок (3136), которая в части, проходившей между полюсами, была устроена таким образом, что провода лежали здесь вплотную рядом в одной плоскости; при этом не наблюдалось никакой разницы в действии, когда эта плоскость была перпендикулярна к магнитной оси и когда она была параллельна ей, т. е. когда проволоки образовали при своем движении ленту, которая шла вперед краем или плоской стороной. Результаты получались те же, что и с четырьмя проволоками, сложенными вплотную, представлявшими собою один почти круглый или квадратный провод.

3141. На основании всех этих результатов можно прийти к следующему заключению; ток или количество электричества, развивающееся в проводе, движущемся среди силовых линий, не находится в простом отношении к тому протяжению провода, которое соответствует направлению силовой линии (оно определяет *полярность* силы), ни к тому измерению (или ширине), которое включает в себе число или *количество* силовых линий и которое, соответствуя направлению движения, связано с *экваториальным состоянием* линий; ток находится в сложном отношении к обоим этим величинам, т. е. он пропорционален массе движущегося провода. Сила действует одинаково хорошо на внутренние части провода и на внешние или поверхностные его части, и центральная частица, окруженная со всех сторон медью, находится совершенно в таком же отношении к силе, как и те частицы, которые, находясь на поверхности, имеют около себя с одной стороны воздух.

3142. Погружая полюсы магнита в различные среды и делая затем сравнительные опыты с той же медной проволочной петлей (3145), я нашел, что величина индукционного тока одинакова в воздухе, воде, алкоголе и терпентинном масле. В промежутках между опытами с жидкостями я повторял опыты в воздухе, чтобы получить вполне согласный в своих отдельных частях и надежный вывод об одинаковости действия во всех этих случаях.

3143. Следующим вопросом, который мне казалось важным исследовать, был вопрос о влиянии *замены вещества* (провода), так как этот вопрос имеет прямое отношение к величине силы, которая проявляется или готова проявиться, внутри твердых тел, на каком-нибудь расстоянии от магнита, в таких положениях и при таких обстоятельствах, при которых совершенно невозможно пользоваться колебаниями магнитной стрелки или другой формой действия сил притяжения и отталкивания. Мне представлялось, что при этом методе внутренняя область таких тел, как железо, медь, висмут,

ртуть и др., включая наиболее парамагнитные и наиболее диамагнитные тела, окажется доступной для экспериментального исследования как с точки зрения количества силовых линий, пронизывающих их при различных обстоятельствах, так и с точки зрения направления этих линий или их полярности.

3144. В одной из ранних серий настоящих Исследований<sup>1</sup> были описаны опыты, относящиеся к данному вопросу (205—213). Я перемещал провода из различных металлов поперек силовых линий магнита и пришел к выводу, что токи, индуцируемые в этих различных телах, пропорциональны их электропроводности (202, 213).

3145. Однако гальванометр с толстым проводом (3123), с его хорошими и короткими соединительными проводами, обещал дать лучшие результаты. Поэтому из проволок различных металлов были изготовлены петли, подобные вышеописанной петле из медной проволоки (3133); все эти проволоки были одинакового диаметра, а именно 0.04 дюйма, что составляло лишь  $\frac{1}{25}$  часть вещества соединительного и гальванометрического провода. Были взяты металлы: медь, серебро, железо, олово, свинец, платина, цинк. При указанных выше обстоятельствах менялись вещества, участвующие в возбуждении тока, между тем как подающая часть системы была вполне подходяща и оставалась неизменной. Ниже приведены полученные с этими петлями результаты, представляющие собою средние из результатов отдельных испытаний, число которых составляло от шести до десяти:

Медь	63°0	Железо	18°0
Серебро	61.9	Платина	16.9
Цинк	31.5	Свинец	12.1.
Олово	19.1		

3146. Для того чтобы по возможности избавиться от сопротивления, вызываемого плохой проводимостью, и выявить

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1832, стр. 179—182.

различие, какое может существовать между парамагнитными и диамагнитными металлами, были выбраны три металла, а именно олово, железо и свинец, в виде проволок с диаметром, как и раньше, в 0.04 дюйма; но длина их с 10.5 была сокращена до 3 дюймов, а остальная часть петли была изготовлена из служившей в качестве проводника медной проволоки диаметром в 0.2 дюйма, как показано на рис. 242. Конечно, действие всей петли является смешанным действием, так как оно отчасти вызывается той силой, которую представляют линии, пересекаемые толстой медной частью, а отчасти силой, которую представляют линии, пересекаемые тремя дюймами специальной проволоки, проходящей между полюсами. Но так



Рис. 242.

как большая часть силы сосредоточена в пространстве, протяжением не более полутора или двух дюймов (как это можно видеть при перемещении одной из петель поперек магнитной оси) и ее можно еще больше сконцентрировать, если воспользоваться железным кубиком (3129) и, таким образом, сблизить полюсы, то имелаась надежда, что основное действие будет именно здесь и что таким образом выявится особое различие, существующее между железом, с одной стороны, и оловом и свинцом, с другой стороны, имея в особенности в виду, что сопротивление проводимости было значительно уменьшено благодаря укорочению проволок от 10.5 до 3 дюймов.

3147. Многочисленные опыты, проведенные с каждым из этих металлов, были по своим результатам очень близки друг к другу. Средние из результатов для трех металлов оказались следующими:

Олово	37.1
Железо	34.8
Свинец	25.4.

Эти соотношения и, следовательно, выводы почти тождественны с теми, которые были получены ранее (3145).

3148. В прежних опытах, проведенных со стержневым магнитом (3084, 3085), сравнивались друг с другом свинец и железо; для опытов служил гальванометр с тонкими проводами — тогда для обоих металлов получился *один и тот же* результат. Но обе проволоки, которыми я тогда пользовался, были короткие и гораздо толще проводов гальванометра и подводящей цепи, вследствие чего возможность проявить свое особое действие была у них сильно ограничена теми условиями масс, которые были описаны выше (3137). Для того чтобы показать, что дело было именно в этом, я теперь при гальванометре с толстыми проводами взял две одинаковые петли из медной и железной проволоки толщиной в 0.2 дюйма (рис. 240) (3133) и проводил их одинаковым образом мимо полюса небольшого подковообразного магнита, ослабленного с помощью якоря (3134). Эти результаты оказались в очень хорошем согласии, и средние из них составили для:

Меди	41.7
Железа	33.7.

3149. Таким образом, в данном случае различие между медью и железом не достигает отношения 1 к 1.24; в том случае, когда проводники, не участвующие в возбуждении тока, были очень хороши и были способны, относительно говоря, перенести к гальванометру почти все действие возбуждения, это различие доходило до отношения 1 к 3.5. В последнем случае разность более чем в десять раз превысила прежнюю.

3150. Для того чтобы еще в большей степени повысить влияние массы по сравнению с влиянием подводящих проводов, я припаял к концам подающих проводов железный цилиндр длиной в 5.5 дюймов с диаметром в 0.7 дюймов, так что он оказался во всех отношениях подобным описанному ранее медному цилиндру (3137). В этом случае действие железа не только возросло до действия меди, но даже его пре-

ваошло; результаты оказались: для меди  $35^{\circ}66$ , а для железа  $38^{\circ}32$ . Таким образом, при указанных выше обстоятельствах различие между железом и медью исчезает. Невыгода, обнаруживающаяся для меди, вызывается, вероятно, разрядом с боку, который в прежних опытах настолько ослаблял действие цилиндра, что оно оказалось ниже действия толстой проволоки (3137). Так как железо само по себе является плохим проводником, а его продолжение в цепи состоит из столь же хороших проводников, как в том случае, когда я пользовался им в форме проволоки, то, думаю, в нем должно быть соответственно меньше разрядов с боку, чем в меди.

3151. Для того чтобы произвести сравнение как в отношении особенности вещества, так и в отношении массы, я присоединил к проводникам подобный же цилиндр из висмута. Его действие, при том же магните и силе, дало  $23^{\circ}$ , очень высокую цифру по сравнению с медью, и ее несомненно следует приписать его массе. Если бы сравнение с ним можно было провести, придав ему форму проволоки с диаметром лишь в 0.04 дюйма (3145), то он, вероятно, оказался бы почти индифферентным (3127).<sup>1</sup>

3152. Таким образом, электрический ток, возбуждаемый в различных веществах, движущихся поперек силовых магнитных линий, находится, по-видимому, в прямом отношении к проводимости вещества. Он не имеет, по-видимому, никакой связи с магнитными свойствами тела, так как железо занимает место между оловом и платиной, не обнаруживает никаких

---

<sup>1</sup> Когда висмут впаивают в цепь, его необходимо раньше, чем пользоваться им для опытов, оставить на долгое время в покое и прикрыть; с петлей же надо обращаться очень осторожно, так как в противном случае образуются термотоки. В течение часа или двух после пайки висмут дает токи, которые на гальванометре дают весьма беспорядочные показания. Эти токи вызываются, по всей вероятности, внутренними молекулярными изменениями, которые возникают от времени до времени, пока все в целом не придет в постоянное состояние равновесия.

особых различий, помимо тех, которые связаны с проводимостью, и отличается от других металлов гораздо меньше, чем они отличаются от других немагнитных металлов.

3153. Следовательно, количество *силовых линий* (и представляемой ими силы) при указанных обстоятельствах, по-видимому, одинаково для олова, железа и платины, когда они занимают и проходят равные пространства, ибо различие в результатах пропорционально не обычному магнитному различию, а лишь проводимости. Это находится в согласии с заключением, к которому мы пришли раньше, что для воздуха, воды, висмута, кислорода, азота или вакуума количество силовых линий одинаково, за исключением лишь того, что они в большей или меньшей мере сгущаются в веществе, через которое проходят (2807) в соответствии с тем, в какой мере это вещество способно проаодить (2797) или передавать магнитную силу.

3154. Заключение, к которому мы только что пришли, приводит нас к вопросу о том, что такое *магнитная полярность* и как ее определить. Я лично полагал бы, что под этим термином следует понимать противоположные и антитетические действия, которые обнаруживаются на противоположных концах или на противоположных сторонах ограниченной (или неограниченной) части силовой линии (2835). Можно вновь сослаться на линию наклонения Земли или на часть ее, как на природный случай полярности, и свободная магнитная стрелка над этой частью или под ней или провод, движущийся поперек нее (3076, 3079), дают направление полярности. Если мы обратимся к совершенно отличному от него и искусственному источнику магнитной полярности, как электромагнитная катушка, то и по отношению к ней можно будет применять то же значение и то же описание.

3155. Если термин *полярность* имеет какой-нибудь смысл, связанный с экспериментальными фактами, а не только с гипотезой, помимо того смысла, который содержится в приведенном выше описании, то мне неизвестно, чтобы он был когда-

нибудь выражен отчетливо и ясно. Возможно, что это и было сделано, так как я не беру на себя риска утверждать, что сохраняю в памяти все прочитанное и даже те заключения, к которым я лично пришел в различное время. Но если этот термин никогда не имел или не должен был иметь иного смысла, тогда возникает вопрос, правильно ли он представляется или выражается в каждом случае с помощью притяжений или отталкиваний, т. е. с помощью подобных взаимодействий между отдельными телами под влиянием магнетизма. Слабый раствор протосульфата железа, будучи окружен водой, устанавливается в магнитном поле аксиально; а когда он окружен более крепким, чем сам он, раствором, то он устанавливается экваториально (2357, 2366, 2422). То же самое имеет место и в случае более крепких растворов. Мы не можем сомневаться в том, что это же оказалось бы верным даже для железа, никели и кобальта, если бы мы могли обратить эти тела в жидкое состояние, не изменяя их парамагнитных свойств, или если бы мы могли управлять магнитами, а также парамагнитными и диамагнитными телами так, чтобы они по желанию становились сильнее или слабее. Но в случае растворов мы не можем исходить из предположения, что более слабый раствор имеет одну полярность в более крепком растворе и другую полярность в воде. Силовые линии магнитного поля имеют во всех случаях одну и ту же общую полярность, и можно экспериментально доказать, что это так, пользуясь движущимся проводом (3076), но не с помощью притяжений и отталкиваний.

3156. Таким образом, мы имеем здесь экспериментальные показания двух *различных* видов; это различие касается не только метода, но и самой природы получающихся результатов, самых принципов, которые привлекаются для их получения. Отсюда, я думаю, проистекает значение движущегося провода как средства исследования, ибо он вводит нас в круг изысканий, которые касаются самой природы магнитной силы. Нет сомнения в том, что магнитная стрелка дает правильные экспериментальные показания, но не столь верно, что мы всегда

их правильно истолковываем. Утверждать, что стремление занять определенное положение является всегда прямым результатом влияния сил притяжения и отталкивания, действующих всегда попарно (как в рассматриваемых случаях или в случае с кристаллами висмута), это значит отказаться в отношении магнетизма от представлений, которые уже получили применение в теориях, касающихся природы света и электричества; а отказ от таких представлений *может оказаться* препятствием для прогресса истины и поощрением ложных допущений и ошибок.

3157. Что такое существо полярности в поле *равной силы* (занятом воздухом или массой мягкого железа)? Если магнитная стрелка или продолговатый кусок железа обнаружат ее в воздухе и вообще где бы то ни было, то они непременно нарушат при этом равномерное распределение силы и сделают его неравномерным, так как с последним именно связано стремление магнитной стрелки или железа принять определенное направление, а также движение их обоих к краям магнитного поля, если последнее ограничено (2828). Кристалл висмута, обнаруживая эту полярность своим положением (2464, 2839), делает это, не изменяя сильно распределения силы, и происходящее при этом изменение направлено противоположно изменению, производимому железом (2807), ибо оно приводит к расхождению силовых линий. Представляется легко возможным, что существует магнекристалл, который, находясь в устойчивом своем положении, не вызывает ни сближения, ни расхождения силовых линий в занимаемом им пространстве. Он должен только быть по отношению к (пустому) пространству или другой окружающей среде нейтральным в этом направлении и диаметрально в поперечном направлении, и тогда указанное выше условие будет выполнено.

3158. Итак, обыкновенная магнитная стрелка не может обнаружить полярности в поле одинаковой силы,<sup>1</sup> так как

<sup>1</sup> Гипотетически легко представить себе стрелку, которая делала бы это.

она не имеет никакого отношения к ней и фактически не знает этого состояния вещей; но движущийся провод обнаруживает ее мгновенно, и притом показывает полную величину магнитной силы, которой принадлежит эта полярность; при этом он не нарушит распределения силы, как мы понимаем или представляем себе распределение, когда думаем о магнитных стрелках. По крайней мере, так именно представляется мне это дело теперь на основании исследования действия тонких и толстых проводов (3141) и проводов из различных веществ (3153).

3159. Как экспериментатор, я считаю для себя обязательным, чтобы опыт указывал мне путь в строе мыслей, которые он может подтвердить; ибо я уверен, что опыт, подобно анализу, должен приводить к строгой истине, если его правильно толковать, и что по самой своей природе он может внушить новый строй мыслей и новые представления о силах природы. Для того чтобы увеличить показания движущегося провода и изменить форму, в которой можно практически осуществлять принцип этого провода, я устроил прибор (рис. 243); он состоит из деревянной оси, один конец которой заканчивается медным винтом, предназначенным для того, чтобы в этом месте можно было поместить и закрепить один или несколько металлических дисков. Этот конец настолько выступал за стойку, что часть этих дисков можно было вводить в промежуток между полюсами подковообразного магнита; при вращении они двигались поперек силовых линий в месте наиболее интенсивного действия последних; магнит и прибор оставались неподвижными, а диски могли вращаться поперек этих силовых линий непрерывно. Один из проводов гальванометра был заострен, и его можно было вводить внутрь полости в виде чашечки, устроен-

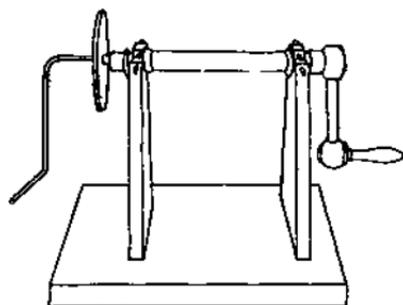


Рис. 243.

ной в конце осевого винта. Другой провод я прикладывал вручную и устанавливал так, чтобы он закругленной частью упирался в край диска в точке, наиболее удаленной от полюсов магнита.

3160. Для этого прибора были изготовлены различной толщины и из различных материалов металлические диски, каждый диаметром в 2.5 дюйма. Когда на оси был привинчен медный диск и я приладил его к большому подковообразному магниту (3159), как это было описано выше, то три и даже два оборота диска отклоняли стрелку гальванометра с толстым проводом на  $30^\circ$ . Возьмем ту часть диска, которая в тот или другой момент проходит поперек магнитной оси и будем искать в ней наиболее эффективное место; оно, конечно, будет лежать вблизи периферии диска, так как там оно обладает наибольшей скоростью и, следовательно, проходит большее пространство, и притом в таком месте, где силовые линии сильнее всего сгущены.

3161. Необходимо постоянно и внимательно следить за контактом на краю шкива и поддерживать его в хорошем состоянии. Нажим на край диска не должен быть слишком слаб: в противном случае контакт в условиях движения оказывается недостаточным, и доля возникающего тока, которую он передает дальше, не будет постоянна. Его не следует также устраивать на углах диска, так как если трение сопровождается царапаньем или резаньем, оно дает начало току. При плавном сильном трении медной проволоки о медный диск возникающий ток очень мал. Когда медная проволока прижимается к краю железного диска, получающийся ток гораздо больше. Впрочем, это действие всегда можно исключить или компенсировать; ибо в каком бы направлении диск ни вращался *без* магнита, отклонение магнитной стрелки, если оно вообще происходит, остается одинаковым; а если магнит находится на своем месте, то вызываемые им отклонения получают противоположное направление при изменении направления вращения. Следовательно, если сделать одинаковое количество оборотов в обоих направле-

ниях и заметить неравные отклонения стрелки при противоположных направлениях вращения, то их полусумма даст почти точно величину того отклонения, какое имело бы место, если бы трение о край диска не вызывало никакого тока, если только углы отклонения не очень велики. Эти действия трения несомненно могут дать повод к возражениям против принципа в рассматриваемой форме; тем не менее результаты, как мне кажется, являются ценными в отношении меди и железа; они заключаются в следующем.

3162. Медный диск толщиной в 0.05 дюйма дал при двух оборотах отклонение, которое, будучи средним из ряда опытов, оказалось  $=20^{\circ}8$ . Второй медный диск толщиной в 0.1 дюйма дал среднее отклонение в  $27^{\circ}8$ . Третий медный диск толщиной в 0.2 дюйма дал отклонение в  $26^{\circ}5$ . Таким образом, в данном случае я не только дошел до толщины (при указанных выше условиях контакта) максимума эффекта, но даже ее превзошел (3137). После этого я поместил на оси железный диск толщиной в 0.05 дюйма, и он дал средний результат в виде отклонения в  $15^{\circ}4$ . Другой железный диск в четыре раза толще (т. е. 0.2 д.) дал отклонение лишь в  $14^{\circ}$ . Таким образом и здесь, как и раньше, была превзойдена толщина, соответствующая максимальному эффекту.

3163. Затем на оси были укреплены два диска из меди и железа толщиной в 0.2 дюйма каждый; в отдельности они вызывали ранее соответственно отклонения в  $26^{\circ}5$  и  $14^{\circ}$ ; при этом, дабы предотвратить соприкосновение их масс, я отделил их друг от друга посредством бумажного круга, хотя, конечно, оба они находились в контакте с медной осью в центре движения, благодаря чему электрическое соединение их было обеспечено. Устанавливая их между полюсами магнита, я расположил железный диск посередине между магнитами и, таким образом, медный диск оказался немного сдвинутым в одну сторону. Когда в цепь был введен медный диск, то при двух оборотах он дал среднее отклонение в  $23^{\circ}4$ . А когда в цепи был железный диск, то произведенное им отклонение составило

1191. Таким образом, теперь соотношения оказались почти одинаковыми и в том случае, когда оба диска одновременно подвергались действию магнитной силы, и когда их испытывали каждый в отдельности. Оба они показали некоторое уменьшение, но не такое, чтобы это давало основание думать, что железо оказало какое-либо особое влияние в смысле изменения силовых линий проходящих в магнитном поле, или вообще как-либо на них воздействовало. Действие, имевшее здесь место, было, по-видимому, связано с действием находившихся рядом масс проводящего вещества.

3164. Если направление электрического тока, индуцируемого магнитными силами в движущемся металле, считать правильным показанием полярности, — а, мне думается, нельзя отрицать того, что оно отмечает ту особенность силы, которую должен выражать термин полярность, и неизменно связано с этой особенностью, — то приведенные выше результаты показывают, что полярность силовых линий в железе тождественна с их полярностью в меди, когда оба эти металла одинаковым образом подвергаются магнитной силе. Если присоединить к этому прежние и новые результаты, полученные с *висмутом* (2431, 3151, 3168), и многочисленные другие явления, то такое же заключение можно сделать о силовых линиях в этом веществе, так как явления, поскольку это касается возникновения в нем тока, оказываются тождественными. Таким образом, к данным мною ранее доказательствам прибавляется еще одно, свидетельствующее о том, что поляризация висмута происходит не в направлении, противоположном направлению в железе или магните (2429, 2640). Если принять во внимание явления, которые представляют относительные действия парамагнитных и диамагнитных веществ, то то же самое заключение можно сделать относительно всех тел и относительно также (пустого) пространства (2787 и др.).

3165. Что железный диск влияет на распределение *силовых линий*, это, без сомнения, верно, и легко увидеть, в какой мере это происходит, если небольшую магнитную стрелку,

около 0.1 или 0.05 дюйма длиной, укрепить, как на оси, поперек в середине натянутой нити и затем ввести ее в магнитное поле вблизи края неподвижного диска. Тогда будет видно (3071, 3076), как силовые линии собираются на железе, у края и вблизи последнего, но только на очень небольшом расстоянии от него со всех сторон: получается то действие, которое я считаю свойственным парамагнитному телу (2807). В остальных местах силовые линии идут по силовому полю — там, где железо есть, совершенно так, как и там, где его нет, и для меня является доказанным фактом, установленным на основании многочисленных опытов, что сечение силовых линий поперек магнитного поля в воздухе вплотную вблизи железа в точности равно по количеству силы сечению, взятому параллельно железному диску и внутри последнего (3163). Все железо, находящееся под действием индукции, должно содержать внутри столько силы, т. е. силовых линий, сколько будет эквивалентно линиям, которые падают на него, проходят по нему и выходят из него; и то же самое, как мне кажется, справедливо для каждого другого парамагнитного или диамагнитного вещества. Это же справедливо и для самого магнита, ибо было показано, что сечение поперек магнита в точности равно сечению где-нибудь поперек внешних силовых линий (3121) и что эти сечения можно брать на поверхности магнита, где их можно считать находящимися безразлично в воздухе или в магните и, следовательно, тождественными по величине, форме, силе, полярности и в любом другом отношении.

3166. Раньше как-то я употреблял выражение *проводимость полярности* (2818, 2835), но так ограничил его значение, что это ни тогда, ни теперь не может ввести в заблуждение насчет смысла, который я ему придал. Не требуется слов, чтобы показать, как оно охватывается более широким и общим выражением направления или полярности силовых линий.

3167. Были получены и другие результаты с дисковым прибором (3159), которые, быть может, будет полезно здесь опи-

сать. Был устроен диск из *олова* толщиной в 0.1 дюйма, с диаметром в 2.5 дюйма. Трение медного провода о край этого диска производило слабый ток, противоположный тому, какой получался в случаях меди и железа (3161); но ток, создававшийся вращением и связанный с полярностью силовых линий, был таков же, что и прежде. Он давал отклонение в  $14^{\circ}9$  при двух оборотах диска.

3168. Диск из *висмута* давал чрезвычайно сильный ток от трения о медный провод, а потому при нашей простой установке нельзя было получить какой-нибудь результат. Поэтому было сделано кольцо из листовой меди, плотно насажено на диск из висмута и крепко заклинено полосами чистой листовой меди, так что получился чистый контакт между твердыми телами; без сомнения, он не был совершенным, но действовал в стольких точках, сколько можно было осуществить при данных обстоятельствах. Когда я вращал этот диск в одном направлении, он давал отклонение в том же направлении, как когда мы пользовались медным или железным диском; когда он вращался в другую сторону, то отклонение было незначительно или же его не было совсем. Это различие вызывается тем обстоятельством, что в одном случае влияние действия вращения и влияние действия трения складываются, а в другом случае они друг другу противодействуют. Но эти результаты показывают, что когда висмут находится между магнитными полюсами, то силовые линии имеют в висмуте то же самое направление, какое они имеют в меди и железе. Индукционный ток слаб как вследствие плохой проводимости висмута, так и вследствие несовершенства контакта на краю диска. Когда тот же медный ободок был надет на медный диск, то он уменьшил отклонение стрелки с  $26.5$  до  $9^{\circ}34$ .

3169. Для того чтобы наглядно показать влияние тех частей диска, которые не находятся в месте наибольшего действия, но отводят назад токи, создаваемые радиальными частями в месте наибольшего действия, я устроил деревянный диск толщиной в 0.2 дюйма и диаметром в 2.5 дюйма, центр

которого для укрепления и электрической связи был медный; на внешнем крае было медное кольцо толщиной не более  $\frac{1}{20}$  части дюйма. Эти две медные части были соединены друг с другом единственным радиусом из медной проволоки толщиной в 0.056 дюйма, который при вращении диска, разумеется, проносился через магнитное поле поперек последнего. Он дал отклонение в  $14^\circ$ . Медный диск толщиной в 0.05 дюйма дал среднее отклонение только в  $28^\circ$ . Хотя часть тока должно дать вещество медного кольца, окружающего дерево, однако главная часть его обязана своим происхождением медному радиусу, который в эффективной своей части у края диска (3160) составляет не более  $\frac{1}{140}$  части полного медного диска; это показывает, как много электричества,  $\Pi$  иводимого здесь в движение магнитной силой, должно возвращаться назад по коротким цепям в других частях диска.

3170. Дискový прибор хорошо показывает зависимость индуцированного тока от *пересечения* силовых линий (3082, 3113). Когда диск был установлен таким образом, что он краем обращен к магнитным полюсам, находится в плоскости магнитной оси и стоит *параллельно* проходящим возле него силовым линиям, то никаким вращением этого диска при самом сильном магните на гальванометре не получалось ни малейших признаков тока.

3171. Отношение индукционного тока к электропроводности вещества у металлов (3152) приводит к предположению, что при других телах, как вода, воск, стекло и пр., он отсутствует исключительно вследствие того, что эти тела обладают весьма недостаточной проводимостью. Я полагал, что процессы, подобные тем, какими мы пользовались в опытах с металлами, могут вызвать некоторые признаки статического электричества (181, 192) в таких непроводниках, как шеллак, сера и др., и провел в этом направлении ряд опытов в сильном магнитном поле, но не получил ясных результатов.

3172. Все описанные выше результаты были получены с движущимися металлами. Но движение само по себе не создало бы зависимости, если бы для нее не были заложены основы в наличии некоторого предшествующего состояния; поэтому и неподвижные металлы должны уже быть как-то связаны с активным центром силы; связь эта не должна обязательно определяться в какой-либо мере их парамагнитным или диамагнитным состоянием, так как в металле, стоящем в этом отношении на нуле, электрический ток мог бы возникнуть с таким же успехом, как в других металлах. Эта связь — не того рода, как притяжения и отталкивания металлов и, следовательно, не является магнитной в обычном смысле этого слова, а соответствует какой-то другой функции силы. Железо, медь и висмут в отношении магнетизма весьма отличны друг от друга, но когда они движутся поперек силовых линий, они дают один и тот же общий результат, который видоизменяется только электропроводностью.

3173. Если в дальнейшем такое состояние подтвердится на опыте и если вновь оживет и будет обосновано представление об электротоническом состоянии (60, 242, 1114, 1661, 1729), тогда такие тела, как вода, масло, смола и др., будут, вероятно, отнесены к этому состоянию; ибо состояние непроводимости, которое предотвращает возникновение в них токов, не противоречит существованию такого состояния, которое предшествует действию движения. Кусок меди, в котором не может быть тока, так как он не составляет части цепи (3087), и кусок шеллака, в котором не может быть тока, так как он является непроводником электричества, могут иметь свои особые, но аналогичные состояния, когда они движутся в поле магнитной силы.

3174. Заканчивая настоящее сообщение, я не могу воздержаться от того, чтобы не высказать вновь свое убеждение в правильности того представления, которое дает идея силовых линий в отношении магнитного действия. Все то, что было установлено экспериментальным путем относительно этого действия,

т. е. все то, что не является гипотетическим, по-видимому, хорошо и правильно выражается этой идеей. Каждая гипотеза, которой мы пользуемся для представления магнитной силы, должна в конечном счете включить и электрические силы, так как эти две силы настолько связаны друг с другом, что для них обеих должны служить одни и те же выражения. В этом отношении представление о силовых линиях имеет, по моему, преимущество перед тем методом, который выражает магнитные силы посредством центров действия. Так, например, в прямом проводе, по которому проходит электрический ток, очевидно, невозможно представить электрические силы с помощью центров действия, между тем как силовые линии представляют их просто и правильно. Изучение этих линий нередко наталкивало меня на различные выводы, что, полагаю, доказывает их полезность, а равно и плодотворность. Примерами этого являются: закон магнитоэлектрической индукции (114), индукционное действие земли (149, 161, 171), отношение между магнетизмом и светом (2146 и выноска), диамагнитное действие и его закон (2243) и магнекристаллическое действие (2454). Подобное же влияние, по моему мнению, можно далее усмотреть в исследованиях о полярности диамагнитных тел (2640), об отношении между магнитными кривыми и возникновением электрических токов (243), в объяснении явления Араго (81) и различия между этим явлением и обычным магнетизмом (243, 245), отношения между электрическими и магнитными силами (1709), в возарениях, касающихся магнитной проводимости (2797) и атмосферного магнетизма (2847). По правде сказать, я так привык пользоваться ими, в особенности в моих последних «Исследованиях», что, быть может, невольно получил к ним предрасположение и перестал быть прозорливым судьей. Однако я всегда старался проверить теорию и мнение опытом. Но ни этим путем, ни путем внимательной перекрестной принципиальной проверки я не мог обнаружить какую-либо ошибку, заключенную в самом применении метода силовых линий.

3175. Когда я писал настоящее сообщение, мне вспомнилось, что в последних сериях настоящих «Исследований», в №№ XXV, XXVI, XXVII, я временами пользовался термином *силовые линии* в столь неопределенном смысле, что оставлял читателя в недоумении, что я собственно имею в виду: одно лишь наглядное представление этих сил или же описание того пути, вдоль которого всегда проявляется эта сила. То, что я сказал в начале настоящего сообщения (3075), внесет в это дело ясность. До сих пор я не нашел никакого основания для того, чтобы пожелать изменить какую-нибудь часть этих сообщений, за исключением вышеуказанных неопределенных выражений. Но все это будет исправлено, если условиться, что во всех случаях, когда выражение *силовая линия* взято просто для того, чтобы представить распределение сил, оно в полной мере соответствует этому значению; но во всех тех случаях, когда оно, по-видимому, выражает идею о *физической форме* передачи силы, то в этом отношении оно выражает то мнение, к которому я склоняюсь в настоящее время. Это мнение может оказаться ошибочным, но до сих пор все, что относится к распределению силы, остается без изменения.

3176. Ценность движущейся проволоки или проводника как средства испытания магнитных сил представляется мне очень высокой, так как она подходит к физической стороне этого вопроса совершенно иначе, чем магнитная стрелка. Она не только дает свои показания на основе другого принципа и другим способом, но при взаимодействии между ней и источником силы она действует на силу иначе, чем магнитная стрелка. Проволока, находясь в покое, не нарушает в заметной мере расположения сил в магнитном поле; стрелка, находясь в магнитном поле, его возмущает. Когда проволока движется, то она не возмущает заметным образом сил, существующих вне ее, разве только, может быть, в больших массах, например, в дисках (3163) или же когда играет роль время (1730), т. е. она не возмущает распределения всей силы или расположения силовых линий. Поле постоянной магнитной силы остается

таковым по отношению ко всему, за исключением движущегося провода в то время, когда провод движется поперек или через него. Движущийся провод указывает также количество силы независимо от напряжения (2870); он показывает, что ее количество внутри магнита и вне последнего одинаково, хотя напряжение здесь и там весьма различно. В дополнение к указанным выше преимуществам этот принцип годится и для внутренности магнита и для парамагнитных и диамагнитных тел, так что он допускает более широкое применение, чем магнитная стрелка, и дает, следовательно, экспериментальные показания такого вида, каких иным путем нельзя получить.

*Королевский институт.  
9 октября 1851 г.*

---

---

# ДВАДЦАТЬ ДЕВЯТАЯ СЕРИЯ <sup>1</sup>

---

---

*Раздел 35. О применении индукционного магнитоэлектрического тока для обнаружения и измерения магнитной силы.* Глава I. Гальванометр. Глава II. Вращающиеся прямоугольники и кольца.

*Раздел 36. О величине и общем распределении сил магнита при соединении его с другими магнитами.*

*Раздел 37. Изображение магнитных силовых линий с помощью железных опилок.*

Поступило 31 декабря 1851 г. Доложено 25 марта и 1 апреля 1852 г.

## РАЗДЕЛ 35

### О применении индукционного магнитоэлектрического тока для обнаружения и измерения магнитной силы

3177. Выдвинутое мною предложение о пользования индукционным магнитоэлектрическим током для получения экспериментальных показаний о наличии, направлении и величине магнитных сил (3074). требует; чтобы я ясно изложил также принципы и практику, необходимые для этой цели, и в особенности чтобы я доказал, что величина индуцируемого тока в точности пропорциональна количеству магнитных силовых линий, пересекаемых движущимся проводом, в котором возникает и проявляется электрический ток (3082, 3109). Я полагаю, что данного раньше доказательства достаточно для тех, кто в состоянии повторить эти опыты; но для того, чтобы умножить

---

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1852, стр. 137.

доказательства, как это, конечно, и следует делать, когда впервые вносят подобного рода предложения, я перешел к опытам с магнитной силой Земли, дающей нам поле действия, которое не изменяется по своей силе с изменением расстояния так быстро, как в случае небольших магнитов, и которое в каждом данном месте можно считать однородным по силе и направлению. Ведь если какое-нибудь помещение очистить от всех обыкновенных магнитов, то земные магнитные силовые линии, проходящие через это помещение, будут иметь одинаковое направление, которое будет направлением наклонения, в чем можно убедиться с помощью свободной магнитной стрелки или иными средствами, и в любой части помещения они будут находиться в одинаковой пропорции или количестве, т. е. будут иметь одинаковую силу. Но когда сила повсюду одинакова, можно, по всей вероятности, гораздо легче и непосредственнее определить ее отношение к току, развивающемуся в движущемся проводе, чем в том случае, когда при пользовании небольшим магнитом величина силы с изменением расстояния очень быстро изменяется.

## Г Л А В А I

### *Гальванометр*

3178. Для того чтобы изложить теперь полученные мною результаты, я должен упомянуть о служившем для этой цели гальванометре и о мерах предосторожности, которых следует придерживаться для правильной работы с ним. Этот прибор в основном уже был описан (3123) и был показан вид проводника, окружающего магнитные стрелки. Проводник этот можно рассматривать как квадратный медный стержень толщиной в 0.2 дюйма, который дважды огибает плоскость колебаний каждой из стрелок, образующих астатическую систему, затем выходит наружу и заканчивается двумя идущими вниз частями, которые предназначены для того, чтобы быть погруженными в чашки со ртутью. Так как обе стрелки находятся

внутри витков этого стержня, то параллельно им и выше их на той же оси укреплена, в виде указателя, щетинка или тонкая медная проволочка; она, двигаясь над обычным кругом с делениями, показывает место и размер колебания или отброса магнитных стрелок вниз. Стрелки подвешены на коконовой нити, а в других отношениях этот прибор подобен обыкновенному хорошему гальванометру.

3179. Чрезвычайно важно, чтобы медный стержень возле стрелки был совершенно чист. В соответствии с конструкцией прибора вертикальная нулевая плоскость должна проходить посередине между двумя вертикальными витками стержня (рис. 244). Вместо этого на первых порах стрелка устремлялась то к одной стороне, то к другой, явно притягиваясь к вертикальным участкам стержня. Сначала я опасался, что медь магнитна, но, тщательно очистив ее поверхность тонкой шкуркой, я совершенно устранил указанное явление, которое без сомнения вызывалось железом, попавшим на медь благодаря прикосновению рук или во время обработки напильком; после этого стрелка действительно стала устанавливаться в плоскости, равноотстоящей от обоих витков, когда эта плоскость совпала с магнитным меридианом.

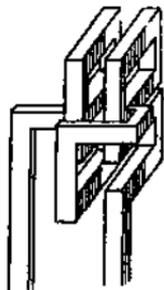


Рис. 244.

3180. Все соединения для этого гальванометра (3123, 3133) были изготовлены из медного стержня или из проволоки 0.2 дюйма в диаметре. Однако и при столь толстых проволоках длина проводов не должна быть больше, чем это необходимо, так как удлинение проводов от 6 футов до 8, 10 или 12 футов вызывает большую разницу на гальванометре, когда приходится измерять алектрические токи малого напряжения. В таких случаях особенно хорошо выясняется, как к получающимся результатам применяется закон Ома ( $Ohm$ ) о токах. Когда соединения простирались на значительное расстояние, то прямые части проводов снабжались загнутыми вниз концами,

и последние, будучи опущены в чашки со ртутью, завершали связь и замыкали цепь. Чашками служили углубления, выточенные в плоских кусках дерева. Концы соединительных проводов и гальванометрического бруска были сначала полужены, а затем амальгамированы; после этого их контакт со ртутью происходил легко и надежно. Даже в тех случаях, когда приходилось устраивать связь в виде контакта между твердыми телами, я нашел очень удобным и надежным лудить и амальгамировать концы проводов, стирая затем лишнюю ртуть. Обработанные указанным образом поверхности всегда готовы для хорошего и совершенного контакта.

3181. Когда магнитная стрелка занимает свое положение под влиянием Земли и витки меди установлены по ней, то стрелка должна стоять на истинном нуле; по-видимому, это так и происходит. Когда это действительно так и мы приложим сначала с одной, а потом с другой стороны стрелки одинаковые силы (например, пропуская через витки противоположные токи), то стрелка должна отклоняться *одинаково* в ту и в другую стороны; так это и происходит на самом деле. Иногда кажется, что стрелка стоит на нуле, но она находится не в точности на магнитном меридиане; ибо небольшое кручение нити подвеса, когда оно составляет лишь  $10^\circ$  или  $15^\circ$  (для безразличной стрелки) и является совершенно незаметным для глаза, смотрящего на магнитную стрелку, отклоняет последнюю, и тогда сила, которая противодействует отбросу стрелки и которая ее задерживает и возвращает к нулю (эта сила создается и кручением и магнитной силой Земли), становится неодинаковой с двух сторон, в результате чего величина отброса в двух направлениях оказывается неодинаковой при одинаковых силах; на одной стороне она больше, а на другой — меньше.

3182. Я не видел еще до сих пор гальванометра, в котором имелось бы приспособление для кручения нити подвеса. Могут существовать и другие причины, которые могут сделать в небольшой степени неравными силы по ту и другую сторону от нулевого положения прибора, например, присутствие вблизи

помещения или в его стенах или в других местах неизвестных масс железа. В силу этих соображений лучше производить *двойные наблюдения*. Все явления, с которыми вам придется иметь дело, дают действия в двух противоположных направлениях. Когда петля проходит мимо магнитного полюса (3133), то она вызывает отброс в одном направлении; когда ее уводят, происходит отброс в противоположном направлении. Когда прямоугольники и кольца, которые будут описаны ниже (3192), вращают в одном направлении, то они дают один ток, а когда их вращают в противоположном направлении, то получается другой ток, противоположного направления. Поэтому при измерении силы полюса или действия вращающегося провода, пересекающего (силовые линии), я всегда производил ряд наблюдений в обоих направлениях — либо по очереди то в одном, то в другом, либо — без особого порядка; затем я определял средние из наблюдений на одной стороне и на другой (которые в различных случаях отличались друг от друга от  $1/50$  до  $1/300$  части) и затем считал, что полусумма этих средних выражает силу индуцируемого электрического тока или магнитных сил, которые его индуцируют.

3183. Необходимо уделять большое внимание положению инструмента и связанных с ним приборов относительно огня или источников образования различных температур: части его, способные создать термоэлектрические токи, не должны нагреваться или охлаждаться в различной степени. Прибор чрезвычайно чувствителен к термоэлектрическим токам: луч солнца, случайно на несколько мгновений упавший на одну из двух соединительных чашек со ртутью, производил путаницу в показаниях и делал их на некоторое время непригодными.

3184. Для того чтобы определить практически, т. е. экспериментальным путем относительную цену делений в различных участках шкалы, т. е. чтобы проградуировать прибор и сделать его пригодным для измерения, были произведены следующие испытания. Петля, подобная той, какая была описана выше (3133) (рис. 245), была присоединена к гальванометру

с помощью проводов, которые отделяли ее на 9 футов от этого прибора, и затем на этом месте была установлена неподвижно. Был взят составной стержневой магнит, состоявший из двух пластин, каждая в 12 дюймов длиной, 1 дюйм шириной и 0.5 дюйма толщиной, такой силы, что он был в состоянии на каждом конце держать на весу пучок чистых железных опилок, весом в среднем в 45 гран. У петли были расположены блоки, с помощью которых и можно было, держа магнит вертикально, одним концом опустить его вниз сквозь петлю настолько, что петля оказывалась на одном уровне с экватором магнита



Рис. 245.

(3191); после этого его можно было быстро оттуда удалить и затем повторить эту операцию сколько угодно раз. Когда магнит указанным образом перемещался, а соединение петли с гальванометром было прервано в это время (в одной из чашек со ртутью), то не замечалось никакого изменения в положении магнитных стрелок: непосредственное влияние магнита на упомянутом выше расстоянии в 9 футов оказалось слишком мало для того, чтобы произвести такое действие.

3185. Следует отчетливо представить себе, что при всех наблюдениях, которые производились с этим прибором, наблюдался *отброс*, и именно он рассматривался как мера получающегося действия, если не сделано особых указаний. Постоянный ток дает в приборе постоянное и длительное отклонение, но не так обстоит дело в данном случае. Наблюдающиеся здесь токи длятся лишь короткие промежутки времени и сообщают магнитной стрелке как бы удар или толчок, под влиянием которого отклонение стрелки продолжает увеличиваться в течение длительного времени после прекращения тока. Тем не менее величина отброса зависит от того электричества, которое прошло при этом кратковременном токе, и как

показывают, по-видимому, опыты, он просто ему пропорционален независимо от того, в какой промежуток времени проходит это электричество: более долгий или более короткий (3104), и независимо от того, как сила тока изменяется за этот срок, в течение которого он длится.

3186. Составной магнит вводился в петлю один раз и оставлялся там; при этом наблюдался отброс гальванометра; было найдено, что отброс равен  $16^\circ$ . После этого стрелка гальванометра была отведена к нулю и магнитный стержень был вынут, что вызвало обратный ток и отброс в обратную сторону; последний составил тоже  $16^\circ$ . Многочисленные перемены направления магнита — такие, какие были описаны выше, — дали  $16^\circ$  как средний результат, т. е. результат однократного пересечения силовых линий данного магнита (3102). Для того чтобы понять, каким образом можно было сложить действие двух или большего числа пересечения этих силовых линий, следует вспомнить, что отброс стрелки справа налево требует некоторого времени (13 секунд); таким образом, можно ввести магнит внутрь петли, ватем прервать электрический ток, вынув один конец соединительного провода из ртути, удалить магнит, который при этом движении никакого действия не произведет, восстановить ртутный контакт и снова ввести магнит в петлю — и на все уйдет меньше, чем десятая часть того времени, в течение которого магнитные стрелки будут двигаться под влиянием первого импульса. Таким образом, можно сложить два импульса и наблюдать соединенное их действие на стрелку; а при некотором навыке можно, конечно, в течение должного времени, т. е. в течение половины или двух третей периода полного отброса, сообщить три и даже четыре импульса; но, разумеется, последние импульсы окажут меньшее влияние на стрелки, так как стрелки будут более или менее наклонны по отношению к току в медных витках в тот момент, как эти импульсы будут сообщаться. Что касается токов, индуцируемых магнитом в петле, то не может быть никакого сомнения в том, что они будут одинаковыми при каждом вводе одного и того же магнита.

3187. Идя указанным путем, я получил следующие результаты для одного, двух, трех и даже четырех вводов того же магнита:

Однократный ввод	15°	Трехкратный ввод	46°87
Двукратный ввод	31.25	Четырехкратный ввод	58.50.

Здесь не может ускользнуть от внимания близость (отношения этих чисел к 1, 2, 3, 4; <sup>1</sup> нужно заметить, что при наблюдении места стрелки в конце отброса, где она задерживается лишь на мгновение, должна вкратце некоторая ошибка, и эта ошибка должна быть больше в первом числе, где она приходится на единицу сравнения, и меньше при других наблюдениях, где лишь половина или треть ее прибавляется к половине или трети всего результата. Так, например, если мы разделим пополам дугу для двукратного ввода полюса, это даст 15°625; если мы возьмем треть дуги при трех вводах, это даст 15°61 — числа, которые почти тождественны, так что если первое число увеличить лишь на 0°6, то соотношение этих чисел будет соответствовать 1, 2 и 3. Почему четвертое число, составляющее 14°625, меньше указанного выше числа, объясняется, быть может, указанным ранее обстоятельством, а именно — наклонным положением стрелки по отношению к виткам в момент сообщения импульса (3186).

3188. Для того чтобы до известной степени избежать подобных случаев и сравнивать деления в начале шкалы (эти начальные

<sup>1</sup> См. выноску к (3189).

$\sin \frac{15^\circ}{2} =$	$= \sin 7^\circ 30' = 0.130526$	0.130526
$\sin \frac{31^\circ 25}{2} = \sin 15^\circ 625 = \sin 15^\circ 37.5 = 0.269200$	$\frac{0.269200}{2} = 0.134600$	
$\sin \frac{46^\circ 87}{2} = \sin 23^\circ 435 = \sin 23^\circ 26.1 = 0.397681$	$\frac{0.397681}{3} = 0.1328606$	
$\sin \frac{58^\circ 50}{2} = \sin 29^\circ 25 = \sin 27^\circ 15' = 0.4686212$	$\frac{0.4686212}{4} = 0.1221553$	

деления наиболее важны для сравнения при предстоящих опытах), я ваял лишь один из стержней служившего ранее для опытов составного магнита (3184). Результаты получились следующие:

Однократный ввод	8°	Трехкратный ввод	23°87
Двукратный ввод	15.75	Четырехкратный ввод	31.66.

Отношение этих чисел очень близко к 1, 2, 3 и 4. Если, как и раньше, мы произведем деление, то будем иметь 8°, 7.87, 7°95, 7°91; таким образом, если в первом наблюдении, т. е. из 8°, мы вычтем лишь 0°09, то получится указанный простой результат.<sup>1</sup>

3189. Отсюда следует, что при рассматриваемом способе применения и измерения магнитных сил число градусов отклонения при отбросе для малых дуг почти пропорционально магнитной силе, действующей на движущийся провод.<sup>2</sup>

---

$\sin \frac{8^\circ}{2} = \sin 4^\circ$	$= 0.0697565$	$0.0697565$
$\sin \frac{15^\circ 75}{2} = \sin 7^\circ 875 = \sin 7^\circ 52' 5$	$= 0.1370123$	$\frac{0.1370123}{2} = 0.068561$
$\sin \frac{23^\circ 87}{2} = \sin 11^\circ 935 = \sin 11^\circ 56' 1$	$= 0.2068019$	$\frac{0.2068019}{3} = 0.0689340$
$\sin \frac{31^\circ 66}{2} = \sin 15^\circ 83 = \sin 15^\circ 49' 8$	$= 0.2727840$	$\frac{0.2727840}{4} = 0.0681960$

<sup>1</sup> М-р Кристи обратил мое внимание на свою работу в *Philosophical Transactions*, 1833, стр. 95, в которой на стр. 111 и сл. он исследовал действие магнитоэлектрических импульсов, как их можно назвать, в смысле отброса магнитной стрелки. Он нашел, что сообщаемая стрелке скорость, которая является мерой силы, действующей на стрелку в момент прихода ее в движение, пропорциональна синусу половины дуги отброса. Таким образом, мое утверждение, если считать его общим выражением этого влияния, неправильно; однако для небольших дуг результаты, которые оно дает, мало отличаются от истинных. Эта погрешность не колеблет общих соображений и выводов настоящей работы; приведенные в ней числа являются результатом опытов, которые, хотя и были произведены с первым и, следовательно, грубым прибором, но были выполнены все-таки с большим тщанием; эти результаты выражены просто торох отклонения, а потому я предпочитаю, чтобы они появились в таком виде, как они есть, а не в измененном виде. М-р Кристи был столь любе-

3190. Я нашел, что сила магнитных стрелок очень постоянна на протяжении дней и недель. При известном внимании можно легко обеспечить постоянство их состояния в течение дня, а это все, что требуется для опытов, имеющих своей целью сравнительные измерения. Стрелки, которыми я пользуюсь, весят вместе со своей осью и проволочным указателем 9 гран; находясь вне медной катушки, они выполняют одно колебание туда и назад за 26 секунд.

3191. С этим прибором, который был указанным образом проверен, я повторил большую часть описанных ранее опытов с петлями (3133 и др.) и получил те же результаты, что и раньше. Было также установлено, что экватор правильного стержневого магнита является тем местом, у которого петлю следует останавливать, чтобы она дала максимум действия, и что когда она немного не доходит до этого места или же уходит несколько дальше него, то окончательный результат уменьшается. При применении магнита длиной в 12 дюймов, когда петля прошла

2.3 дюйма за полюс, отклонение было	5.91;
4.1 дюйма за полюс, отклонение было	7.50;
5.1 дюйма за полюс, отклонение было	7.74;
6.1 дюйма за полюс, отклонение было	8.16;
8.0 дюйма за полюс, отклонение было	7.75;
9.0 дюйма за полюс, отклонение было	6.50.

## Г Л А В А II

### *Вращающиеся прямоугольники и кольца<sup>1</sup>*

3192. Для опытов с магнитными силами Земли (3177) я придавал движущимся проводам форму прямоугольника или кольца. Если прямоугольный провод (рис. 246) поместить звен, что дал мне правильное выражение силы для многих случаев, и я поместил его результаты в соответствующих местах в виде выносок. — 26 янв. 1852 г.

<sup>1</sup> Один из моих друзей обратил мое внимание на то, что в июле 1832 г. Нобили (Nobili) производил опыты с кольцами или катушками, находившимися под влиянием земного магнетизма. Эти опыты были им произ-

в плоскости, перпендикулярной к направлению наклонения, и затем один раз повернуть около оси  $ab$ , то участки  $cd$  и  $ef$  дважды пересекут магнитные силовые линии, проходящие через площадь  $cedf$ . На протяжении первых  $180^\circ$  вращения противоположное направление, в котором два участка  $cd$  и  $ef$  пересекают эти линии, согласно приведет к тому, что в этих участках возникнет ток, который будет стремиться идти по прямоугольнику в определенном направлении (161); на протяжении следующих  $180^\circ$  вращения их действия сложатся так,

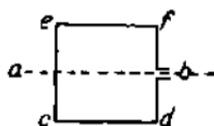


Рис. 246.

что дадут ток противоположного направления, так что если первый ток будет идти из  $d$  через  $ce$  и  $f$  снова к  $d$ , то второй ток будет идти из  $d$  через  $fe$  и  $c$  к  $d$ . Если прямоугольник не будет замкнут, а будет иметь разрыв в  $b$ , и если образовавшиеся здесь концы присоединить к коммутатору, который меняет

соединение с прямоугольником, когда последний вступает в плоскость, перпендикулярную к наклонению, т. е. через каждые пол-оборота, то эти последовательно возникающие токи можно собрать и направить в гальванометр для измерения. На участки  $ce$  и  $df$  прямоугольника можно смотреть просто как на проводники, ибо, поскольку они при своем движении не пересекают никаких силовых линий, они не стремятся создать какой-либо ток.

3193. Прибор, на котором помещают эти прямоугольники и который является также коммутатором для изменения индукционных токов, состоит из двух стоек, укрепленных на деревянной доске и поддерживающих наверху деревянную горизон-

ведены после моих опытов над колеблющимися проводами (171, 148) и вращающимися шарами (160), произведенных в январе 1832 г., и явились их следствием. Но он распространил свое исследование на толщину провода, на диаметр катушек и на число последних, связанное с длиной провода. Результаты его исследования (представленные в виде таблиц) можно найти в т. 1, стр. 244 и др., флорентинского издания его мемуаров. — 1 марта 1852 г.

гальную ось, один конец которой снабжен рукояткой, а другой выступает наружу и имеет форму, показанную на рис. 247. На последнем можно увидеть, что на оси укреплены две полуквадратные медные пластинки *ab*, которые образуют около нее цилиндр, но только не соприкасаются друг с другом своими краями, благодаря чему на противоположных сторонах оси получаются две линии разрыва. К нижней части стойки с приделаны два крепких медных стержня диаметром в 0.2 дюйма; у стойки они снабжены гнездами с винтами, куда вставляются

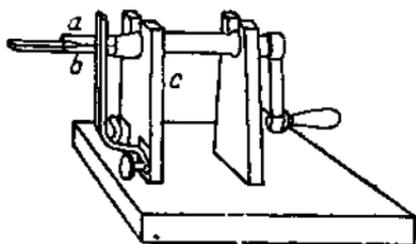


Рис. 247.

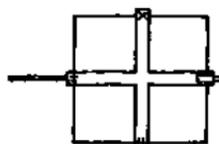


Рис. 248.

концы проводов, идущих из гальванометрических чашек (3180). В другую сторону эти стержни поднимаются вверх параллельно друг другу и, будучи совершенно прямыми, сильно прижимаются с противоположных сторон к изогнутым пластинкам коммутатора. В результате этого всякий раз, когда при вращении оси линии разрыва между пластинками коммутатора ставятся в горизонтальную плоскость и проходят через нее, их контакт с указанными выше вертикальными стержнями изменяется, и, значит, изменяется также направление тока, идущего из этих пластинок в стержни и далее в гальванометр. Другие, т. е. наружные концы коммутаторных пластинок выгнуты, чтобы их можно было припаивать к концам прямоугольника или кольца, которые должны подвергнуться испытанию.

3194. Самый прямоугольник укреплен на легком деревянном кресте (рис. 248); в одной крестовине имеется гильза,

надевающаяся на ту часть деревянной оси, которая выступает из стоек коммутатора, так что прямоугольник вращается вместе с осью. На той части рамки, которая лежит на продолжении оси, укреплен медный штифтик, и конец этого штифтика входит в отверстие отдельной стойки, имеющей назначение поддерживать прямоугольник и его рамку и сообщить им устойчивость. Рамки имеются двух или трех размеров, так что на них можно надевать прямоугольники со стороной в 12 дюймов или даже больше — вплоть до квадрата со стороной в 36 дюймов. Прямоугольник устанавливается таким образом, что находится в горизонтальной плоскости, когда линий раздела между плоскостями коммутатора лежат в той же плоскости, и тогда его концы припаявают каждый к своей коммутаторной пластинке. Теперь ясно, что когда мы имеем дело с силовыми линиями Земли или с какими-либо иными линиями, нам приходится лишь повернуть ось прибора настолько, чтобы вертикальные медные стержни соприкасались с обеих сторон с линиями разрыва пластинок коммутатора, а затем установить прибор в таком положении, чтобы плоскость кольца или прямоугольника была перпендикулярна к направлению исследуемых силовых линий; тогда каждое вращение коммутатора и пересекающего провода дадут максимальный ток, какой могут произвести такой провод и такая магнитная сила. Линии земной магнитной силы проходят под углом в  $69^\circ$  к горизонтальной плоскости. Однако поскольку в данном случае нужны были лишь сравнительные результаты, то прибор при всех последующих опытах устанавливался в горизонтальной плоскости, причем ось вращения была перпендикулярна к плоскости магнитного меридиана; при этих условиях в результате испытаний не вводилось ничего такого, что могло бы послужить причиной ошибки или отклонения. Так как никакого другого магнита для опытов не надо было, коммутатор стоял на расстоянии 3 футов от гальванометра, и, таким образом, двух кусков медной проволоки длиной в 3 фута и толщиной в 0.2 дюйма было достаточно для образования цепи. Один конец каждой из этих про-

волок опускался в ртутные чашки у гальванометра, другие концы их лудились, амальгамировались, вводились в гнезда стержней коммутатора (3193) и закреплялись с помощью зажимных винтов (рис. 247).

3195. Пусть при данной длине провода требуется придать ему форму, наилучшим образом приспособленную для получения максимального действия; тогда для случая петли, которую предстоит применить при малом магните (39, 3184), и для случая прямоугольника или иной формы петли, которую предстоит применить при силовых линиях Земли, обстоятельства складываются прямо противоположным образом. В случае малого магнита все принадлежащие ему силовые линии охватываются петлей; если длина провода достаточна для того, чтобы устроить петлю в два или больше витков, и если он все-таки будет проходить мимо полюса, то этот провод даст тогда вдвое или больше электричества, чем может дать одна петля (36). В случае земной силы дело обстоит наоборот. Так как у кругов, квадратов, прямоугольников и т. д. охватываемые ими площади пропорциональны квадратам их периферий, а числа пересекаемых ими силовых линий пропорциональны площадям, то гораздо лучше сообщить данному проводу форму простого круга, чем форму двух или большего числа витков. Двенадцать футов провода в виде одного квадрата пересекают при одном обороте силовые линии, проходящие через площадь в девять квадратных футов, между тем как если ему придать форму тройной цепи, с площадью около квадратного фута, то он пересечет лишь силовые линии, соответствующие этой последней площади; втрое выгоднее однажды пересечь силовые линии на площади в девять квадратных футов, чем трижды на площади в один квадратный фут.

3196. Из медной проволоки 0.05 дюйма в диаметре был изготовлен квадрат; длина его провода составляла 4 фута; площадь его равнялась одному квадратному футу. Он был установлен на коммутаторе и соединен с цепью, как было указано выше

(3194). Шесть его оборотов вызвали отброс в  $14^\circ$  или  $15^\circ$ , и за требуемое время (3104) можно было сделать двенадцать быстрых оборотов. Сначала было произведено сравнение *быстрых* и *медленных* оборотов. Шесть медленных оборотов дали, как среднее из всех испытаний, отброс в  $15^\circ 5'$ . Шесть оборотов с умеренной скоростью тоже дали в среднем  $15^\circ 5'$ ; шесть быстрых оборотов дали среднее в  $15^\circ 66'$ . В другой раз двенадцать оборотов с умеренной скоростью дали в среднем  $28^\circ 75'$ , а двенадцать быстрых оборотов дали средний отброс в  $31^\circ 33'$ . Как это было объяснено раньше (3186), вероятная причина того, что быстрые обороты дали больший результат, чем умеренные или медленные, заключается в том, что при медленном вращении последние обороты совершаются в такое время, когда стрелка сильно отклонилась от параллельности медной катушки гальванометра, и вызываемые последней импульсы оказываются менее действенными. Поэтому наилучшими являются малое или умеренное количество оборотов и быстрое движение. Разница в предельном случае оказывается меньшей, чем этого можно было ожидать, и она показывает, что в этом отношении не существует практических возражений против предлагаемого метода экспериментирования с магнитными силовыми линиями.

3197. Для того чтобы получить в данном случае выражение для величины земной магнитной силы с помощью указанного прямоугольника, наблюдения производились по обе стороны от нуля, как это было предложено выше (3182). Девять умеренно быстрых прямых оборотов (т. е. по часовой стрелке) дали как среднее из многих наблюдений  $23^\circ 87'$ , а девять оборотов в противоположном направлении дали  $23^\circ 37'$ . Среднее из этих величин составляет  $23^\circ 62'$  для девяти оборотов прямоугольника и, следовательно,  $2^\circ 624'$  для одного оборота. А шесть быстрых оборотов (3196) дали  $15^\circ 66'$ , что составляет  $2^\circ 61'$  на один оборот, и двенадцать быстрых оборотов дали  $31^\circ 33'$ , что тоже составляет  $2^\circ 61'$  на один оборот. Эти результаты  $2^\circ 624'$ ,  $2^\circ 61'$  и  $2^\circ 61'$  находятся в очень хорошем взаимном согласии и

внушают доверие к рассматриваемому методу исследования магнитных сил.<sup>1</sup>

3198. Из такой же длины (4 фута) той же проволоки был устроен прямоугольник, но стороны его соответственно составляли 8 и 16 дюймов (рис. 249), так что при вращении сокущие части его должны были иметь длину лишь 8 дюймов вместо 12. Площадь этого четырехугольника естественно составляли 128 квадратных дюймов вместо 144. Этот прямоугольник показал то же различие между быстрым и медленным вращением, что и раньше (3196). Когда сделали девять прямых оборотов, то в результате получился отброс в 20°87. Девять оборотов в противоположном направлении дали в среднем отброс в 20°25. Среднее из этих двух величин составляет 20°56 или 2°284 на один оборот. Был устроен третий прямоугольник из проволоки той же длины и того же сорта; стороны его были равны соответственно 8 и 16 дюймам (рис. 250), но он был установлен теперь так, что секущие части его составляли 16 дюймов, т. е. были длиннее, чем раньше. Площадь этого прямоугольника осталась прежней, т. е. равнялась 128 квадратным дюймам. Одинаковость действия медленного и быстрого движения оказалась такой же, как в предыдущих случаях (3196, 3198). Девять прямых оборотов дали в качестве среднего результата 20°75, а девять оборотов в противоположном направлении дали 21°375. Среднее из них составляет 21.06, т. е. 2°34 на оборот.

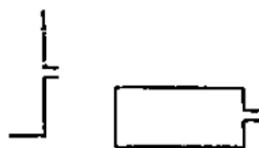


Рис. 249.

Рис. 250.

Одинаковость действия медленного и быстрого движения оказалась такой же, как в предыдущих случаях (3196, 3198). Девять прямых оборотов дали в качестве среднего результата 20°75, а девять оборотов в противоположном направлении дали 21°375. Среднее из них составляет 21.06, т. е. 2°34 на оборот.

3199. Число 2°34 настолько близко к 2°284, что при настоящем состоянии исследования их можно признать тожде-

$$^1 \sin \frac{15^{\circ}86}{2} = \sin 7^{\circ}83 = \sin 7^{\circ}49'8 = 0.1362343$$

$$\frac{0.1362343}{6} = 0.0227057$$

$$\sin \frac{23^{\circ}62}{2} = \sin 11^{\circ}81 = \sin 11^{\circ}48'6 = 0.2047069$$

$$\frac{0.2047069}{9} = 0.0227474$$

$$\sin \frac{31^{\circ}33}{2} = \sin 15^{\circ}665 = \sin 15^{\circ}40' = 0.2700403$$

$$\frac{0.2700403}{12} = 0.0225034$$

ственными. Небольшое замечательное расхождение вызывалось, как я подозреваю, центробежной силой, под влиянием которой середина более длинных пересекающихся частей выпячивалась во время вращения. Совпадение этих чисел показывает, что изменение формы прямоугольника и длины частей проволоки, пересекающих магнитные силовые линии, не повлияло на результат, который, поскольку он зависит только от числа пересекаемых линий, оказался в обоих случаях тождественным, так как площади обоих прямоугольников были одинаковы. Этому можно дать дальнейшее доказательство, если эти результаты сравнить с теми, которые были получены с квадратом. В этом случае площадь составляла 144 квадратных дюйма, а результат по расчету на один оборот оказался равным  $2^{\circ}61$ . У длинного прямоугольника площадь равна 128 квадратным дюймам, а среднее из двух результатов составляет  $2^{\circ}312$  на один оборот. Но 144 квадратных дюйма относятся к 128 квадратным дюймам, как  $2^{\circ}61$  к  $2^{\circ}32$ ; этот результат настолько близок к  $2^{\circ}312$ , что их можно признать тождественными. Изложенное доказывает, что индукционный электрический ток пропорционален числу магнитных силовых линий, пересекаемых движущимся проводом.<sup>1</sup>

3200. Можно также заметить, что не получается никакой разницы от того, как расположены силовые линии: преимущественно по направлению движения провода или же по направ-

<sup>1</sup> Продолговатые прямоугольники с площадью в 128 квадратных дюймов дают в среднем  $20^{\circ}81$  (3198). Прямоугольник с площадью в 144 квадратных дюйма дал в среднем  $23^{\circ}62$  (3197).

$$\sin \frac{20^{\circ}81}{2} = \sin 10^{\circ}405 = \sin 10^{\circ}24'3 = 0.1806049$$

$$\sin \frac{23^{\circ}62}{2} = \sin 11^{\circ}81 = \sin 11^{\circ}48'6 = 0.2047069$$

$$\frac{128}{144} = \frac{8}{9} \quad 0.1806049 \times 9 = 1.6254441 \quad \frac{0.1806049}{8} = 0.0225756$$

или

$$0.2047069 \times 8 = 1.6376552 \quad \frac{0.2047069}{9} = 0.0227452$$

лению длины провода, т. е. изменения скорости движения или длины провода не вызывают никаких перемен, если только количество пересекаемых магнитных силовых линий остается одинаковым.

3201. Имея в своем распоряжении установленный на рамке квадрат со стороной в 12 дюймов, устроенный из медной проволоки толщиной в 0.1 дюйма, я получил следующие средние результаты из многих наблюдений для одного, двух, трех, четырех и пяти оборотов этой проволоки:

Один оборот дал  $7^\circ$ , что составляет  $7^\circ$  на один оборот

Два оборота дали  $13^\circ 875$ , что составляет  $6^\circ 937$  на один оборот

Три оборота дали  $21^\circ 075$ , что составляет  $7^\circ 025$  на один оборот

Четыре оборота дали  $28^\circ 637$ , что составляет  $7^\circ 159$  на один оборот

Пять оборотов дали  $37^\circ 637$ , что составляет  $7^\circ 527$  на один оборот.

Эти результаты чрезвычайно близки друг к другу, в особенности для первых  $30^\circ$ , и подтверждают многие из сделанных ранее заключений (3189, 3199) относительно показаний прибора, количества кривых и др.<sup>1</sup>

$\sin \frac{7^\circ}{2} = \sin 3^\circ 50'$	$= \sin 3^\circ 30'$	$= \frac{\text{разности}}{2}$	$0.0610485$
			$0.0597381$
$\sin \frac{13^\circ 875}{2} = \sin 6^\circ 9375$	$= \sin 6^\circ 58' 25''$	$= 0.1207866$	$\frac{0.1207866}{2} = 0.0603933$
			$0.0620924$
$\sin \frac{21^\circ 075}{2} = \sin 10^\circ 5375$	$= \sin 10^\circ 32' 25''$	$= 0.1828790$	$\frac{0.1828790}{3} = 0.0609596$
			$0.0644329$
$\sin \frac{28^\circ 637}{2} = \sin 14^\circ 3185$	$= \sin 14^\circ 19' 11''$	$= 0.2473119$	$\frac{0.2473119}{4} = 0.0618279$
			$0.0752595$
$\sin \frac{37^\circ 637}{2} = \sin 18^\circ 3185$	$= \sin 18^\circ 49' 11''$	$= 0.3225714$	$\frac{0.3225714}{5} = 0.0645142$

3202. В другой раз я сравнивал результаты равномерных вращений с результатом других вращений, которые были очень неправильны по своим скоростям, причем иногда движения были направлены даже в противоположную сторону и все время порывисто изменялись, но только всегда так, чтобы в надлежащее время было сделано определенное количество оборотов. Прямоугольник был сделан из проволоки толщиной в 0.2 дюйма. Среднее из многих опытов, которые оказались очень близкими друг к другу по своим результатам, составило для двух чистых равномерных оборотов  $17^{\circ}5$ , а для двух неправильных неопределенных оборотов то же самое число  $17^{\circ}5$ .

3203. После этого было исследовано отношение полученного тока к массе провода, — отношение, которое было рассмотрено нами раньше с помощью петель и небольших магнитов (3133).<sup>1</sup> Для этой цели было изготовлено два других одипаковых квадрата, каждый со стороной в один фут, но медные проволоки, из которых они были сделаны, имели соответственно 0.1 и 0.2 дюйма в диаметре; таким образом, вместе с прежним квадратом они составили серию квадратов, у которых размер, форма и площадь были одинаковы, но массы движущихся проводов возрастали в отношении единицы к четырем и шестнадцати. Когда я делал опыты с прямоугольником из проволоки в 0.1 дюйма, то шесть оборотов вправо дали средний результат в  $41^{\circ}75$ , а шесть оборотов влево дали  $46^{\circ}25$ . Среднее из этих двух чисел составляет  $44^{\circ}$ , а последнее, будучи разделено на шесть, дает  $7^{\circ}33$ , как среднее отклонение при одном обороте. Затем три оборота вправо дали  $20^{\circ}12$ , а три оборота в обратном направлении —  $23^{\circ}1$ . Среднее из этих чисел составляет  $21^{\circ}61$ , а отклонение при одном обороте —  $7^{\circ}20$ . Последнее очень близко к прежнему результату, полученному для шести оборотов, т. е. к  $7^{\circ}33$ , и гораздо больше того результата, который был получен с прямоугольником, устроенным из проволоки

<sup>1</sup> См. соответствующее исследование Кристи (Christie). *Philosophical Transactions*, 1833, стр. 120.

диаметром в 0.05 дюйма, а именно —  $2^{\circ}61$ . Тем не менее он не находится с ним в отношении 4 : 1; но этого и нельзя было ожидать, поскольку масса основного проводника осталась одной и той же (3137). Если сравнить эти результаты с теми, которые были получены с одинаковыми проволоками, взятыми в виде петель, то они оказываются чрезвычайно близкими друг к другу. В указанном случае результаты находились в отношении  $16^{\circ}$  к  $44^{\circ}4$  (3136), что согласуется с отношением  $2^{\circ}61$  к  $7^{\circ}26$ , полученным в рассматриваемом теперь случае; действительно, оно равно отношению  $2^{\circ}61$  к  $7^{\circ}242$ , т. е. почти тождественно с нынешним.

3204. Из приведенного выше можно усмотреть, что средние, полученные из вращения право и влево, значительно отличаются друг от друга, а именно до  $4^{\circ}$ — $5^{\circ}$ . Это не указывает на наличие какой-либо ошибки в примененном принципе, а является просто следствием того обстоятельства, что когда магнитные стрелки в гальванометре находились в покое, то они стояли несколько смещенными в сторону от нуля (3182). Я не хотел тотчас же настраивать прибор, поскольку ожидал спонтанных изменений нулевого положения; и я предпочитаю дать здесь числа в том виде, как они получились при исследовании, и не прибегать к помощи пера и чернил для вношения каких-либо поправок в данные наблюдений.

3205. Третий квадрат из провода толщиной в 0.2 дюйма давал столь большие отбросы, что я пользовался лишь небольшим количеством оборотов. Три оборота вправо дали среднее  $25^{\circ}58$ ; три оборота в противоположном направлении дали  $28^{\circ}5$ . Среднее составляет  $27^{\circ}04$ , а величина на один оборот равна  $9^{\circ}01$ . Далее, два оборота вправо дали  $17^{\circ}5$ , два оборота в противоположном направлении дали  $18^{\circ}$ . Среднее составляет  $17.75$ , а величина, рассчитанная на один оборот, равна  $8^{\circ}87$ . Средняя из двух приведенных выше окончательных результатов равна  $8^{\circ}94$ , и она снова указывает на увеличение действия по сравнению с тем, которое давал предшествующий прямоугольник из проволоки, диаметр которой составлял лишь

половину диаметра данного прямоугольника. Такой же толщины проволока была раньше взята для петли (3136), и если мы сравним полученные тогда результаты с нынешними, то замечательно, до какой степени они близко сходятся, обстоятельство, которое внушает большое доверие к принципам и практике проверки в том и в другом виде. Когда провода, массы которых находились между собою в отношении 1 к 4 и 16, были использованы в виде петли, то токи, которые отмечал гальванометр, находились между собою в отношении 1.00 к 2.77 и 3.58, а когда из них были сделаны прямоугольники, которые были подвергнуты действию магнитной силы Земли, то они оказались в отношении 1.00 к 2.78 и 3.45.<sup>1</sup>

3206. Я устроил квадрат со стороной в 12 дюймов из четырех витков медной проволоки диаметром в 0.05 дюйма; следовательно, длина всей проволоки, из которой был устроен этот квадрат, составляла 16 футов. Такой прямоугольник при своем вращении пересекает такое же количество магнитных линий, как и предшествующий прямоугольник, устроенный из проволоки диаметром в 0.1 дюйма (3203). Он имеет также одинаковую с ним массу проволоки, пересекающей магнитные линии, но рассматриваемый как проводник первый провод, если принять во внимание его диаметр, обладает лишь одной четвертой частью проводимости второго; к тому же его сопро-

$$^1 \sin \frac{27^\circ 04'}{2} = \sin 13^\circ 52' = \sin 13^\circ 31.2' = 0.2337848. \frac{0.2337848}{2} = 0.0779283.$$

Квадрат со стороной 12 дюймов из проволоки диаметром 0.05 дюйма дал при шести оборотах (3196, 3197) 0.0227057 как величину  $\sin \frac{1}{2} A$  для одного оборота. Подобный же квадрат из проволоки диаметром 0.10 дюйма дал при пяти оборотах (3021)  $\frac{0.3225714}{2} = 0.06451428$  как величину  $\sin \frac{1}{2} A$  для одного оборота. Подобный же квадрат из проволоки диаметром 0.20 дюйма дал 0.0779283, как величину  $\sin \frac{1}{2} A$  для одного оборота.

$$\frac{0.06451428}{0.0227057} = 2.841; \frac{0.0779283}{0.0227057} = 3.432.$$

тивление увеличивается еще благодаря тому, что длина его вчетверо больше. Шесть оборотов вправо дали средний результат в  $20^{\circ}6$ , а шесть оборотов в противоположном направлении —  $19^{\circ}7$ . Среднее из этих чисел составляет  $20^{\circ}15$ ; следовательно, на один оборот приходится  $3^{\circ}36$ . При другом прямоугольнике, имевшем ту же площадь и массу, но состоявшем всего из одной проволоки (3203), результат на один оборот составил  $7^{\circ}26$ ; таким образом, он несколько более чем вдвое превысил полученный выше результат. Отсюда следует, что при работе со столь превосходно проводящим гальванометром, как описанный выше (3123, 3178), движущийся провод лучше иметь в виде одной толстой проволоки, а не в виде многих витков тонкой проволоки. Но если при всех возможных изменениях пользоваться одним и тем же проводом и одной и той же площадью, то, конечно, два или большее количество витков лучше, чем один виток.

3207. Можно было, однако, ожидать, что прямоугольник из тонкой проволоки даст ток большего *напряжения*, хотя и меньший по количеству, чем прямоугольник из толстой проволоки. Для того чтобы доказать это на опыте, я соединил оба прямоугольника последовательно с гальванометром Румкорфа (3086), в котором проволока имела лишь  $1/135$  часть дюйма в диаметре. Прямоугольник, состоявший из одного витка толстой проволоки, дал теперь лишь отклонение в  $1^{\circ}66$  при двенадцати оборотах, или  $0^{\circ}138$  на один оборот, между тем как другой прямоугольник, состоявший из четырех витков тонкой проволоки, дал при двенадцати оборотах  $7^{\circ}33$ , или  $0^{\circ}61$  на один оборот. Но стрелки двух гальванометров не очень сильно отличались друг от друга по весу и в других отношениях, так что, не претендуя на точное сравнение, мы можем все-таки отметить в обоих случаях огромное снижение, вызванное сопротивлением тонкой проволоки в гальванометре Румкорфа: для толстой проволоки с  $7^{\circ}26$  до  $0^{\circ}138$ , а для тонкой с  $3^{\circ}36$  до  $0^{\circ}610$ . Но все-таки прямоугольник из тонкой проволоки потерял относительно меньше в своей силе, чем другой прямо-

угольник, и при данном гальванометре он более чем в четыре раза превышает по своему действию прямоугольник из толстой проволоки. Из действия толстой проволоки проходит через гальванометр с тонкими проводами менее пятидесятой его части, все остальное задерживается; из действия тонкой проволоки преодолевает сопротивление, оказываемое гальванометром, в десять с лишним раз большая доля действия, а именно от одной пятой до одной четвертой его части (благодаря большому напряжению тока). Количество электричества, которое на самом деле проходит через гальванометр с тонкими проводами, конечно, гораздо меньше, чем соответственно указанному выше отношению. Катушка из толстой проволоки образует самое большое четыре витка вокруг магнитных стрелок, между тем как катушка из тонких проволок состоит, вероятно, из четырехсот или еще большего количества витков. Таким образом, электричество, которое на самом деле проходит здесь в виде тока, не составляет, вероятно, и сотой доли того количества, какое потребовалось бы, чтобы получить равное отклонение в гальванометре с толстыми проводами. Но это обстоятельство не колеблет высказанных выше соображений об относительном напряжении магнитоэлектрических токов от двух прямоугольников.

3208. Затем был устроен большой квадрат из медной проволоки диаметром в 0.2 дюйма. Сторона этого квадрата была равна 36 дюймам, и, следовательно, квадрат состоял из 12 футов проволоки и заключал в себе площадь в девять квадратных футов. Он был присоединен к коммутатору с помощью приспособлений, которые, правда, были достаточны для настоящей цели, но не допускали точной установки. Он оказывал прекрасное действие на гальванометр с толстым проводом (3178): один оборот вызывал отброс в  $80^\circ$  и больше, а при постоянном его вращении стрелки гальванометра получали постоянное отклонение в  $40^\circ$  или  $50^\circ$ . Было интересно наблюдать, таким образом, когда этот прямоугольник начинал свое движение из горизонтальной плоскости, интенсивность тока увели-

чивалась, а затем снова убывала, причем стрелки показывали, что в период первых  $10^\circ$  или  $20^\circ$  вращения на них действовала лишь очень малая сила, но когда угол поворота подходил к  $90^\circ$  и был недалек от него, то сила становилась большой. Тогда провода пересекали силовые линии почти под прямым углом и потому пересекали максимальное их количество в данный промежуток времени, при той же скорости. Было также интересно наблюдать, пользуясь теми же показаниями, два главных импульса (3192), сообщаемых при одном обороте прямоугольника. Так как последний велик и массивен по сравнению с прежними прямоугольниками, то при нем требовалось больше времени для оборота, чем раньше, вследствие чего значение *времени* или *скорости* стало более заметным. Один оборот в секунду — это было все, что я мог хорошо выполнить. Скорость, несколько меньшую этой, было легко осуществить, и она оказалась подходящей и достаточно большой. Она давала при одном обороте почти  $80^\circ$ , между тем как вращение с половиной или третью этой скорости или с еще меньшей скоростью давало лишь  $60^\circ$ ,  $50^\circ$  или даже еще меньшую величину отклонения.

3209. Затем были произведены измерительные наблюдения с одним оборотом; он производился с такой скоростью, какую можно было легко осуществить. Среднее из пятнадцати наблюдений при вращении вправо, оказавшихся очень близкими друг к другу, составило  $78^\circ 846$ ; среднее из семнадцати аналогичных наблюдений при вращении влево составило  $78^\circ 382$ , и среднее из этих двух результатов, т. е.  $78^\circ 614$ , является, полагаю, хорошим выражением для действия этого прямоугольника. Измеривши после получения этого результата стороны прямоугольника, я нашел, что в направлении, поперечном к частям проволоки, пересекающим силовые линии, величина его была несколько меньше 36 дюймов. По исправлении этой погрешности я вновь произвел наблюдения и получил в результате  $81^\circ 44$ . Я думаю, что разность 2.83 является действительным результатом изменения и увеличения площади, которая теперь

точнее приблизилась к 9 квадратным футам; вместе с тем она, по моему, свидетельствует о чувствительности и надежности прибора.

3210. Так как два импульса, сообщаемые магнитным стрелкам при одном обороте (3208), в данном случае заметно отделены друг от друга по времени и так как стрелка очевидно и необходимо оставляла первоначальное свое положение перед тем, как ей сообщался второй импульс, то второй импульс не может быть столь действенным, как первый. Поэтому я произвел наблюдения, делая половину оборота, и получил как средний результат для этого действия  $41^{\circ}37'$ . Это число относится, очевидно, к первому из импульсов одного оборота, и если мы вычтем его из  $81^{\circ}44'$ , получится  $40^{\circ}07'$ , что дает значение второго импульса при изменившемся положении стрелки. Разность между двумя импульсами во время одного оборота, а именно между  $41^{\circ}37'$  и  $40^{\circ}07'$ , находится в прекрасном согласии с теми результатами, которых следовало ожидать.

3211. Квадрат, которым мы пользовались раньше (3205) и который был устроен из той же медной проволоки толщиной в 0.2 дюйма, имеет площадь в один квадратный фут, так что там силовые линии, на которые действует движущийся провод или которые действуют на последний, составляют одну девятую часть тех силовых линий, которые имеются в рассматриваемом теперь случае. Тогда результат составил  $8^{\circ}94'$  на один оборот. Если для сравнения этих случаев мы возьмем девятую часть от  $81^{\circ}44'$ , то получим  $9^{\circ}04'$  — число, столь близкое к первому, что мы можем считать результаты, полученные с двумя прямоугольниками, тождественными; одновременно должно признать правильность положения, что возбуждаемый электрический ток пропорционален количеству пересекаемых силовых линий. Девятая часть результата, полученного с большим квадратом ( $78^{\circ}614'$ ) до того, как его площадь была исправлена, составляет  $8^{\circ}734'$ . Таким образом, одно число больше, а другое меньше того числа, которое было получено с 12-дюймовым прямоугольником. Так как последний был прилажен не осо-

бенно тщательно и ни одно приспособление не было еще устроено с предельной точностью, то у меня имеется мало сомнений в том, что с точно приложенными прямоугольниками результаты оказались бы строго пропорциональными площадям.<sup>1</sup>

3212. Движущийся провод может быть устроен не в виде прямоугольника, а в виде кольца; этим достигается то преимущество, что при данной длине провода получается максимум площади, и, следовательно, при однородном проводе сопротивление индукционному току, если иметь в виду его проводимость, оказывается наименьшим. Небольшие кольца с одним или несколькими витками окажутся, вероятно, очень ценными для исследования небольших или локальных магнитов при различных обстоятельствах. Одно кольцо с диаметром около 1.5 дюйма, состоявшее из десяти витков медной проволоки длиной в 49 дюймов и толщиной в 0.032 дюйма, под влиянием земного магнетизма обнаруживало лишь малое действие; но когда его приблизили к подковообразному магниту, оно стало давать показания при любом изменении расстояния или положения. Влиянию земного магнетизма было подвергнуто, как и раньше, отдельное кольцо с диаметром в 4 дюйма, устроенное из витка медной проволоки толщиной в 0.2 дюйма. Оно дало в среднем результате для шести оборотов, многократно повторенных,

<sup>1</sup> Прямоугольник с площадью в 9 квадратных футов дал 81°44';  $\sin \frac{81^\circ 44'}{2} = \sin 40^\circ 72' = \sin 40^\circ 43' 2'' = 0.6523630$ . Если взять 41°37' для половины оборота для  $\frac{1}{2} A$  (3210), то  $\sin 41^\circ 37' = \sin 41^\circ 22' 2'' = 0.6609190$ , что после деления на девять дает 0.073435 в качестве силы на квадратный фут. Прямоугольник в 1 квадратный фут на такой же проволоке (3205) дал 0.07714 или 0.07793 в качестве силы одного оборота. Первое из этих чисел на 0.00370 больше  $\frac{1}{9}$  части числа, являющегося мерой действия большого квадрата. Разность составляет около  $\frac{1}{29}$  от 0.07714, т. е. всей силы одного оборота.

5°999, т. е. 0°999 на один оборот. Для двенадцати оборотов оно дало в среднем 12°375 или 1°031 на один оборот.<sup>1</sup> Среднее из этих двух результатов, полученных при столь различных количествах оборотов, составляет 1°. Было устроено другое кольцо, состоявшее из 26 витков медной проволоки диаметром 0.04 дюйма и имевшее средний диаметр 3.6 или 3.7 дюймов. Общая длина всей проволоки составляла 300 дюймов. Таким образом, массы металла в обоих кольцах были почти одинаковы, но в последнем кольце масса каждой отдельной проволоки составляла лишь 1/25 часть массы первого кольца. Последнее кольцо дало при двенадцати оборотах среднее в 6°25 или 0°52 на один оборот. Таким образом, при земном магнетизме и при гальванометре с толстым проводом оно дало чуть больше половины того результата, который дало кольцо с одним витком толстой проволоки. На основании прежних соображений (3206) мы знаем, что если бы из 300 дюймов проволоки было устроено одно кольцо, то оно дало бы гораздо большее действие, чем рассматриваемое здесь.

3213. Пользуясь принципом движущегося провода в форме вращающегося прямоугольника, мы сильно облегчаем себе исследование проводимости и результатов, получающихся благодаря различию природы *вещества* или диаметра, т. е. *массы* или *длины*; а сопротивление, оказываемое току теми частями прямоугольника, которые, двигаясь не поперек, а параллельно силовым линиям (3071), не возбуждают тока, а составляют лишь просто часть проводников, может быть в очень высокой мере устранено, если эти части сделать массивными. Их можно устраивать передвижными по оси коммутатора, так что их можно будет приспособлять для различных длин проволок,

$$^1 \sin \frac{5^{\circ}999}{2} = \sin 2^{\circ}9995 = \sin 2^{\circ}59'85'' = 0.0522925;$$

$$\sin \frac{12^{\circ}375}{2} = \sin 6^{\circ}1875 = \sin 6^{\circ}11'25'' = 0.1077825; \quad \frac{0.1077825}{2} = 0.0538912.$$

и тогда коммутатор может на самом деле стать в значительной степени прибором общего пользования.

3214. Когда строишь предположение о дальнейшем применении принципа движущегося провода, представляется вполне вероятным, что если повысить чувствительность и качество изготовления прибора, если увеличить его скорость, обеспечить постоянство движения в течение некоторого времени в одном направлении и возможность изменения затем направления вращения на противоположное, с соответствующим изменением направления отброса и т. д., то его можно будет в дальнейшем с успехом применить для исследования магнитной силы Земли в различных широтах и местностях. Для того чтобы получать максимальное действие, ось вращения следует устанавливать перпендикулярно к силовым линиям, т. е. к направлению наклона. Можно было бы даже определять *направление* силовых линий или наклона, если устроить так, чтобы ось вращения могла менять свое положение около линии наклона, и затем устанавливать ее в двух направлениях таким образом, чтобы не получалось никакого действия на гальванометр, и тогда отмечать положение оси. Для этого потребовался бы двойной коммутатор, соответственно двум линиям установки, но это — прибор весьма простой конструкции.

### РАЗДЕЛ 36

#### О величине и общем распределении сил магнита при соединении его с другими магнитами

3215. Раньше чем идти дальше в экспериментальном исследовании с помощью движущегося провода распределения магнитных силовых линий магнита, а также физической природы этой силы и возможного способа ее действия на расстоянии, оказалось крайне необходимым выяснить, какое изменение претерпевает, если вообще это случается, величина силы совершенного магнита, когда он подвергается влиянию других маг-

нитов в благоприятных или неблагоприятных положениях, и как эти силы сочетаются и располагаются; эти вопросы возникают как в общем смысле, так в особенности в связи с тем принципом, который ранее был высказан и, как я думаю, доказан, а именно, что эта сила при указанных выше различных условиях остается всегда постоянной. Я надеюсь, что представление магнитной силы с помощью силовых линий (3074) и применение движущегося провода, как средства для испытания этой силы (3076), окажет большую помощь при этом исследовании.

3216. Для данной цели обычный магнит является слишком неправильным и несовершенным источником силы. Будучи намагничен до определенной степени, он склонен под влиянием незначительных обстоятельств испытывать изменение своей силы в сторону ее уменьшения или увеличения, причем это изменение происходит таким образом, что его можно в течение некоторого времени признать постоянным, но, будучи помещен в неблагоприятном или благоприятном положении по отношению к другим магнитам, он зачастую испытывает значительное временное увеличение или уменьшение своей силы во вне; это изменение прекращается, как только его удаляют из соседства влияющего на него магнита. Эти изменения оказывают соответствующее влияние на движущийся провод и делают всякий магнит, подвергающийся их воздействию, непригодным для исследования, связанного с вопросом о постоянстве силы магнита. Таким образом, для данной цели требуются неизменяющиеся магниты, а их, как это хорошо известно, можно лучше всего получить, если подобрать для стержней хорошую сталь и затем возможно сильнее их закалить. Поэтому я достал несколько пластин из тонкой стали длиной в двенадцать дюймов и шириною в дюйм и, закалив их как я только мог это сделать, намагнитил их очень тщательно и правильно с помощью двух сильных стальных стержневых магнитов; затем я встряхивал их вместе в течение короткого времени в различных и взаимно противоположных направ-

лениях и затем с помощью железных опилок исследовал направление сил. Этим путем в нескольких пластинках были открыты небольшие трещины и неправильности строения; но все же я отобрал для дальнейших опытов две, в которых распределение сил оказалось весьма правильным; я буду различать их, как испытательные магниты *D* и *E*.

3217. Эти два магнита были исследованы с помощью движущейся петли тем же самым способом, какой был описан выше (3133), т. е. петлю перемещали мимо одного из полюсов, наблюдали отброс, убрали петлю, снова наблюдали отброс и выводили среднее из многих показаний. Этот процесс выполнялся то около одного полюса, то около другого. Петля содержала в себе 7.25 дюймов медной проволоки диаметром 0.1 дюйма; я пользовался ею, конечно, при всех последующих сравнительных опытах. Расстояние петли и магнитов от гальванометра составляло 9 футов. При одном прохождении петли мимо полюса туда или назад, т. е. при однократном пересечении силовых линий магнита *D*, отклонение гальванометра составило  $8^{\circ}36$ . При однократном пересечении силовых линий другого магнита *E* отклонение составило  $8^{\circ}78$ . После этого оба магнита были сложены вместе одноименными полюсами; затем производились с ними опыты, как с одним магнитом. Их соединенная сила составила  $16^{\circ}3$ , оказавшись лишь на  $0^{\circ}84$  меньше суммы сил этих двух магнитов, когда их измеряли в отдельности. Это показывает, что составные магниты взаимно влияют друг на друга и в данном положении друг друга несколько ослабляют; но это также показывает, насколько мало в данном случае действие по сравнению с обыкновенными магнитами (3222).

3218. После этого составной магнит *DE* (3217) был подвергнут влиянию другого магнита на близком расстоянии то при неблагоприятных, то при благоприятных условиях; с помощью петли он испытывался с точки зрения суммы его силы (не с точки зрения направления) при данных обстоятельствах. Для этой цели он устанавливался неподвижно, и к нему приближался другой магнит *A*, временами — до соприкосновения;

соответствующие положения магнитов показаны на рис. 251. При этом в каждом случае петля проводилась около  $DE$  многократно, чтобы можно было получить точное среднее значение его силы. Влияющий магнит  $A$  был гораздо сильнее двух рассматриваемых магнитов; о его силе свидетельствовало отклонение при отбросе, составившее  $25^{\circ}74$ .

3219. Когда относительное положение магнитов было таково, как это показано в 1, то сила  $DE$  составляла  $16^{\circ}37$ ; когда оно было таким, как в 2, сила составляла  $16^{\circ}4$ ; когда

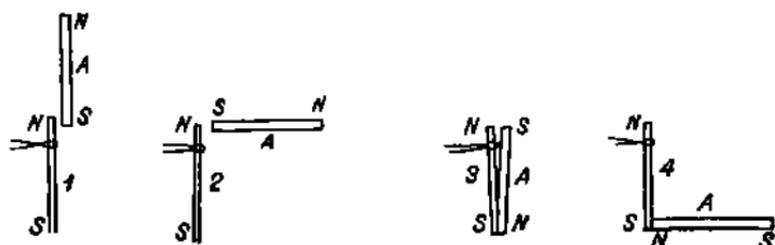


Рис. 251.

таким, как в 3, сила составляла  $18^{\circ}75$ , а когда таким, как в 4, сила составляла  $17^{\circ}18$ . Все эти положения таковы, что в них сила магнита  $DE$  должна благодаря индукции увеличиться, и она действительно увеличивается по сравнению с первоначальным значением, которое составляло  $16^{\circ}3$ . Но можно сразу увидеть, как мало она увеличивается в первом и втором положениях. И даже в третьем положении, при котором создаются наиболее благоприятные условия, она увеличивается лишь на  $2^{\circ}45$ ; в четвертом же положении она снова понижается.

3220. После этого влияющий магнит  $A$  был приведен в те же положения, но повернут концами, так что он должен был оказывать неблагоприятное, т. е. ослабляющее влияние. Тогда с магнитом  $DE$  были получены следующие результаты:

Положение 1	$15^{\circ}37$
Положение 2	$15.68$
Положение 3	$15.37$
Положение 4	$16.06$ .

Все эти значения несколько ниже первоначальной силы  $DE$ , т. е.  $16^{\circ}3$ , как это и должно быть, и они показывают, как незначительно влияние, которое испытывает этот твердый стержень.

3221. Стержень из мягкого железа, помещенный вместо магнита  $A$  в первом, втором и третьем положениях, повысил силу магнита  $DE$  соответственно до следующих значений:  $16^{\circ}24$ ,  $16^{\circ}43$  и  $18^{\circ}$ .

3222. Когда вместо твердого магнита  $DE$  и пользовался обыкновенным стержневым магнитом, происходили большие изменения. Так, например, вместо твердого магнита я взял магнит  $B$ , соответствовавший магниту  $A$  по своему размеру и общим свойствам. Магнит  $B$ , когда он один, обладает силой в  $14^{\circ}83$ , но когда он был взят вместе с  $A$  в неблагоприятном положении 3 (3218), то его сила уменьшилась до  $7^{\circ}87$ , т. е. почти наполовину. Это ослабление вызывалось главным образом внутренним принуждением и не было постоянным нарушением состояния магнита  $B$ , ибо когда  $A$  был удален, то сила  $B$  вновь повысилась до  $13.06$ . Когда  $B$  был приложен на несколько мгновений к  $A$  в благоприятном положении и затем был убран, то оказалось, что постоянное внешнее действие последнего повысилось до  $15^{\circ}25$ .

3223. Был намагничен очень твердый стальной стержень длиной в 6 дюймов, шириной в 0.5 дюйма и толщиной в 0.1 дюйма, переданный мне д-ром Скоресби (Scogesby); пользуясь петлей, я установил, что на моем гальванометре (3189) он дает  $6^{\circ}88$ . Он был установлен в положении 2 против составного стержневого магнита, подобного  $DE$ , имевшего силу в  $11^{\circ}73$ , т. е. почти вдвое большую, чем его собственная, но все равно, как его ставили: в неблагоприятном или в благоприятном положении, его сила заметно не изменялась. Когда он подвергался подобным же образом влиянию 12-дюймового стержневого магнита, обладавшего силой в  $40^{\circ}21$ , то его сила повышалась до  $7^{\circ}53$  или понижалась до  $5^{\circ}87$ , но в данном случае влияющий магнит обладал силой, которая превышала его собственную силу почти в шесть раз.

3224. Этот метод испытания очень хорошо выявляет изменчивость магнитов из мягкой стали как с точки зрения *абсолютной* величины их возбуждения или заряда, так и с точки зрения распределения их силы вне магнита и внутри него; изменчивость эта проявляется в тех случаях, когда степень возбуждения магнитов можно в данный момент считать постоянной; полученные результаты находятся в хорошем согласии с нашими прежними сведениями на этот счет. Равным образом ясно, что для точного и детального изучения распределения и особенностей магнитной силы требуются твердые и неизменяющиеся магниты. Обыкновенный мягкий стержневой магнит можно рассматривать как соединение твердых и мягких частей, которые распределены в нем совершенно неопределенным образом; при этом некоторые части воспринимают гораздо больший заряд, чем другие, и в меньшей степени изменяются под влиянием внешних магнитов; но в то же время благодаря наличию в магните других частей, действующих как якорь или субмагнит, может казаться, что указанные выше части подвергаются гораздо большим изменениям, чем это происходит в действительности. Отсюда — ценность тех твердых и относительно неизменяющихся магнитов, которые описывает Скоресби.

3225. На основании вышеизложенных и им подобных данных мне кажется, что с этими совершенными и неизменяемыми магнитами можно, пользуясь выражением *силовая линия* исключительно для представления силы, как она была определена выше (3071, 3072), прийти к следующим полезным выводам.

3226. Силовые линии различных магнитов во взаимно благоприятных для них положениях сливаются.

3227. При этом слиянии не происходит никакого увеличения общей силы линий; сечение между двумя присоединенными друг к другу полюсами дает ту же сумму силы, как и сечение линий неизменяющегося магнита, взятого в отдельности (3217). Я полагаю, что при указанных обстоятельствах нет никакого сомнения в том, что внешние и внутренние силы одного и

того же магнита находятся в одинаковом отношении друг к другу и взаимно эквивалентны, как это было установлено в прежней части настоящих «Исследований» (3117), и что, следовательно, экваториальное сечение, представляющее сумму сил или силовых линий, проходящих через магнит, остается точно так же неизменным (3232).

3228. В этом случае имеется полная аналогия с двумя или большим количеством гальванических батарей, соединенных друг с другом концами и образующих единую цепь. Возможно, что у магнитов будет открыто некоторое явление, которое будет соответствовать напряжению в случае батарей.

3229. Увеличение силы, воздействующей на магнитную стрелку или на кусок мягкого железа, помещенные между двумя поставленными друг против друга и благоприятствующими друг другу полюсами, вызывается концентрацией на них линий, которые ранее были рассеяны, а не прибавлением силы, представляемой силовыми линиями одного полюса, к силам силовых линий другого полюса. В этом случае сила, представляемая всеми силовыми линиями, не больше, чем раньше, и силовая линия не становится более мощной, когда она сливается с силовой линией другого магнита. В этом отношении оказывается точно так же полная аналогия с гальванической батареей.

3230. Силовая линия, рассматриваемая как замкнутый круг (3117), проходит на своем пути через *оба* магнита, которые в данном случае расположены так, что действуют друг на друга в благоприятном смысле, т. е. линии их совпадают и сливаются друг с другом. Слияние не является прибавлением силы одной силовой линии к силе другой, а объединением этих линий в одну общую цепь.

3231. Силовая линия может пройти через множество магнитов прежде, чем ее круг замкнется, и это множество магнитов представляет собою случай, который совпадает со случаем единственного магнита. Если тонкий стержневой магнит длиной в 12 дюймов подвергнуть испытанию с помощью опилок

(3235), то он даст общеизвестную прекрасную систему сил, совершенно простую по своему расположению. Если его разбить пополам, но не отделять частей друг от друга, то при испытании тотчас же выявится, каким образом вследствие уничтожения непрерывности нарушается передача силы на экваторе, и многие из тех линий, которые раньше проходили внутри, теперь появятся снаружи (см. табл. V, 6). Из этих линий, ставших таким образом внешними, некоторые возвращаются к полюсу, ближайшему к новому месту, откуда линии выходят в воздух; и таким образом, они проходят свой круг только через одну из половин магнита; другие же линии вступают по более или менее искривленным путям во вторую половину магнита, сохраняя вообще то направление или полярность, какие они имели, когда находились внутри магнита; таким образом, эти линии образуют свой круг через обе половины магнита. Постепенно отдаляя друг от друга эти половины магнита и продолжая проверять путь силовых линий, можно прекрасно видеть, как все больше и больше линий, исходящих из вновь образовавшихся концов магнитов, возвращается к первоначальным концам стержня (табл. V, 7), как доля линий, совершающих общий путь через обе половины магнита, уменьшается, и в конце концов половины магнита совершенно уходят из сферы взаимного влияния и становятся тогда двумя отдельными и независимыми магнитами. Тот же процесс можно повторять до тех пор, пока вместо одного магнита не получится несколько магнитов.

3232. Во все это время количество силовых линий остается неизменным, если куски стержня полностью сохраняют магнитное состояние, т. е. если сумма силовых линий на экваторе *каждого* из новых магнитов равна сумме силовых линий на экваторе первоначального неразбитого на части стержня. Я взял стальной стержень длиной в 12 дюймов, шириною в 1 дюйм и толщиной в 0.05 дюйма, сильно закалил и намагнитил его до насыщения, пользуясь сердечниками из мягкого

железа и катушкой. Его сила составила  $6^{\circ}9$ . Я разбил его на две части близко к середине и нашел, что сила этих частей составляет соответственно  $5^{\circ}94$  и  $5^{\circ}89$ . Это указывает на падение, которое, однако, не больше, чем можно было ожидать, принимая во внимание насыщенное состояние первоначального магнита. Эти половины я приложил друг к другу боковыми сторонами, одинаковыми полюсами вместе, так что образовался составной магнит; тогда общая их сила была равна  $11^{\circ}06$ . Хотя это число указывает на некоторое взаимное ослабляющее влияние, однако оно не на много ниже суммы их сил, которые раньше были определены в отдельности. Все это находится в совершенном согласии с гальванической батареей, где играют роль линии динамической электрической силы. Общеизвестно, что если батарею из 20 пар пластин мы разделим на две батареи по 10 пар, или на 4 батареи по 5 пар, то каждая из меньших батарей сможет дать столько же динамического электричества, как и первоначальная батарея, если только ходу линий, т. е. пути тока, не будет противопоставлено какое-нибудь заметное сопротивление.

3233. Когда пластинки расположены в неблагоприятном друг другу положении, то подобно тому, как в предыдущем случае ни одна из них не могла увеличить силы другой пластинки, так и теперь каждая из них сохраняет свою силу, и магнитные силовые линии в точности представляют это их состояние. Такое же отношение устанавливается между ними, когда один конец одной из них соприкасается с одноименным концом другой; точно так же ведут они себя, когда они положены рядом с обращенными в одну и ту же сторону одинаковыми полюсами. В этом последнем случае оба магнита, действуя как один составной магнит, дают систему силовых линий, которая равна сумме этих двух магнитов, взятых в отдельности (3232), за вычетом той доли, которая, как в несовершенных магнитах, либо направляется внутрь более мягкими частями, либо совершенно перестает возбуждаться.

## РАЗДЕЛ 37

Изображение магнитных силовых линий с помощью  
железных опилок

3234. Если бы экспериментатор, который желает рассмотреть магнитную силу представленной с помощью магнитных силовых линий, отказался от пользования железными опилками, это было бы произвольным и бесполезным отказом. С помощью опилок он может сразу сделать очевидным множество состояний этой силы даже в сложных случаях; он может проследить изменяющееся направление силовых линий и определить относительную их полярность; он может заметить, в каком направлении эта сила увеличивается или уменьшается, а в сложных системах может определить нейтральные точки или места, где нет ни полярности, ни силы, если даже эти места находятся среди сильных магнитов. С их помощью можно сразу увидеть вероятные результаты и получить много ценных указаний для будущих руководящих опытов.

3235. Нет ничего легче, чем положить на стол магнит, поместить сверху плоский кусок бумаги и затем сыпать на бумагу железные опилки и наблюдать те формы, которые они принимают. Тем не менее для того, чтобы получить наилучшие и наиболее общепользные результаты, могут оказаться желательными некоторые отдельные указания. Стол, на который кладут магнит, должен быть совершенно горизонтальным и устойчивым. Следует принять меры, пользуясь тонкими досками или планками или какими-либо иными средствами, чтобы заполнить пространство вокруг магнита так, чтобы бумага, лежащая на магните, находилась в горизонтальном положении. Бумага должна быть без всяких складок и сгибов и должна быть совершенно плоской, чтобы опилки имели возможность занять то положение, которое магнит стремится им сообщить. Я нашел, что для этой цели пригодна хорошая патронная бумага или тонкая чертежная бумага. Она не должна быть

слишком гладкой для обычных случаев, иначе опилки, будучи слегка приведены в движение, слишком легко устремляются по направлению к магниту. Я нашел, что при очень слабых или далеко отстоящих магнитах иногда оказывается полезной посеребренная бумага. Опилки должны быть чистыми, т. е. свободными от грязи и окиси: последние образуют линии, по не дают хороших изображений. Опилки следует разбрасывать по бумаге с помощью более или менее тонкого сита; количество их является делом вкуса. Следует, однако, помнить, что опилки в известной мере нарушают состояние того магнитного поля, в котором они находятся, и что в случае небольших магнитов, например — магнитных стрелок, следует избегать большого количества опилок. Крупные и мелкие опилки одинаково полезны в тех случаях, когда задаются целью сохранить образовавшиеся рисунки. Для распределения последних лучше пользоваться тонким ситом и обыкновенными опилками, чем сначала сортировать опилки: при этом получается более хорошее распределение их на бумаге. После того как опилки равномерно посыпаны на бумагу, следует очень легко постучать по ней кусочком дерева, например, ручкой для письма. Ударять следует в тех местах, где частицы недостаточно хорошо распределились. Следует ударять сверху вниз вертикально, а не наклонно, чтобы частицы, получив на время возможность двигаться, не были согнаны со своих мест хотя бы и на мгновение; бумагу следует при этом крепко придерживать за один угол, чтобы она не сдвигалась вправо или влево. Тогда линии образуются сразу, в особенности при мелких опилках.

3236. Полученные этим путем рисунки можно указанным ниже способом закрепить и получить очень ценную запись о распределении сил в каждом данном случае. Загнув два угла бумаги, на которой лежат опилки, можно воспользоваться ими как ручками для того, чтобы поднять бумагу над магнитом и положить ее на ровную доску или на какую-нибудь другую плоскую поверхность. Приготовив раствор одной части гумми в трех или четырех частях воды, следует нанести равномерный

слой этого раствора на кусок патронной бумаги с помощью широкой кисти из верблюжьего волоса так, чтобы бумага стала как следует влажной, но чтобы жидкость на ней не стояла; затем встряхнуть следует ее в воздухе раз-другой, чтобы разбить пузырьки, осторожно положить ее на опилки, затем накрыть десятью или двенадцатью слоями ровной мягкой бумаги; сверх бумаги следует положить доску, а на последнюю положить на тридцать или сорок секунд груз фунтов в 50. Или же — для больших рисунков такой способ будет более подходящим — придерживая листы бумаги, чтобы они не могли скользить друг по другу, следует пройти рукой по всей поверхности бумаги в одном направлении, умеренно и равномерно нажимая на нее. Если после этого снять бумагу, то окажется, что все опилки пристали к ней без какого-либо значительного нарушения формы образовавшихся на ней линий; а после того, как клей засыхает, они держатся на месте очень крепко. Если к водному раствору гумми прибавить небольшое количество раствора красной кровяной соли и небольшую долю виннокаменной кислоты, то бумага принимает желтую окраску, которая не лишена известной красоты. Но, кроме того, под каждой частичкой железа обраауется берлинская лазурь; поэтому, когда опилки намеренно удаляют или же они по какой-нибудь иной причине уходят с места, запись их узора все же сохранится. Если надо сохранить только рисунки синего цвета, то можно обойтись без гумми, одним лишь раствором красной кровяной соли.

3237. Следует иметь в виду, что эти рисунки не указывают внешним своим видом на относительную величину магнитной силы в различных местах, поскольку вид линий зависит в значительной мере от количества опилок и от постукиваяия по листу; но направление и форма линий передаются хорошо, и линии в значительной мере уясняют направление, в котором силы увеличиваются и уменьшаются.

3238. Табл. V, I показывает формы, которые магнитные линии принимают у магнитного бруска. Пользуясь небольшим электро-

магнитом и изменяя силу проходящего через него тока, я не мог заметить, чтобы при изменении силы магнита наблюдалось какое-нибудь изменение формы силовых линий вне его. Табл. V, 2 показывает силовые линии над полюсом, а 3 — силовые линии между двумя разноименными полюсами. Последний рисунок находится в согласии с магнитными кривыми, как они были определены и описаны д-ром Роже (Roget) и другими, исходящими из допущения, что полюсы являются центрами сил. Различие между этими линиями и линиями, принадлежащими непрерывному магниту, которые показаны на рис. 1, вполне очевидно. Таб. V, 4 и 5 показывают линии, создаваемые короткими магнитами. В последнем случае магнит представлял собою стальной диск около одного дюйма в диаметре толщиной в 0.05 дюйма. Рис. 6 показывает результат, получающийся в том случае, когда стержневой магнит разломан пополам, но части друг от друга не отделены. Рис. 7 показывает образование внешних линий у двух новых концов магнита по мере раздвижения его частей (3231). Табл. V, 8, 9 и 10 показывают результаты, которые получаются с двумя половинами магнита или с новыми магнитами в различных их положениях. Табл. V, 11, 12, 13 и 14 показывают результаты, получающиеся с дисковыми магнитами. Рис. 15 показывает состояние системы магнитных сил, когда последняя окружена большей системой сил и направлена противоположно ей. Рис. 16 показывает слияние силовых линий (3226) в том случае, когда магниты расположены таким образом, что их полярности находятся между собою в соответствии.

3239. Табл. V, 17 показывает силовые линии вокруг вертикальной проволоки, по которой проходит электрический ток. Все равно, какова толщина проволоки: большая или малая, это, по-видимому, не вызывает никакого различия в интенсивности силы, если только ток остается одинаковым. Рис. 18 представляет линии вокруг двух одинаковых токов, когда последние находятся под взаимным влиянием. Рис. 19 показывает результат, получающийся в том случае, когда вводится третий ток противоположного направления. Рис. 20 дает пере-

ход к катушке с тремя витками. Рис. 21 показывает направление силовых линий внутри цилиндрической катушки и снаружи у ее концов в плоскости, проходящей через ее ось. Рис. 22 представляет явление, который получается, когда в катушку вводят небольшой сердечник из мягкого железа.

3240. Табл. V, 23 и 24 дают экспериментальную иллюстрацию к тем принципам, которые я принял для объяснения атмосферного магнетизма, как общую причину суточных вариаций и т. д. (2864, 2917). Полушарие из чистого никеля, переданное мне д-ром Перси (Percy), было установлено плоской стороной кверху, и кругом него было устроено широкое кольцо для укрепления на нем бумаги. Бумага лежала на кольце и на никеле, и ее можно было посыпать опилками, которые при этом могли принимать определенное расположение. В той же горизонтальной плоскости на расстоянии около двух дюймов от никелевого полушария находился конец стержневого магнита; таким образом можно было определить формы силовых линий, связанных с этим полюсом, над местом никелевого полушария при различных условиях, а также в случае, когда это полушарие было удалено. Когда никеля не было на месте, силовые линии имели вид, показанный на рис. 23. Когда никель находился на месте, линии имели вид, показанный на рис. 24. Нагревая никель, когда он находился на месте, с помощью спиртовой лампы, можно было повысить его температуру настолько (около  $600^{\circ}$  по Фаренгейту), что он утрачивал свои обычные магнитные свойства, и тогда формы силовых линий, как это показали опилки, получались такими, как если бы никеля не было. Убрав лампу, я имел возможность получить расположение опилок последовательно на ряде кусков бумаги и четыре раза получил результаты, аналогичные рис. 23, и только после этого температура никеля понизилась настолько, что стали получаться силовые линии, соответствующие рис. 24.

3241. Таким образом, с никелем получились результаты, в точности совпадающие с теми, которые я принял для кислорода в атмосфере. Изменение формы силовых линий около

охлаждающегося никеля в этом опыте — это те самые изменения, которые я воображал себе в шаровой модели охлаждающегося воздуха (2865, 2874). И никель и кислород являются парамагнитными телами и изменяются в *одном и том же направлении* при нагревании и охлаждении; а так как область изменений кислорода охватывает температуры выше и ниже обычной (2861), то необходимо *должно* происходить в известной мере отклонение силовых линий, проходящих через атмосферу, анологичное тому отклонению, какое имеет место у нагревающегося и охлаждающегося никеля. Из результатов, полученных с никелем, видно, что силовые линии, проходящие совершенно вне его, по этой именно причине не продолжают идти по неотклоненному пути, а отклоняются в ту и другую сторону вследствие того, что другие линии располагаются внутри никеля; этот результат, независимо от того или иного воззрения на физическое действие магнитной силы, должен быть одинаково верным и в случае кислорода, и в случае никеля, так как магнитная сила имеет вполне определенный характер — независимо от того, как ее себе представлять: с помощью центров силы или с помощью силовых линий.

3242. Соответствует ли величина отклонения в случае атмосферы тем фактам, которые были зарегистрированы наблюдателями, это — вопрос, на который, думаю, можно будет ответить не раньше, чем мы будем знать влияние очень низких температур на магнитную силу атмосферы. В опыте с никелем отклонение в некоторых местах составляет  $30^\circ$  или  $40^\circ$ . В природе этот подлежащий объяснению эффект составляет не более 13 или 14 минут.

*Королевский институт.*

*20 декабря 1861 г.*

**СТАТЬИ**

**ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ**

**ИЗ ROYAL INSTITUTION PROCEEDINGS,**

**PHILOSOPHICAL MAGAZINE И ДР.**



---

## О ЛИНИЯХ МАГНИТНОЙ СИЛЫ<sup>1</sup>

Замечательная система сил, которая обнаруживается в магните и которая видимым образом развивается преимущественно у двух его концов, называемых поэтому магнитными полюсами, в случае каждого отдельного магнита проявляется для нас посредством притягательных или отталкивательных действий этих участков на соответствующие участки другого магнита. Эти действия могут служить для определения направления магнитной силы, а также ее величины на различных расстояниях. Так, если дело идет о притяжении, то его (действие) можно наблюдать или на другом магните, или на куске мягкого железа; закон, которому подчиняется это действие, для расстояний, превышающих некоторое определенное расстояние, гласит, что действие обратно пропорционально квадрату расстояния. Если же расстояние взаимодействующих тел друг от друга мало, то этот закон уже не имеет места ни для поверхности магнитов, ни для какой-либо данной точки внутри них.

Мы предлагаем применять для определения направления, интенсивности и общего количества магнитных сил другой метод, основанный не на том свойстве сил, которым вызывается притяжение или отталкивание, а на некотором другом. Этот метод предлагается не для упразднения прежнего метода, а для использования наряду с ним; он может иметь очень боль-

---

<sup>1</sup> Royal Institution Proceedings, 23 января 1852 г.

шое значение для дальнейшего выяснения природы этой силы, поскольку принцип действия, хотя и отличающийся от прежнего, не менее связан с магнитными свойствами, чем притяжение или отталкивание, не менее строг и ведет к не менее определенным результатам.

Термин *«линия магнитной силы»* имеет одну цель: выразить направление силы в каждом данном месте; он не предопределяет какую-либо физическую идею или представление о том, как именно сила может там действовать; т. е. действует ли она на расстоянии, или посредством колебаний, или воли, или тока, или еще как-нибудь. Линию магнитной силы можно определить как линию, которую описывает весьма малая магнитная стрелка, если она движется в которую-нибудь сторону в направлении своей длины так, что все время остается касательной к линии движения. Или иначе, это такая линия, что если бы стоящая поперек ее проволока двигалась вдоль нее в любом направлении, в ней не было бы стремления к возникновению электрического тока, тогда как при движении во всяком другом направлении такое стремление имело бы место. Направление этих линий около обыкновенных магнитов и (в пространстве) между ними легко может быть определено общеизвестным способом с помощью железных опилок.

Предлагаемый метод выявления и изучения этих силовых линий заключается в том, чтобы собирать и измерять количество электричества, приводимого в движение в движущейся поперек линий проволоке; этот метод по своей сущности и своему действию резко отличается от метода, основанного на применении магнитной стрелки. Чтобы применять новый метод с успехом, необходимы превосходные проводники; и потому провода, идущие от движущейся проволоки к гальванометру, представляли собою медные проволоки в 0.2 дюйма толщиной и настолько короткие, насколько это было возможно. Гальванометр также состоял не из 48 или 50 дюймов проволоки, описанной выше и расположенной в виде двух двойных витков около астатической стрелки. Гальванометр, с которым я ра-

ботал при более тонких исследованиях, состоял всего из 20 дюймов медного стержня, имевшего квадратное сечение, со стороны в 0.2 дюйма. Эти гальванометры показывали действие в 30, 40 и 50 раз сильнее, чем гальванометры, сделанные из тонкой проволоки; так велико количество электричества, получаемое при пересечении линий магнитной силы, хотя интенсивность его весьма низка.

Если наблюдать описанные ранее линии силы при помощи железных опилок, или магнитной стрелки, или еще каким-нибудь образом, то оказывается, что они выходят из одного конца стержневого магнита и, описав кривые различных размеров в окружающем пространстве, возвращаются и заканчиваются в другом конце магнита. Поскольку эти силы имеют правильный характер, очевидно, что если взять кольцо, несколько шире магнита и перемещать его с некоторого расстояния к магниту и затем вдоль него от одного его конца до экватора, то оно пересечет *одна* раз все внешние силовые линии этого магнита. Такие кольца прицеливались к проводникам соответствующей формы, соединенным с гальванометром, и наблюдались отклонения стрелки при одном, двух или нескольких таких перемещениях или пересечениях силовых линий. Оказалось, что если соблюдать все предосторожности и тщательно наблюдать отсчеты на гальванометре, то действие для малых или не слишком больших дуг было пропорционально числу прохождений петли или кольца мимо полюса. Таким образом, можно было не только наблюдать и установить определенное действие в движущейся проволоке, но и сравнить друг с другом два магнита; сравнить друг с другом проволоки различной толщины и из различного материала; можно было изменять величину различных участков, описываемых проволокой при ее перемещении. Если проволоки были одинаковы по длине, диаметру и материалу, то независимо от того, в каком направлении они пересекали силовые линии: прямо или наклонно, вблизи или вдали от полюсов магнита, результат был всегда одинаков.

Сложный стержневой магнит был приспособлен так, что мог вращаться вокруг своей оси; у его середины, или экватора, было приделано широкое круговое кольцо, так что здесь получался вид цилиндра. К этому кольцу на внутренней стороне была прикреплена медная проволока; затем она проходила к середине магнита и далее шла вдоль его оси и выходила на одном конце. Другая проволока прикасалась посредством пружинного контакта к внешней части медного кольца и продолжалась наружу на шесть дюймов; затем она поднималась вверх и, наконец, подходила над верхним полюсом к первой проволоке; здесь она соединялась с цилиндром, изолированным от первой проволоки, но вращающимся вокруг нее. Цилиндр и проходящая сквозь него проволока были соединены с гальванометром, так что контур замыкался; этот контур шел по магниту вниз к его середине, затем наружу у экватора, затем опять обратно снаружи, и хотя он и был все время замкнут, но магнит мог вращаться без внешней части контура: или последняя могла вращаться без магнита, или они оба вращались вместе. Если магнит и внешняя проволока вращались оба вместе, как одно целое, скрепленное своими частями, гальванометр не обнаруживал никакого действия, как бы долго ни продолжалось вращение. Если магнит с внутренней проволокой делал четыре оборота по часовой стрелке, причем внешний проводник оставался в покое, то стрелка гальванометра отклонялась на  $35^\circ$  или  $40^\circ$  в одном направлении; когда магнит оставался в покое, а внешняя проволока делала четыре оборота по часовой стрелке, стрелка гальванометра отклонялась на тот же угол, что и раньше, но *в противоположном направлении*. При более тщательных опытах величина отклонения для четырех оборотов была в точности одинакова, какова бы ни был путь внешней проволоки, проходил ли он вплотную к магнитному полюсу или вдали от него. Таким образом было доказано, что если магнит и проволока вращались в одном и том же направлении, то стремились бы возбуждаться два противоположных электрических тока, в точности равных друг другу;

что внешние токи были обусловлены тем, что наружная проволока пересекала линии магнитной силы, проходящие вне магнита; что где бы ни имело место это пересечение, результат был один и тот же; что внутри магнита имеются соответствующие силовые линии, в точности равные по силе или количеству силовым линиям вне магнита, но идущие в обратном направлении; что фактически каждая линия магнитной силы представляет собой замкнутую кривую, в некоторой части своего пути проходящую через магнит, которому она принадлежит. Соседство с данным магнитом других магнитов не влияет на результат, если только во время опытов они не движутся; и таким образом было полностью установлено невмешательство таких магнитов в действие магнитов, подвергаемых исследованию.

В рассмотренных случаях силовые линии, как принадлежащие малым системам, быстро изменялись в своей интенсивности сообразно их расстоянию до магнита вследствие их, если так можно выразиться, расходимости. Земля, наоборот, представляет для нас, в пределах одного опыта в некоторое определенное время, поле равной силы. Стрелка наклона указывает направление или полярность этой силы; и если мы работаем в плоскости, перпендикулярной наклону, то число или количество силовых линий, с которыми мы имеем дело, будет пропорционально площади, которую может охватить наш прибор. И вот, я сделал из проволок параллелограммы, охватывающие площади различных размеров — в один квадратный фут, в девять квадратных футов, или еще какой-либо величины; они были закреплены на осях, равноотстоящих от двух сторон; оси можно было установить перпендикулярно линии наклона и вращать вокруг них параллелограммы. Мы пользовались коммутатором, соединенным с гальванометром, и с параллелограммами, так что ток, индуцированный в верхней части вращающейся проволоки, проходил всегда в одном направлении. При этом оказалось, что вращение в одном направлении давало определенный электрический

ток; вращение в обратном направлении — противоположный ток; что действие на гальванометре пропорционально числу оборотов для одного и того же прямоугольника; что для прямоугольников различных размеров из одной и той же проволоки действие пропорционально площади прямоугольника, т. е. числу кривых, которые он пересекал, и т. д.

Все эти, а также другие результаты с большей полнотой установлены и доказаны в статьях, представленных мною Королевскому обществу.<sup>1</sup> Общие заключения состоят в том, что линии магнитной силы можно легко выявить и проследить как по *направлению*, так и по *интенсивности*, при помощи движущейся проволоки, и в металлах — железе и магнитах, и в окружающем пространстве, и что проволока суммирует действие многих линий в один общий результат; что силовые линии хорошо изображают *природу, свойства, направление и величину* магнитной силы; что действие прямо пропорционально числу пересекаемых силовых линий — все равно, как происходит это пересечение: под прямым углом или наклонно; что в поле равной силы действие прямо пропорционально *скорости*, или *длине* движущейся проволоки, или *массе* проволоки; что внешнее действие неизменного магнита *определенно*, но неограничено по величине; что каждое сечение всех силовых линий равно любому другому сечению; что силовые линии внутри магнита равны линиям вне его; что они составляют продолжение внешних линий, ибо силовые линии представляют замкнутые кривые.

## О ФИЗИЧЕСКОМ ХАРАКТЕРЕ ЛИНИИ МАГНИТНОЙ СИЛЫ<sup>2</sup>

**З а м е ч а н и е.** Нижеследующая статья содержит так много умозрительного и гипотетического, что она показалась мне более подходящей для *Philosophical Magazine*, чем для

<sup>1</sup> См. стр. 457 и далее.

<sup>2</sup> *Philosophical Magazine* за июль 1852.

Philosophical Transactions. Однако она так тесно связана с предыдущими исследованиями и так зависит от них, что я сохранил ту же систему и продолжил здесь нумерацию параграфов, принятую там. Я прошу поэтому осведомить читателя о том, что нумерация внутри текста относится к статьям, уже опубликованным или же подготовленным к напечатанию в Philosophical Transactions, и что она не существенна для него при чтении настоящей статьи, если только ему не придется рассматривать ее содержание более глубоко. Эта статья, как это очевидно, представляет собой продолжение серий XXVIII и XXIX, которые печатаются в Philosophical Transactions, и ее экспериментальное обоснование в значительной мере зависит от более строгих итогов и заключений, в них содержащихся.

---

3243. Я в последнее время занимался описанием и определением линий магнитной силы (3070), т. е. тех линий, которые, вообще говоря, проявляются в расположении железных опилок или маленьких магнитных стрелок вокруг магнитов или между ними; и я показал, надеюсь убедительно, что эти линии можно считать действительным изображением магнитной силы как по расположению, так и по количеству; я показал также, каким образом их можно распознавать при помощи движущейся проволоки. Последний способ в принципе совершенно отличен от тех указаний, которые дает магнитная стрелка, и во многих случаях имеет большие и своеобразные преимущества. Данное там определение не было связано с физической природой силы в месте ее действия и может применяться, какова бы эта природа ни была. Оговорив это вполне определенно, я теперь хочу покинуть на время путь строгого рассуждения и пуститься в некоторые умозрения относительно физической природы силовых линий и относительно того, как, можно думать, они тянутся через пространство. Нам приходится пускаться и такие умозрения по отношению к многим силам природы; и в самом деле, одна только сила тяготения

представляет собой такой случай, когда они, по-видимому, исключаются.

3244. Не нужно никоим образом предполагать, что умозрения такого рода бесполезны и тем самым вредны для естествознания. Их можно считать сомнительными, подверженными ошибкам и изменениям; но они являются чудесным вспомогательным средством в руках экспериментатора или математика. Действительно, они полезны не только тем, что делают смутное представление на время более ясным, как бы облекая его в определенную форму, которая помогает подвергнуть его эксперименту и вычислению; главное, они благодаря дедукции и вносимым исправлениям ведут к открытию новых явлений и содействуют таким образом установлению реальной физической истины и приближению к ней. Эта истина в отличие от умозрения, которое к ней привело, становится основным знанием, уж не подлежащим изменению. Кому неизвестны замечательные успехи последнего времени в познании природы излучения и света и кто не знает, в какой мере этому способствовали обе гипотезы — истечения и волнообразного движения? Эти соображения служат оправданием тому, что я от времени до времени прибегаю к умозрениям; но хотя я высоко ценю их, когда они применяются с осторожностью, я считаю существенной чертой здравого смысла держать их под сомнением. Им не следует придавать значения убеждений, и нужно расценивать их только как вероятности и возможности; следует делать весьма большое различие между ними и фактами и законами природы.

3245. В многочисленных случаях след, действующих на расстоянии, ученый постепенно убедился в том, что совершенно недостаточно удовлетвориться простым установлением факта; он поэтому обратил внимание на то, каким именно образом сила передается через промежуточное пространство. Если даже он не может сказать об этом ничего определенного, он все же может указать в различных случаях явные различия, пользуясь тем, что можно назвать свойствами силовых линий.

Таким образом, теми или иными способами он может установить различия для многообразных родов сил в природе силовых линий, сравнивая одни с другими, а тем самым и в природе сил, к которым они относятся. Например, при действии тяготения силовая линия является прямой линией, поскольку мы можем судить об этом на основании вызываемых им явлений. Ход этой линии нельзя отклонить от его пути, нельзя даже и оказать на него какое-либо влияние. Это прямолинейное действие нельзя изменить ни по направлению, ни по величине, даже подобным же действием по другой линии; иными словами, частица, тяготеющая к другой частице, обладает в точности одним и тем же количеством силы в одном и том же направлении независимо от того, тяготеет ли она к одной этой частице или к мириадам других подобных частиц. В последнем случае она действует на каждую из них с силой, равной той, с какой она может действовать на одну частицу, рассматриваемую в отдельности: результаты, конечно, могут складываться, но направление и величина силы между каждыми двумя данными частицами остаются неизменными. Таким образом тяготение представляет для нас простейший случай притяжения. Оно видимым образом не связано ни с каким физическим процессом, посредством которого сила частиц передавалась бы от одной к другой, и представляется примером чистого притяжения или действия на расстоянии; поэтому оно является простейшим типом всех случаев подобного рода. Моя цель заключается в том, чтобы выяснить, в какой мере магнетизм представляет собою такое действие на расстоянии или в какой мере он имеет природу, общую с природой других сил, линии которых, в отношении передачи силы, требуют посредствующих физических агентов (3075).

3246. Есть один вопрос, который касается тяготения и который, если бы мы его разрешили или подошли к его разрешению, мог бы многое нам уяснить. Это — вопрос о том, требует ли тяготение *времени*. Если да, то это доказывало бы с несомненностью, что в ходе силовых линий существует фи-

зическое посредство. Но этот пункт нельзя ни подтвердить, ни опровергнуть: ибо нет возможности устранить, изменить или уничтожить эту силу (тяготения), или уничтожить материю, являющуюся ее носителем.

3247. Если мы обратимся к явлениям излучения, то мы получаем убедительнейшее доказательство того, что хотя ничто весомое здесь не проходит, однако силовые линии обладают физическим существованием, в известном смысле независимым от излучающего или принимающего лучи тела. Их можно отклонить от их пути, и тогда они превращаются из прямой линии в ломанную или кривую. Их природа может быть изменена в том отношении, что они будут как бы повернуты вокруг своей оси или приобретут различные свойства с различных своих сторон. Сумма их мощности ограничена; и если сила, исходящая из некоторого источника, направлена на известный ряд частиц или устремлена к ним или вообще в каком-нибудь направлении, то она уже ни в какой степени не может быть направлена на другие частицы или в другом направлении, если только не отнять соответствующую ее часть от первых (частиц и направлений). Эти линии не зависят от второго или противодействующего тела, как в случае тяготения; и для их распространения требуется время. Во всех этих отношениях они составляют выраженную противоположность силовым линиям тяготения.

3248. Если мы обратимся к электрической силе, то мы увидим весьма примечательные обстоятельства, средние между обстоятельствами двух предыдущих случаев. Сила (и ее линии) требует здесь *присутствия* двух или более частиц или масс, как в случае тяготения, и не может существовать при наличии только одной, как в случае света. Но хотя и требуются две частицы, однако они должны находиться в состоянии, *противоположном* друг другу, а не одинаковом по отношению к силе, как в случае тяготения. Сила имеет теперь характер двойной; там она была простой. Требуя, как и тяготение, двух частиц, она отличается от тяготения тем, что является ограни-

ченной. Одна электрическая частица не может действовать на вторую, третью и четвертую так, как действовала на первую; чтобы она могла действовать на последние, ее сила должна быть в пропорциональном отношении отнята от первой, и, по-видимому, это ограничение необходимо обусловлено двойственным характером силы; ибо два состояния, или местонахождения, или направления силы должны быть одинаковы.

3249. Для электрической силы мы имеем как статическое, так и динамическое состояние. Я употребляю эти слова только в виде названий, не претендуя на то, что имею ясное представление о физических свойствах, с которыми могут быть связаны эти обозначения. Имеем ли мы здесь две жидкости или одну, имеем ли вообще какую-либо электрическую жидкость или нечто такое, что можно назвать в настоящем смысле током, этого я не знаю; однако существуют вполне установленные электрические состояния и действия, для выражения которых обычно принято употреблять слова «*статический*», «*динамический*» и «*ток*»; и с этой оговоркой они выражают эти понятия столь же хорошо, как и любое другое название. Силовые линии *статического* состояния электричества имеются во всех случаях, когда мы имеем дело с индукцией. Они заканчиваются на поверхностях проводников, подвергаемых индукции, или на частицах непроводников, которые, будучи наэлектризованы, находятся в этом состоянии. Они могут отклоняться от своего пути (1215, 1230) и могут быть сжаты или разрежены посредством тел различной индуктивной способности (1252, 1277); но в этих случаях на них действует посредствующая материя. При этом неизвестно, какова была бы форма электрических силовых линий в абсолютной пустоте, т. е. была ли бы такая линия прямой линией, какой по предположению является силовая линия тиготения, или же она была бы искривлена и этим обнаруживала бы что-то в роде отдельного физического существования, независимого от обычных отдаленных воздействий поверхностей или частиц, ограничивающих или заканчивающих индукцию. В линии статической электрической

силы до сих пор не было обнаружено никаких свойств *качественности* или *полярности*; по отношению к ней не было установлено также никакой связи с *временем*.

3250. Силовые линии динамического электричества или ограничены в своем протяжении, например при понижении индуктивного состояния статического электричества вследствие разряда или другим способом, или они бесконечны и непрерывны, как замкнутые кривые в случае гальванического тока. Для данного источника их количество является определенным, но они могут расширяться, сгущаться и отклоняться почти-что беспредельно, в зависимости от природы и протяженности среды, через которую они проходят и к которой они имеют непосредственное отношение. Можно считать вероятным, что здесь всегда существенно присутствует материя; но, может быть, позволительно предполагать здесь, как и в других областях, и гипотетический эфир. В этих силах также не было обнаружено свойств *качественности* или *полярности*. Что касается *времени*, то в случае разряда Лейденской банки время оказалось необходимым даже для самых лучших проводников; однако есть основания предполагать, что оно необходимо здесь в той же мере, как и в случае плохо проводящей среды, как например при светящемся разряде.

3251. Между этими действиями силы на расстоянии можно различить по крайней мере три основных: тяготение, для которого распространение силы через промежуточное пространство посредством физических линий предполагается отсутствующим; излучение, для которого такое распространение имеет место и для которого линия распространения, однажды возникнув, существует независимо от своего начала или своего окончания; и электричество, для которого процесс распространения существует в промежуточном пространстве, подобно лучу, но в то же время зависит от обоих окончаний силовой линии или условий (в случае замкнутого гальванического проводника), эквивалентных таким окончаниям. Нужно сравнить с этими действиями магнитное действие на расстоянии.

Оно может быть отлично от каждого из них; ибо кто может утверждать, что нам известны все физические способы или их разновидности, при посредстве которых передается эта сила? Некоторые, правда, предполагали, что это действие представляет частный случай силы, действующей на расстоянии, и что оно тем самым подобно силе тяготения; другие же считали, что ему лучше соответствует представление о потоках силы. Вопрос, по-видимому, заключается сейчас в том, обладают или не обладают линии магнитных сил физическим существованием, и если да, то проявляется ли это физическое существование в статической или динамической форме (3075, 3156, 3172, 3173).

3252. Линии магнитных сил еще никогда не изменялись по своим *свойствам*, т. е. никогда не удавалось сообщить им что-либо похожее на поляризацию светового или теплового луча. Правда, некоторое родство между ними и лучами света в поляризованном состоянии было обнаружено,<sup>1</sup> но это родство не таково, чтобы ответить на вопрос, имеют ли линии магнитной силы самостоятельное существование, или не имеют; апрочем, мне кажется, факты говорят в пользу первого предположения. Вопрос подлежит дальнейшему исследованию и является весьма важным.

3253. До сих пор не открыто какого-либо отношения *времени* к линиям магнитной силы. Что железо требует *времени* для своего намагничивания, это хорошо известно. Плуккер утверждает, что то же имеет место для висмута, но мне не удалось обнаружить явления, доказывающие это утверждение. Если бы это было так, то это было бы справедливо и для пустого пространства с его эфиром, ибо оно занимает место между железом и висмутом (2787); и такой результат имел бы огромное значение, ибо служил бы убедительным доказательством того, что линии магнитных сил обладают самостоятельным физическим существованием. Нельзя считать, что результаты, ко-

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1846, стр. 1.

торыми мы располагаем сейчас, в какой бы то ни было степени доказывают утверждение о *времени*; но, если бы этот вопрос был выяснен, они бы, вероятно, подошли под его выводы. Можно сказать с таким же правом, что и в случае движущейся проволоки или проводника (125, 3076) требуется время.<sup>1</sup> По-видимому, нет никакой надежды подойти к разрешению вопроса теми способами, какие мы можем применить к световому лучу или к току от Лейденского разряда; но уже и постановка задачи может помочь ее решению.

3254. Если бы можно было доказать, что в случае линий магнитной силы имеет место действие по *кривым* линиям или направлениям, то тем самым было бы доказано их физическое существование вне магнита, которым они возбуждаются; это — то же доказательство, которое применяется в случае статической электрической индукции.<sup>2</sup> Но одно только расположение линий, обнаруживаемое железными частичками, не может служить доказательством такого искривления, ибо линии могут зависеть и от присутствия этих частиц, и от их взаимодействия друг с другом и с магнитами; и возможно, что притяжения и отталкивания по прямым линиям дали бы такое же расположение. Поэтому результаты, получаемые посредством движущейся проволоки (3076, 3176)<sup>3</sup>, скорее могут дать сведения, пригодные для выяснения этого пункта, если они будут умножены и если будет вполне установлено истинное магнитное отношение движущейся проволоки к пространству, ею занимаемому.

3255. *Количество* линий магнитной силы, или сила, которую они представляют, ясно ограничено, и поэтому они в данном отношении явственно отличны от силы тяжести (3245); это справедливо, несмотря на то, что сила магнита, как это приходится думать, в пустом пространстве должна продол-

<sup>1</sup> Experimental Researches, 8 изд., т. II, стр. 191, 195.

<sup>2</sup> Philosophical Transactions, 1838, стр. 16.

<sup>3</sup> Там же, 1852.

жаться на невообразимые расстояния. Эта ограниченность количества силы, по-видимому, тесно связана с двойственным характером силы и сопровождается перемещаемостью или переносом силы с одного объекта на другой, что совершенно не имеет места в случае тяготения. Силовые линии, которые заканчиваются на одном конце или полюсе магнита, можно почти что произвольно изменять по направлению (3238), хотя первоначальное положение их остальных участков может в другом отношении оставаться неизменным. Ибо, когда мы вводим новые окончания сетовых линий, этим может быть вызвано иное распределение силы около них; но хотя их можно заставить, полностью или частью, воспринимать внешнюю силу и таким образом изменять ее направление, однако этим не вызывается изменения в количестве силы. Это как раз имеет место в точных опытах, независимо от того, что представляют собой вновь вводимые тела; мягкое железо или магниты (3218, 3223).<sup>1</sup> Таким образом в этом отношении линии магнитной и электрической силы оказываются сходными. Результаты того рода явственно обнаруживаются в некоторых недавних опытах над действием железа, передвигаемого мимо медной проволоки в магнитном поле подковообразного магнита (2129, 3130), а также при взаимодействии железа и магнитов (3218, 3223).

3256. Не нужно, я полагаю, доказывать, что для исчерпывающего сравнения различных силовых линий совершенно недостаточно имеющихся покуда экспериментальных данных. Они не дают нам возможности заключить с уверенностью, чему аналогичны магнитные силовые линии: линиям силы тяготения, т. е. прямому действию на расстояние, или они, обладая физическим существованием, более сходны по своей природе с линиями электрической индукции или электрического тока. В настоящее время я склонюсь скорее к последнему предположению, а не к первому; и приступлю к дальнейшему выяснению этого вопроса.

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1852.

3257. Как мне кажется, не удалось доказать, что математическое выражение законов магнитного действия на расстоянии — то же, что и для законов статических электрических действий. Иногда допускалось, что предположение о северном и южном магнетизме, сосредоточенных на полюсах или соответствующих концах магнита, может объяснить все его внешние действия на другие магниты и прочие тела. Со статической или динамической точки зрения да и со всякой другой, близкой к ним, существенным условием должно быть, чтобы магнитные силы действовали в направлении наружу, на полюсах или концах магнита. Далее, если взять стержневой магнит, могут ли эти силы существовать без взаимной связи двух полюсов или какой-либо связи с противоположными магнитными силами одинаковой величины, происходящими из других источников? Я не думаю, чтобы это было возможно; ибо, как я показал в своих последних опытах, сумма силовых линий одинакова для всякого проходящего через них сечения, взятого где угодно во внешнем пространстве между полюсами магнита (3109). Кроме того, есть много других экспериментальных фактов, указывающих на взаимную зависимость и связь сил на одном полюсе с силами на другом,<sup>1</sup> имеется и аналогия со статической электрической индукцией, когда одно электричество не может существовать независимо от другого, без равенства и связи с ним. Каждая двойственная сила, по-видимому, подчинена этому закону необходимым образом. Если бы противоположные магнитные силы могли быть независимы друг от друга, тогда, очевидно, был бы возможен заряд с одним только родом магнетизма; но такая возможность опровергается всеми известными до сих пор опытами и фактами.

3258. Однако предположим, что это необходимое соотношение, которое и составляет полярность, существует; тогда

<sup>1</sup> Когда большой сильный магнит смещает, пересиливает и даже изменяет на противоположный магнетизм меньшего магнита, поднесенного близко к первому, во не принасающегося к нему, мы как раз имеем дело с такими случаями.

возникает вопрос, каким образом оно может поддерживаться и вообще осуществляться в случае отдельного стержневого магнита, находящегося в пустом пространстве. Мне кажется, что внешние силы на полюсах могут связываться друг с другом только посредством *кривых* силовых линий в окружающем пространстве; и я не могу представить себе кривых силовых линий, не предполагая их физического существования в этом промежуточном пространстве. Если они существуют, то не как последовательный ряд частиц, как при статической электрической индукции (1215, 1231), а по свойству пространства, свободного от таких материальных частиц. Если поместить магнит в самом совершенном вакууме, какого мы только можем достигнуть, он действует на стрелку точно так же, как если бы он был окружен воздухом, водой или стеклом, притом независимо от того, чем было первоначально заполнено пространство, в котором был получен вакуум: парамагнитными или диамагнитными телами. Итак, силовые линии существуют в таком вакууме, как если бы там была материя.

3259. Можно возразить, что в случае магнита нельзя доказать существования каких-либо внешних силовых линий, без присутствия предметов, которые специально применяются для экспериментальной демонстрации этих линий, как например магнитная стрелка, мягкое железо, движущаяся проволока или кристалл висмута; что на самом деле именно эти тела порождают и развивают силовые линии. Ведь точно так же и в случае тяготения нельзя составить себе представления о силовой линии тяготения, если говорить о какой-либо частице материи, взятой отдельно: это представление может существовать только, если участвует еще какая-либо другая частица. Но в случае магнита мы имеем дело с двойственной силой; и мы знаем, что не можем возбудить один магнетизм без другого, будь то при помощи действия магнитной индукции на мягкое железо, или при помощи электрического тока, или как-нибудь иначе. Предположим поэтому, что брусок из мягкого железа или второй стержневой магнит подносится своим концом к пер-

вому магниту и, благодаря этому приближению, развивает внешнюю силу. Тогда или сила, только теперь ставшая внешней, возбудит соответствующую внешнюю силу обратного знака на противоположном конце, или она ее не возбудит. В первом случае это должно сопровождаться появлением линий силы, равнозначащей с ней, *внутри* магнита. Но мне кажется, мы теперь знаем, что в очень твердом и совершенном магните изменений такого рода не бывает (3223). Внешние и внутренние силовые линии остаются теми же по количеству, независимо от присутствия или удаления вторичного магнита или мягкого железа. Изменяется лишь *расположение* внешних линий; их сумма, а следовательно, их бытие, остается неизменным. Если имеет место второй случай, то магнит, если разделить его пополам в то время, как на него действует индукция, должен обнаруживать в обоих отрезках абсолютный магнитный заряд, т. е. заряд одним только магнетизмом (3257, 3261).

3260. Представим себе на минуту, что две полярности стержневого магнита находятся в известной связи друг с другом, но, поскольку не существует внешнего объекта, на который он мог бы оказывать действие, эти полярности связаны друг с другом только через самый магнит (предположение, которое трудно обосновать после того, как экспериментально показан ход линий в виде замкнутых кривых (3117, 3230). Все же отсюда вытекало бы, что для сил, определенных во вне, должно последовать изменение суммы сил как внутри, так и вне магнита. Теперь мы можем ознакомиться и с теми, и с другими силами: и, по-видимому, в случае хорошего магнита и тогда, когда он один, или тогда, когда он находится под влиянием мягкого железа или других магнитов, хотя бы вчетверо более сильных, сумма сил вне (3223), а тем самым и внутри (3117, 3121) магнита остается одинаковой.

3261. Если северный и южный магнетизм рассматривать как независимые друг от друга в том смысле, что их можно сравнить с двумя жидкостями, разлитыми по двум концам

магнита (как два электричества в поляризованном проводнике), то при разламывании магнита пополам одна из половин должна бы получиться абсолютно или относительно более северной по своим свойствам, а другая — южной. Ни одна из них не могла бы быть и северной, и южной в одинаковой мере, если иметь в виду только внешнюю силу. Но этого никогда не бывает на деле. Если сказать, что новое разламывание выявляет во вне два новых полюса противоположного рода, но одинаковых по силе (что и наблюдается) вследствие некоторой необходимости, то эта же необходимость имеет место также и для зависимости и взаимоотношения двух первоначальных полюсов первоначального магнита, каков бы ни был первоисточник силы и где бы он ни находился. Но в этом случае *искривленные* силовые линии между полюсами первоначального магнита получаются как необходимое следствие; и мне кажется, что искривление этих линий указывает на их физическое существование.

3262. Можно было бы предположить, что магнитные полюсы стержневого магнита оказывают некоторое действие внутрь, обратно, как если бы они были центрами силы как внутри, так и вне магнита; и что при помощи этих сил они способны, при разламывании магнита, образовать противоположные полюсы с присущей им силой; но тогда это действие не может быть тождественно с той частью, которая в то же время проявляется снаружи. А если это так, то две половины разломанного магнита должны обладать в какой-то мере северным или южным зарядом. Они тогда не должны превращаться в определенные магниты с эквипотенциальными полюсами. Но они превращаются как раз в такие магниты; и мы можем разломать *пополам твердый магнит* поблизости от другого сильного магнита, который, казалось бы, должен нарушить эти силы, и однако обе половины являются совершенными магнитами, эквивалентными в своих поляриностях, точно так же, как если бы при их образовании путем разламывания этот сильный магнит отсутствовал. Сила на прежних полюсах не возрастает и не

убывает, а остается неизменной в отношении как количества, так и направления их полярности.

3263. Вернемся теперь к случаю твердого, правильно изготовленного и правильно намагниченного прямого стержневого магнита; пусть он находится под действием только своих собственных сил; я полагаю, что мы должны выбрать одно из двух: или отвергнуть внешнюю связь полюсов и считать, что они не имеют стремления друг к другу и не оказывают действия друг на друга; или же допустить, что существует такое действие, оказываемое ими и передающееся по *кривым* линиям. Отрицать такое действие — это значило бы предполагать различие между действием северного конца стержня на его собственный южный конец и его действием на южный конец других магнитов; но на основании всех прежних опытов, а также новых опытов с движущейся проволокой (3076), мне кажется, что такое предположение невозможно. Если же допустить действие по кривым линиям, то, по моему, это значит признать тем самым, что линии имеют физическое существование. Может быть, это — колебания воображаемого эфира или состояние натяжения этого эфира, отвечающее динамическим или статическим условиям; или это еще какое-нибудь другое *состояние*, которое трудно себе представить, но которое может быть в равной мере отлично и от предполагаемого несуществования силовой линии тяготения, и от самостоятельного и отдельного существования силовой линии излучения (3251). Во всяком случае существование этого состояния не есть, по моему, только предположение или гипотеза, а является до некоторой степени следствием известных свойств рассматриваемой силы и обусловливаемых ею явлений.<sup>1</sup>

3264. В предыдущих рассуждениях я не касался того взгляда, недавно подтвержденного мною на опыте, что силовые линии, если их рассматривать просто как выражение магнитной силы

---

<sup>1</sup> См. воззрения Эйлера на распределение магнитных сил; также на магнитную жидкость или эфир и его тони. Letters, т. II, письма 62, 63.

(3117), представляют собою замкнутые кривые, проходящие в части своего пути через магнит, а в другой части — через пространство вокруг него. Эти линии как внутри, так и вне магнита, одинаковы по своей природе, свойствам и количеству. Если к определению этих линий, данному раньше (3071), мы присоединим представление об их физическом существовании и затем пересмотрим упомянутые выше случаи под углом зрения этого нового представления, то мы увидим сразу, что вероятность искривления внешних силовых линий, а тем самым физического существования линий, останется прежней и даже значительно увеличится. Ибо теперь в магните нельзя предположить действия, направленного назад; и внешняя связь и взаимная зависимость двух полярностей (3257, 3263) оказываются, если только это возможно, еще более необходимыми, чем прежде. Такая точка зрения придала бы, хотя и не обязательно, динамическую форму представлению о магнитной силе; впрочем, ее тесная связь с динамическим электричеством хорошо известна (3265). К рассмотрению этого я в дальнейшем и перейду; но прежде я ненадолго вернусь к статической индукции, как случаю парных сил в их взаимной связи посредством криволинейных силовых линий; но в этом случае линии имеют окончания, а не представляют собой замкнутых кругов. Электрический проводник, поляризованный индукцией, или изолированная, незамкнутая, прямолинейная гальваническая батарея представляют именно такой случай и подобны магниту в расположении внешних силовых линий. Но поддерживающее действие (поскольку это касается индукции) зависит от необходимого взаимодействия противолежащих парных распределений силы; оно будет внешним для проводника или батареи. В этом случае, если проводник или батарею разъединить посередине, не получится никакого заряда, ни источника новых силовых линий индукции. Это, без сомнения, является следствием того, что линии статической индуктивной силы не продолжаются внутрь; и в то же время причиной того, что две отделенные друг от друга части остаются в противоположных

состояниях или сохраняют абсолютный заряд. В магните такое разделение *развивает* новые внешние силовые линии; их количество одинаково с количеством линий, происходящих от первоначальных полюсов, и это показывает, что силовые линии продолжаются в конце магнита. Ясно, что вследствие этой непрерывности две половины не обнаруживают абсолютного заряда — северного или южного.

3265. Общеизвестное соотношение магнитных и электрических сил можно формулировать следующим образом. Пусть, как на табл. VI,  $I$  они изображаются двумя кольцами, лежащими в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Если через кольцо  $E$  в указанном на рисунке направлении будет пропущен электрический ток, то возникают магнитные силовые линии, соответствующие той полярности, какую указывает воображаемая магнитная стрелка, помещенная в  $NS$  или в каком-либо другом месте кольца  $M$ , куда такая стрелка может быть перемещена. Эти кольца представляют соответственно линии электродинамической и магнитной силы, а потому могут служить нам образцом для сравнения. Ранее я назвал электрический ток, или линию электродинамической силы, «осью сил, в которой силы, в точности равные по величине, направлены в противоположные стороны» (517). Линии магнитных сил можно определить *в точности теми же словами*; и эти две оси действия, рассматриваемые как прямые, перпендикулярны друг к другу; с тем добавочным условием, определяющим их относительное направление, что они разделены прямой линией, перпендикулярной к ним обеим. Значение приведенных выше слов в приложении к электрическому току вполне точно; в них не содержится утверждения, что силы противоположны *потому*, что они имеют противоположное направление: они *противоположны по природе*; если перевернуть одну из них концами, она от этого не станет подобна второй. Это обстоятельство следует принять в соображение тем, кто допускает электрические жидкости и пытается выяснить, сколько существует электричеств; одно или два.

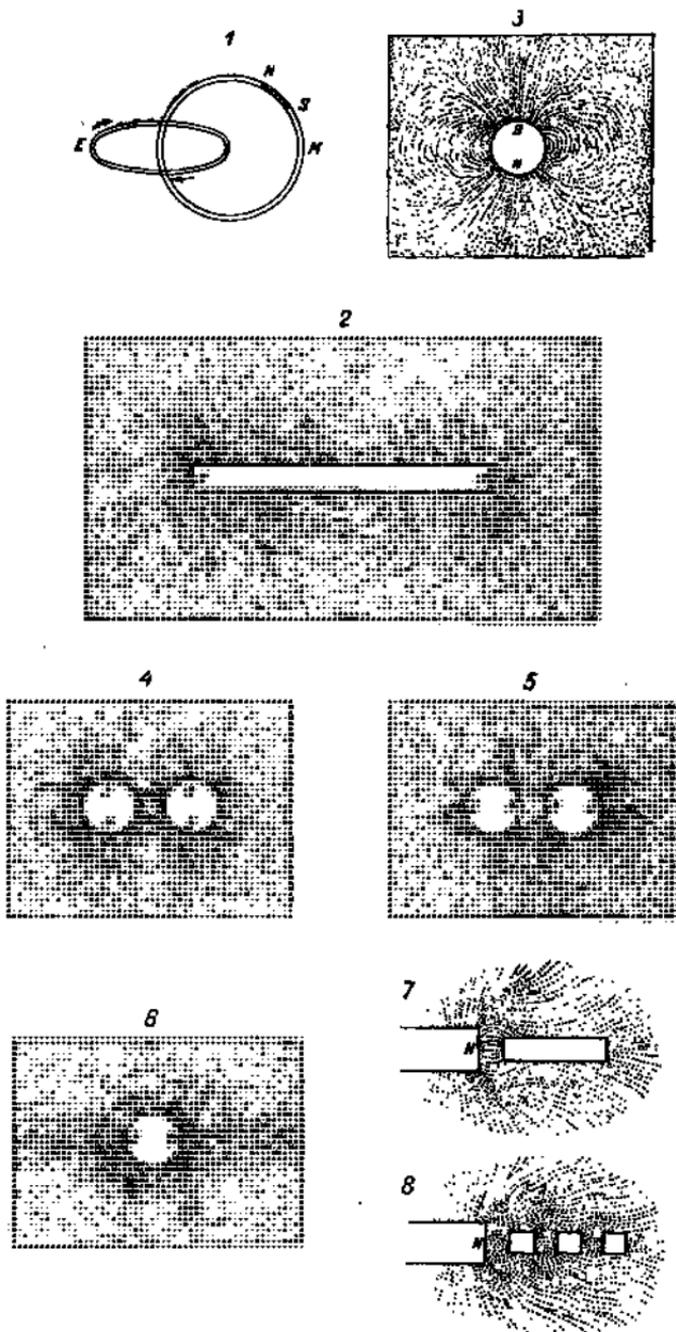


Таблица VI (рис. 1—8)

3266. Если сравнить друг с другом эти две оси сил, то мы найдем некоторые замечательные соответствия, особенно в отношении их взаимно-перпендикулярного положения. Ампер<sup>1</sup> и Дэви<sup>2</sup> доказали, как физический факт, что электрический ток стремится растянуться в длину; и это может считаться характерным для *электрической* силовой оси. Если же свободная магнитная стрелка, приближенная к концу стержневого магнита, сначала поворачивается к нему, а затем стремится к нему приблизиться, то я усматриваю в этом проявление противоположного характера, присущего *магнитной* силовой оси. В самом деле, линии магнитной силы, которые, согласно моим недавним исследованиям, являются общими для магнита и для стрелки (3230), напротив, укорачиваются сначала вследствие того движения, при котором она устанавливается в определенном направлении, а потом — вследствие того действия, которое заставляет стрелку приблизиться к магниту. Мне кажется, я вправе утверждать, что все другие действия магнитов на магниты, или на мягкое железо, или на другие парамагнитные и диамагнитные тела, находятся в согласии с этим результатом и выводами.

3267. Далее, одинаково направленные электрические токи, или силовые линии, или силовые оси, будучи помещены бок о бок, притягивают друг друга. Это хорошо известно, и это можно легко наблюдать, если проводники, по которым проходят такие токи, поместить параллельно друг другу. Но одинаковые магнитные силовые оси или силовые линии взаимно отталкиваются; мы будем иметь случай, аналогичный случаю электрических токов, если поместим рядом две магнитные стрелки, у которых полюсы направлены в одну сторону. Пользуясь железными опилками, можно получить многочисленные наглядные иллюстрации (3234) того же самого общего результата.

<sup>1</sup> Ann. de Chim., 1822, XXI, стр. 47.

<sup>2</sup> Phil. Trans., 1823, стр. 153.

3268. Подчеркнем, что эти явления не представляют собой такого контраста, который имеет силу для двух или более различных соотношений; это — контраст, который дает совпадение, когда мы рассматриваем взаимно-перпендикулярное положение двух силовых осей (1659, 3265). Стремление к *растяжению в длину*, присущее электрическому току, и стремление к *расхождению в стороны* магнитных силовых линий, окружающих этот ток — оба эти стремления направлены в одном и том же смысле и только представляются нам чем-то в роде контраста, если мы рассматриваем обе оси независимо от их взаимного положения. Это, наряду с другими соображениями, к которым мы сейчас перейдем, указывает, вероятнее всего, на тесную физическую связь, а может быть, и на тождество того, что представляется нам в виде двух сил или двух форм силы — электрической и магнитной. В этом случае многие другие взаимодействия, примеры которых приведены ниже, сведутся к одному и тому же началу. Так, разноименные магнитные линии, расположенные одна за другой, взаимно отталкиваются, совсем как одноименные полюсы, обращенные друг к другу; электрические токи разного направления в том же самом положении останавливают друг друга; если они возрастают в отношении напряжения, делаясь таким образом статическими, то отталкивают друг друга. Электрические токи или силовые линии одного направления, будучи приставлены одни концом к другим, сливаются воедино; то же наблюдается для одинаковых магнитных силовых линий при том же расположении (3266, 3295). Сумма электрических токов одного направления, поставленных друг за другом, складывается; правда, изменения количества здесь не происходит, но напряжение возрастает. Расположенные таким же образом одинаковые магнитные силовые линии не усиливают друг друга, ибо действие остается здесь прежним (3218): может быть, здесь и получается некоторое действие, подобное возрастанию напряжения в предыдущем случае, но до сих пор оно в явственном виде не обнаружено. Количество одинаково направленных электри-

ческих токов, расположенных рядом, суммируются; примером этого может служить ряд батарей, соединенных одноименными полюсами, или большая батарея из пластинок по сравнению с малой. То же имеет место для одинаковых магнитных силовых линий (3232).

3269. Взаимоотношение магнитных силовых линий и электрической силовой оси известно со времен Эрстеда и Ампера. Это, вместе с теми соображениями, которые я попытаюсь выдвинуть, позволяет нам с известной степенью вероятности высказать догадку или предположение о природе линий магнитной силы. Я склонен считать, что они обладают физической реальностью, соответствующей реальности их аналога, электрических силовых линий; и, приняв это, я дальше стараюсь выяснить, не имеют ли они динамических свойств, аналогичных свойствам электрической оси, с которой они так тесно и, может быть, неизбежно связаны. В этом случае возник бы вопрос о магнитных токах. Или, может быть, они представляют собою состояние натяжения (эфира?) вокруг электрической оси, и тогда можно считать их статическими по природе. Вновь и вновь возникает во мне мысль об *электротоническом* состоянии (60, 1114, 1661, 1729, 1733); такое состояние совпадало бы и могло бы быть отождествлено с тем, чем представились бы тогда физические линии магнитной силы. И другое соображение приводит к тому же представлению. Я уже заметил выше, что магнитный эквивалент *статическому* электричеству не известен; ибо если электрическая сила в ее еще не развитом состоянии соответствует подобному же состоянию магнитной силы и если электрический ток, или ось электрической силы, соответствует магнитным силовым линиям или оси магнитной силы, то не известно такого магнитного состояния, которое бы соответствовало статическому состоянию электрической силы (1734). Предположим, однако, что физические линии магнитной силы представляют собою токи; тогда весьма неправдоподобно, чтобы такое связующее звено отсутствовало; это еще более неправдоподобно, по-моему, чем то, чтобы магнитное состоя-

ние зависело от состояния натяжения. В особенности же неправдоподобно это потому, что при последнем предположении магнитные силовые линии столь же определенно обладали бы физической реальностью, как и в первом случае, и оказалось бы возможным искривленное состояние линий, которое, в соответствии с наблюдаемыми фактами, представляется мне столь необходимым допущением.

3270. Те соображения, которые возникают при рассмотрении явлений и законов, проявляющихся во взаимодействии магнитов, электрических токов и *движущихся проводников* (3084 и д.), по-моему, целиком говорят в пользу физического существования магнитных силовых линий. Если в таких случаях мы производим опыты с одним только магнитом без участия мягкого железа или парамагнитных тел, то не производится никаких действий вроде отталкивания или притяжения и никаких других обычных магнитных действий. Все эти явления вполне можно рассматривать, как чисто электрические, ибо они именно таковы по своему характеру; и если они совпадают с магнитными действиями (что, без сомнения, имеет место), то это, вероятно, потому, что оба эти действия — одно и то же. Но если их рассматривать как электрические действия, то они влекут за собой иное представление о свойствах поля, в котором они проявляются, чем представление о магнитном действии на расстоянии. Если поместить медную проволоку близ стержневого магнита, то она, поскольку мы можем это обнаружить (при посредстве магнитной стрелки или иными способами), ни в малейшей степени не нарушает расположения магнитных сил как в магните, так и в окружающем пространстве. Если ее перемещать поперек силовых линий, в ней развивается или стремится развиваться электрический ток; и я имею все основания предполагать, что если бы мы могли иметь в распоряжении совершенный проводник и получить совершенный результат, то в том месте, которое занимает проводник, обнаружился бы полный эквивалент силы, электрической или магнитной. Но, как я уже указал в другом месте (3172), трудно

предполагать, чтобы этот ток, находящийся в точном эквивалентном соотношении с магнитной силой, был обязан своим происхождением только самому факту движения. Движение внешнего тела, во всех прочих отношениях физически безразличного и не имеющего отношения к магниту, не может дать начало такому физическому состоянию, какое обнаруживает движущаяся проволока. Здесь, я полагаю, должно иметь место какое-то предварительное состояние, состояние натяжения или статическое по отношению к проволоке, которое, если к тому присоединяется и движение, вызывает уже динамическое состояние или ток электричества. Этого состояния достаточно, чтобы установить (наличие) линий магнитной силы и дать им физическое существование, а равно вызвать их искривление или эквивалентное ему внешнее соотношение полюсов, а также и различные другие условия, которые, я полагаю, несовместимы с простым действием на расстоянии и которые, однако, имеют место среди магнитных явлений.

3271. Все явления, связанные с движущейся проволокой, по-видимому, указывают на физическое существование вокруг магнита силовой атмосферы; силы ее имеют характер (двух) противоположностей и определяются по направлению магнитными силовыми линиями; поэтому мы рассматриваем эту атмосферу, как состоящую из сфендилоидов, ограниченных силовыми линиями или, вернее, оболочками.<sup>1</sup> Так как проволока

<sup>1</sup> Линии магнитной силы уже были определены (3071). Мы, я полагаю, их проследили и показали, что они представляют замкнутые кривые, проходящие на своем пути отчасти через магнит, которому они принадлежат, отчасти через (ограждающее его) пространство (3117). Если, в случае прямого магнитного бруска, рассматривать какую-либо из этих линий, скажем  $F$ , как вращающуюся вокруг оси магнита, она опишет поверхность; и поскольку самая линия есть замкнутая кривая, поверхность образует как бы трубку вокруг оси и будет заключать в себе некоторое тело. Другая силовая линия  $E$  даст такой же результат. Сфендилоидное тело может быть или образовано поверхностью вращения  $E$ , или заключено между двумя поверхностями  $E$  и  $F$ , и для краткости я (по совету одного моего друга) называю его просто *сфендилоидом*. Части описанного тела,

пересекает линии внутри некоторого определенного сфондилоида, рассмотренного вне магнита, то возбуждается электрический ток, и этот ток является определенным и постоянным, при любом и каждом пересечении данного сфондилоида. В то же время независимо от того, покоится или движется проволока, она не вызывает смещения, или расширения, или сжатия силовых линий; состояние силы в соседних или других частях сфондилоида остается без чувствительных изменений (3176).

3272. Старый опыт, при котором проволока, через которую проходит электрический ток,<sup>1</sup> вращается вокруг магнитного полюса, или же при котором возбуждается ток в той же проволоке, когда ее заставляют вращаться вокруг того же полюса (114), показывает электрическую связь магнита и проводника; эта связь имеет место и тогда, когда ток пропускается через проволоку заранее, и тогда, когда он возбуждается движением. В принципе это та же связь, которая уже была обнаружена в упомянутых выше рассуждениях и которая охватывает в экспериментальном отношении все случаи электрических токов, какова бы ни была среда, в которой они возникают, вплоть до токов, происходящих от разряда Лейденской банки или разряда между электродами гальванической батареи. Я полагаю, что она указывает также на состояние магнитного или электрического напряжения в окружающем пространстве не только тогда, когда оно занято металлом или проводом, но и тогда, когда оно занято воздухом и другими веществами; ибо каково бы ни было это состояние в каком-нибудь одном случае, оно, вероятно, является общим и потому присущим всем случаям (3173).

3273. Теперь я осмелюсь на некоторое время стать на точку зрения физического существования внешних линий магнитной

---

находящиеся внутри и вне магнита, в отношении силы эквивалентны друг другу. Если нужно говорить о каждой из них в отдельности, их легко различать, как внутренний и внешний сфондилоиды; поверхность магнита представляется здесь частью поверхности радела.

<sup>1</sup> Экспериментальные исследования, т. II, стр. 183

силы, чтобы выяснить, как это предположение будет согласоваться с общими явлениями магнетизма. Магнит, очевидно, является силой, поддерживающей (магнетизм); из всех теорий, которые были созданы в отношении его внутренних свойств или свойств его частиц, нет ни одной, которая по правдоподобию и по красоте приближалась бы к теории Ампера (1659). Проводимая в ней аналогия магнита с катушкой великолепна; однако все же в экспериментальном отношении между ними имеется резкое различие. Ибо неизменяемый магнит никогда не может возбудить в куске мягкого железа магнетизм более сильный, чем его собственный, как мы его измеряем динкующейся проволокой (3219). Катушка же, по которой проходят ток, может возбудить в железяном сердечнике магнитные силовые линии, обладающие в сто или более раз большей силой, чем она сама, если эти силы измерять тем же способом. Таким образом с любой точки зрения магнит заслуживает самых тщательных исследований ученого, направленных к постижению его природы, и как магнит сам по себе, и как источник электричества. Мы должны познать великий закон, в свете которого эта кажущаяся аномалия исчезнет, и все эти разнообразные наблюдаемые нами явления предстанут как *нечто единое*.

3274. Физические силовые линии при выходе из магнита в (окружающее) пространство обнаруживают весьма большое разнообразие формы (3238). Иногда они очень резко преломляются и выходят из магнита под прямым или тупым или острым углом, как в случае твердого, сильно заряженного стержневого магнита (см. таблица VI, 2); в других случаях изменение формы линии при переходе из магнита в (окружающее) пространство бывает более постепенным, как для круглой пластинки или шарового магнита (табл. VI, 3, 4, 5). Здесь результат в большой мере зависит от формы магнита, как источника линий; но я полагаю, что и свойства, и состояние окружающей среды также играют здесь существенную и очевидную роль, как я попытаюсь в дальнейшем показать.

Прежде всего это преломление линий должно обуславливаться различием в свойствах магнита и окружающей среды или пространства; чем это различие больше, чем, следовательно, переход резче, тем сильнее излом силовой линии. В случае Земли, как самое ее вещество, так и форма способствуют тому, чтобы преломление силовых линий у ее поверхности было очень постепенным; вследствие этого линия наклонения при обычных обстоятельствах не изменяется заметным образом для одного и того же места, независимо от того, где мы его измеряем: на самой поверхности, над нею или под нею.

3275. Хотя мы можем и должны предполагать, что физические силовые линии магнита продолжаются на бесконечное расстояние вокруг него, пока магнит остается совершенно один (3110), однако под влиянием других систем магнитной силы эти линии могут сгущаться и сжиматься до весьма малого объема. Это показано рис. 6 на табл. VI. После тех экспериментальных результатов, которые изложены в серии XXVIII в отношении определенности магнитных действий (3109), я не сомневаюсь, что сфондилоид, представляющий полную силу, должен оказывать на движущуюся проволоку такое же действие, как и неограниченный сфондилоид, который получился бы в том случае, если бы небольшой магнетик находился в пустом пространстве; в опыте же, на основании которого получен рис. 6, сфондилоид имел площадь сечения менее двух квадратных дюймов.

3276. Магнит с окружающим его силовым сфондилоидом можно считать, в отношении его свойств, аналогичным гальванической батарее, погруженной в воду или другой электролит, или же электрическому угрю (1773, 1784), или скату в тот момент, когда это животное по собственному желанию наполняет окружающую жидкость электрическими силовыми линиями. Мне кажется, что аналогия с помещенной таким образом гальванической батареей ближе, чем с каким-либо случаем *статической* электрической индукции. В самом деле, в первом примере физические линии электрической силы проходят как че-

рев батарею, так и через окружающую среду, ибо они образуют замкнутые кривые, подобные тем, которые я вообразил внутри и вне магнита. Направление этих электрических силовых линий можно проследить экспериментально различными способами. В батарее и вблизи батареи их можно обнаружить посредством магнитной стрелки, свободно подвешенной в жидкости, ибо она установится под прямым углом к направлению линий. Их обнаружат также две проволоки гальванометра; ибо если линия, соединяющая оба (их) конца в жидкости, будет перпендикулярна к линиям электрической силы (или тока), то никакого действия гальванометра не получится; если же она будет направлена наклонно или параллельно им, гальванометр покажет отклонение. Направление линий может быть обнаружено и с помощью металлической пластинки или проволоки или шарика в жидкости, если только здесь может иметь место электролитическое действие, например, если в жидкость добавлено немного ацетата свинца. В этом случае электролиз будет максимальным в направлении тока или силовой линии, а в перпендикулярном направлении не будет вовсе никакого действия. Тот же шарик будет возмущать и изгибать линии электрической силы в окружающей жидкости, точно так же, как было мною показано для случая парамагнитных тел среди магнитных силовых линий (2806, 2821, 2874). Я полагаю, никто не усомнится в том, что, пока батарея погружена в жидкость и ее полюсы находятся в соприкосновении с жидкостью, линии электрической силы, обладающие физической реальностью, имеются повсюду и в ней, и в окружающей ее жидкости.

3277. Я представляю себе, что когда магнит находится в свободном пространстве, то вокруг него имеется такая среда (в магнитном отношении). Из результатов прежних опытов (2787) следует, что пустота обладает своими особыми свойствами притяжения и отталкивания; и вследствие этого пустота по отношению к материальным телам стоит не на одном из концов их ряда, а *посередине*, скажем, между золотом и пла-

тиной (2399), а другие тела располагаются по ту и другую сторону. Что представляет собою эта окружающая магнитная среда, лишенная всякого материального вещества, этого я не могу сказать; может быть, это -- эфир. Я склонен считать, что эта внешняя среда имеет *существенное* значение для магнита, что именно она соединяет друг с другом внешние полярности криволинейными силовыми линиями и что таким образом их связь следует рассматривать, как необходимость. Точно так же обстоит дело и в рассмотренном выше случае батареи, ибо ни внутри, ни вне ее не может получиться никаких силовых линий, если эта связь будет прервана путем удаления или устранения проводящей среды или в случае статической электрической индукции, которая невозможна, если не допустить этого состояния связи (1169).<sup>1</sup> А потому я считаю, что без этой внешней взаимно-обусловленной связи полюсов или их связи с другими полюсами, поддерживаемой или осуществляемой подобным же образом, магнит существовать не мог бы. Абсолютный северный или южный магнетизм, или северный или южный магнетизм без взаимной связи так же невозможны, как и абсолютное или не обусловленное связью состояние положительного или отрицательного электричества (1178).

3278. При этой точке зрения на магнит среда или пространство, его окружающее, играют столь же существенную роль, как и самый магнит, будучи частью настоящей и полной магнитной системы. Многочисленные опыты показывают нам, что отношение линий к окружающему пространству можно изменить, если заполнить его различными веществами; точно так же, как и отношение светового луча к пространству, через которое он проходит, может быть изменено, если поместить в этом пространстве различные вещества; так же влияет среда на линии электрической силы, среда, в которой развивается индукция или проводимость. Это изменение по отношению

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, март, 1843; или Экспериментальные исследования, т. II, стр. 385.

к магнитной силе следует считать зависящим от способности окружающей среды осуществлять взаимную связь двух внешних полярностей или служить носителем физических силовых линий. Выше я по другому поводу до некоторой степени исследовал это изменение и его последствия, пользуясь для обозначения физического действия, производимого присутствием парамагнитных или диамагнитных тел, словами «*магнитная проводимость*» (2797).

3279. Если, например, кусок холодного железа (3129) или никеля (3240) ввести в магнитное поле, первоначально занятое воздухом или просто пустое, то происходит сгущение в нем силовых линий, и через такое заполненное пространство передается больше силы, чем если бы парамагнитного тела в нем не было. Вследствие этого силовые линии сходятся к нему или расходятся от него, давая то, что я называю полярностью проводимости (2818); и это — все произведенное действие, в смысле количества силы; ибо ничего здесь ни в малейшей степени не прибавляется к этому количеству, внешнему по отношению к магниту и не отнимается от него (3218, 3223). Возникает новое распределение силы; ибо некоторая часть ее проходит теперь там, где прежде не проходила, будучи удалена с тех мест, куда она первоначально передавалась. Предположим, что магнит заключен в окружающей сплошной железной массе: тогда действие высокой проводимости последней состояло бы в том, что сфера внешнего действия и различные сфендилоиды, которые, как мы предполагаем, образуются в различных ее частях, сильно сжались бы по направлению внутрь. Если бы мы могли ввести в толщу железа магнитную стрелку, она показала бы весьма значительное уменьшение, а может быть, по видимости, и полное уничтожение внешнего действия этого магнита. Однако движущаяся проволока обнаружила бы, что оно присутствует здесь в полной мере (3152, 3162) в весьма концентрированном состоянии, как она обнаруживает его и в самой толще магнита (3116); и сила внутри магнита, если он твердый и хорошего качества, осталась бы та же.

3280. Причина, почему магнитная стрелка не дает правильных указаний относительно количества силы, имеющегося в данном пространстве, заключается в следующем: если она хорошего качества, то, в силу необходимого условия твердости, она не может пропустить через свою массу больше силовых линий, чем она в состоянии возбудить (3223). Но вследствие слияния одинаковых силовых линий, продолжающих одна другую (3226), такая стрелка, будучи окружена плохим магнитным проводником, привлекает на себя многие из тех линий, которые в ее отсутствие прошли бы в другом месте, получает большую магнитную полярность, и в соответствии с этим находится и оказываемое на нее действие. Насколько я могу судить, все опыты указывают на то, что притяжения и отталкивания являются лишь следствиями стремления укорачиваться, присущего магнитным линиям (3266). Поэтому, если магнитная стрелка окружена средой, проводимость которой постепенно возрастает, то кажущимся образом она обнаруживает поблизости от себя все меньше и меньше силы, хотя в действительности сила возрастает там все более и более. Мы легко можем представить себе очень твердую и слабо заряженную магнитную стрелку, окруженную такой средой, например мягким железом, которая обладает лучшей, чем она, проводимостью, т. е. которая передает путем проводимости больше силовых линий, чем стрелка может принять на себя или передать по состоянию своего заряда (3298). Мне кажется, что в этом случае стрелка, если бы она могла свободно двигаться, должна была бы внутри железа весьма слабо стремиться к определенному направлению, вследствие слияния силовых линий, но отталкивалась бы как целое от основного магнита, аналогично действию на диамагнитное тело. Как я указал выше, принцип движущейся проволоки может быть с успехом применен в тех случаях, когда принцип магнитной стрелки не дает результата (3155).

3281. Если рассматривать, в их отношении к окружающему пространству, другие парамагнитные тела, кроме железа, то

их действия можно предполагать пропорциональными их проводимости. Если бы окружающей средой была твердая сталь, то сжатие силовых сфондилоидов было бы значительно меньше, чем в случае железа; и действия на магнитную стрелку имели бы место в ограниченной мере. Если бы мы взяли раствор протосульфата железа, действие получилось бы еще более слабое. Если бы мы изготовили раствор, подобрав его так, чтоб он не имел ни парамагнитных, ни диамагнитных свойств (2422), то по отношению к силовым линиям он был бы равносильен пустоте. Если бы мы взяли диамагнитное тело, как вода, стекло, висмут или фосфор, то величина действия сфондилоидов возросла бы (3279); и действие на магнитную стрелку видимым образом усилилось бы, хотя она и оказалась бы помещенной в области, через которую проходило бы меньшее количество силы, чем ранее (3155). Придет ли какое-либо тело, играющее роль проводника, хотя бы железо, под действием индукции на его частицы временно в состояние, подобное соответствующему состоянию магнита, этот вопрос я уже ставил по другому поводу (2833); но я оставляю его подробное исследование и разрешение на будущее время.

3282. Явления, зависящие от формы и размеров магнитов, по-видимому, удивительно хорошо согласуются с высказанной мною точкой зрения на действия окружающей среды. Если эта среда обладает свойством, равносильным проводимости, так что в различных случаях получается различие в проводимости, то это по необходимости вызывает также противодействие или сопротивление. Без этого не могло бы существовать различия. Подобный пример постоянно представляет нам электрическая сила. Если поэтому придать магниту не форму бруска, а подковообразную форму, то мы убеждаемся сразу, что силовые линии и сфондилоиды в большой степени искажены и потеряли свою прежнюю правильность; что линия максимальной силы, идущая от полюса к полюсу, возрастает по мере того, как форма магнита становится ближе к подковообразной; что сила

собирается на этой линии или скопляется около нее именно потому, что путь в плохо проводящей среде, т. е. в воздушном пространстве между полюсами, становится короче. Согнутая концами гальваническая батарея в окружающей ее среде (3276) или электрический угорь, изогнувшийся в момент своего специфического действия, обнаруживают в точности те же явления.

3283. Каким именно образом якорь или вторичный магнит, помещенный в должном месте, уменьшает силу магнита в окружающем пространстве, понятно само собою. Это — замена плохого проводника хорошим; через него передается гораздо большее количество силы магнита, чем через то же самое пространство перед тем, а потому ее передается меньше в других местах. Если подковообразный магнит намагнитить до насыщения при наложенном якоре и определить его силу, то удаление якоря вызовет уменьшение силы. Это происходит (согласно гипотезе) потому, что железный якорь, вследствие своей проводимости, мог поддержать более высокую степень внешней магнитной силы, а потому *магнит* мог принять и удержать более сильную степень намагничивания. Этот случай сходен со случаем стального кольцеобразного магнита, который, будучи намагничен, не обнаруживает внешних признаков силы, ибо силовые линии в одном участке продолжаются в каждом другом участке кольца; но если его разломать, он обнаруживает сильную полярность и внешнее действие, потому что линии, проходившие ранее в определенной точке через непрерывный магнит, должны теперь проходить и продолжаться в окружающем пространстве.

3284. Эти результаты в свою очередь согласуются с одним фактом, который частью легко проверить, а именно: если мягкое железо окружает магнит и находится в соприкосновении с его полюсами, то этот магнит может принять значительно больший заряд, чем в том случае, когда он окружен веществом менее парамагнитным, как например воздух. Приведем и другой факт; если на концах магнита находится массы мягкого

железа, то магнит может принять и удержать более высокий заряд, чем если их нет, потому что через эти массы проходят физические линии сил и переходят в часть окружающего пространства. Эта часть или расширяется и потому увеличивается в направлении, перпендикулярном силовым линиям, или сокращается в направлении, им параллельном, или и то, и другое. Оба эти обстоятельства облегчают проводимость от полюса к полюсу и связь внешних линий с силовыми линиями *внутри* магнита. В этом же смысле полезна и арматура у естественного магнита. Все эти действия и приемы согласуются с той точкой зрения, что пространство или среда, внешние по отношению к магниту, имеют столь же важное значение для существования магнита, как и вещество его самого.

3285. Магниты как большие, так и малые, могут быть пересыщены, и тогда, если предоставить их самим себе, их сила падает; это происходит сначала быстро, если пересыщение значительно, а затем более медленно. По нашей гипотезе, это объясняется тем, что окружающая среда, вследствие своей слабой магнитной проводимости, не способна поддерживать более высокую степень заряда. Если бы проводимость достаточно возросла, то магнит не был бы пересыщен и его сила не падала бы. Так, если бы магнит был окружен железом, его легко можно было бы заставить и принять, и удержать степень заряда, которая сразу уменьшилась бы, если бы железо было внезапно заменено воздухом. Вообще магниты могут быть пересыщены только, если подвергнуть их на время влиянию других источников магнитной силы или влиянию более благоприятной окружающей среды, чем та, в которой они обнаружили пересыщение.

3286. Общеизвестный факт, что небольшие стержневые магниты сравнительно с их размерами значительно сильнее больших таких же магнитов, вполне согласуется с данным выше объяснением действия внешней среды и *говорит в пользу* этого объяснения. Швейную иглу можно намагнитить гораздо сильнее, чем брусок в двенадцать дюймов длины и дюйм в диаметре.

Причина этого, согласно указанному ранее, состоит в том, что возбужденная система в магните (соответствующая гальванической батарее в упомянутой выше аналогии (3276)) лучше поддерживается необходимым совместным действием окружающей среды именно в случае малого магнита. Ибо несовершенная магнитная проводимость этой среды (или вытекающее отсюда состояние натяжения, в которое она приходит) оказывает на магнит обратное действие (3282), а потому, чем меньше сумма возбуждающих сил в центре магнитных сфендилоидов, тем более будет способна окружающая среда содействовать поддержанию результирующей силы. Вполне ясно, что если представить себе двенадцатидюймовый брусок разделенным на множество швейных иголок, причем все они отделены друг от друга, то действующая на них возбуждающая сила, которая проявляется снаружи замкнутыми магнитными кривыми, будет распространена на значительно больший объем окружающей среды, чем если бы все эти иголки были соединены в один стержень.

3287. Факты, наблюдаемые в отношении *длины* и *ширины* стержневого магнита, согласуются с высказываемой здесь точкой зрения на роль внешней среды. Если мы возьмем небольшой насыщенный магнит соответствующих размеров, как например швейную иглу, то, будучи одна, она будет находиться в таком отношении к окружающему пространству, что ее магнитная сила, как только что показано, будет поддерживаться на наивысшем уровне. Если рядом с нею мы поместим другую иглу, то пространство, окружающее эти две иглы, окажется только немногим больше, его проводящие свойства отнюдь не возрастут, а однако оно должно будет удерживать вдвое большую внутреннюю возбуждающую магнитную силу, чем та, которая действовала в случае одной только иглы (3232). Это должно обратное действовать на магниты и вызывать уменьшение их силы. При добавлении еще третьей иглы действие повторяется; и если мы представим себе, что иглы добавляются до тех пор, пока толщина их пучка достигнет одного дюйма,

то получим результат, иллюстрирующий влияние чрезмерно большой толщины, не пропорциональной длине.

3288. С другой стороны, если мы представим себе две такие иглы, помещенные одинаковым образом на одной прямой в некотором расстоянии друг от друга, то для каждой из них окружающая ее система кривых будет занимать некоторую часть пространства. Если мы придвинем их друг к другу равноименными полюсами, они образуют магнит двойной длины; внешние силовые линии сольются (3226), линии на плоскостях соприкосновения почти что исчезнут; линии, исходящие от крайних полюсов, сольются с внутренней стороны и образуют одну большую внешнюю систему, силовые линии которой будут иметь большую длину, чем соответствующие линии для каждой из двух первоначальных иголок. Однако в предположении, что магниты вполне тверды и неизменны, возбуждающая сила в них останется или будет стремиться остаться прежней (3227) по количеству, ибо нет ничего, что могло бы увеличить последнее. Поэтому увеличение длины внешних линий, которые играют для внутреннего действия роль сопротивляющейся среды, будет стремиться уменьшить силу всей системы. В аналогичном примере с гальванической батареей, окруженной дистиллированной водой (3276), произошло бы то же самое, если бы батарея могла быть растянута в воде и если бы ее полюсы таким образом были отодвинуты дальше друг от друга. И хотя в случае предварительно заряженных магнитов можно получить известный эффект, эквивалентный напряжению возбуждения, соединяя несколько из них конец к концу, однако, по-видимому, следствием увеличения расстояния крайних полюсов или внешних взаимно зависимых частей является уменьшение поддержки силы вовне. Статическая электрическая индукция представляет подобный же поясняющий дело пример.

3289. Однако чаще всего влияние длины и толщины проявляется с очевидностью не в том случае, когда мы прикладываем друг к другу магниты, уже заряженные до последней возможности, а в случае бруска, который еще только зарядить.

Будем намагничивать два бруска, одинаковых по качеству стали, твердости и т. п., но один длиною в один дюйм и диаметром в одну десятую дюйма, а другой — такой же длины, но диаметром в пять десятых дюйма; намагничивать их будем до пересыщения; тогда последний, хотя количество стали в нем в двадцать пять раз больше, чем в первом, не сможет удержать в двадцать пять раз большую силу по указанной выше причине (3287): окружающая среда не сможет удержать внешние силовые линии в таком количестве. Но если и то же самое время намагничивать третий брусок в два дюйма длиною и также пять десятых дюйма в диаметре, он может принять значительно большую силу, чем второй. Естественное объяснение этому дает высказанная гипотеза; ибо ограничение силы в обоих случаях зависит не от самих магнитов, а от внешней среды. Более короткий магнит имеет соприкосновение и связь с этой средой по некоторой части своей поверхности, и магнит удержит лишь ту силу, какую среда снаружи этой поверхности может поддержать. Если мы опять удлиним магнит, то у него получится гораздо большее соприкосновение и связь с окружающей средой, чем прежде; а потому сила, которую сможет удержать магнит, также будет больше. С точки зрения моей гипотезы о физических действиях, такой результат вряд ли мог бы иметь место, если бы в магните существовали такие ограниченные точки результирующего действия, какие обыкновенно понимают под словом *полюсы*. Но таких полюсов не существует. Каждый участок поверхности магнита как бы испускает наружу линии магнитной силы, как изображено на табл. VI, рис. 2, 3, 4, 5 (3274). Чем больше магнит до известной степени и чем больше пространство внешней проводящей среды, соприкасающейся с ним, тем свободнее происходит эта передача. Представим себе, что второй магнит, имеющий дюйм в длину, заряжен до предела и что затем в пустоте к его длине прибавляется по куску железа длиною в полдюйма на каждом конце. Мы видим и знаем, что многие из силовых линий, первоначально исходивших из той части поверхности,

которая еще оставалась в соприкосновении с воздухом в экваториальной части, теперь переместятся внутри магнита по направлению к концам и будут исходить из части поверхности мягкого железа. Тем самым обнаруживается, как напряжение ослабляется этой лучшей проводящей средой на концах и возросшей поверхностью соприкосновения с окружающим плоским проводником — воздухом или пустотой. Толстый, короткий магнит, очевидно, может возбудить и удержать гораздо большее количество физических линий магнитной силы, чем то, какое может воспринять и передать от полюса к полюсу окружающее пространство. Увеличение длины магнита оказывается выгодным до тех пор, пока возрастающая сумма силы, которая может быть удержана возрастающим объемом среды в контуре, не станет равна той, которую магнит может удержать или передать внутренним путем. В самом деле, все силовые линии должны пройти через экватор; таким образом длина экватора или толщина магнита оказывается связанной с его длиной. Итак, выгодное увеличение длины стержня ограничено возрастающим сопротивлением внутри стержня, и особенно на его экваторе; а увеличение толщины — возрастающим сопротивлением (для возрастающих сил) внешней окружающей среды (3287).

3290. Весьма интересные результаты получаются при попытке намагнитить правильным образом тонкую стальную проволоку около 15 или 20 дюймов в длину и 0.05 дюйма в диаметре. Этого трудно достигнуть с помощью стержней; и если затем исследовать проволоку посредством оцилок (3234), то оказывается, что на ней имеются неправильные и чередующиеся полюсы, которые изменяются при повторении намагничивания той же самой проволоки, как будто они внезапно ломаются вследствие нарушения чего-то вроде неустойчивого равновесия. Эти явления, по-видимому, надо приписать главным образом упомянутой здесь причине. С другой стороны, если магнит состоит из тонкой, твердой стальной пластинки, у которой длина равна в 10 или 12 меньше ее ширины, то хорошо известно, что силовые линии выходят в весьма большом числе

в его углах, а затем у краев; и что из любого участка на его плоскости выходит гораздо меньше линий, чем из такого же участка на краю, в том же расстоянии от магнитного экватора. Железные опилки наглядно выявляют этот факт, который можно обнаружить также и с помощью колебаний магнитной стрелки или вращения проволочного кольца (3212). Это свойство дискообразного магнита — как раз то самое, какого можно ожидать на основании гипотезы о необходимой зависимости свойств магнита от окружающей его среды.

3291. Взаимная зависимость магнита и внешней среды, которую мы предположили в излагаемой нами точке зрения, подтверждается многочисленными наблюдениями над видимым поверхностным характером магнетизма железа и магнита в различных случаях и, может быть, дает им объяснение. Если намагнитить твердый стальной стержень соприкосновением с другими магнитами, то вследствие близости поверхностных частей стержня к возбуждающему магниту — вначале, и к окружающей удерживающей среде — потом, магнетизм стержня окажется поверхностным. Если небольшой магнетик или подковообразный стержень будет окружен толстой оболочкой из железа как внешней средой, то внутренняя поверхность железа, т. е. ближайшая к магниту, и соседние участки магнита будут содержать больше силы, чем более удаленные участки. Если поместить толстый железный сердечник внутри катушки, по которой проходит слабый электрический ток, то сердечник будет заряжаться сильнее всего там, где он ближе к катушке. Возможно, что обнаружатся или будут позднее найдены другие подобные же факты, и это в значительной мере поможет разрешить вопрос о физических силовых линиях, который мы сейчас рассматриваем.

3292. Если мы будем считать внешнюю среду магнита неоднородной, т. е. одинаковой по магнитному действию, а разнородной в различных ее точках, то и тогда, как мне кажется, наблюдаемые в ней явления окажутся в полном согласии с представлением о физических линиях магнитной силы, которые,

проходя снаружи, являются определенными по направлению и количеству. В ряде находящихся в нашем распоряжении веществ, которые действуют таким образом на окружающее пространство, у нас нет особенно большого выбора, чтобы подобрать различные степени действия. Но мы имеем железо, никель и кобальт, которые, как парамагнитные тела, стоят очень высоко в этом ряду, а затем твердую сталь, стоящую уже гораздо ниже. Затем, может быть, окислы железа и далее, через растворы магнитных металлов, к кислороду, воде, стеклу, висмуту и фосфору в направлении к диамагнетизму. Если мы возьмем за источник силы земной магнетизм и поместим в воздухе железный или никелевый шар, то мы можем проследить, наблюдая, как устанавливается магнитная стрелка, или в другом виде с помощью железных опилок (3240) уклонение силовых линий от их первоначального пути при их вхождении в шар и выход из него, в зависимости от проводимости парамагнитного тела. Форма этих линий была описана в другом месте (3238). Возьмем большой магнитный стержень и приблизим к его концу кусок мягкого железа, ширина которого пусть составляет около половины ширины магнита, а длина — втрое или вчетверо превышает ширину, причем он должен отстоять от полюса магнита на расстояние, равное своей собственной ширине; покроем все бумагой и будем наблюдать силовые линии при помощи железных опилок. Мы увидим, как красиво они, выйдя из магнита, сходятся изящными изгибами к железу, причем входят на сравнительно небольшой площади, а выходят значительно более размытыми потоками на гораздо большей поверхности на отдаленном конце бруска (табл. VI, 7). Если мы возьмем различные куски железа, например кубики, то увидим, что линии силы, проходящие совершенно вне их, иногда обнаруживают волнообразные изгибы в различных направлениях (табл. VI, 8). Но во всех этих случаях — шарика, стержня или кубика — я, по крайней мере, с удовлетворением вижу, что сечение через одни и те же силовые линии в любом месте их пути, куда бы и как бы они ни отклонялись, дает одно и

то же количество действия (3109, 3218); в то же время этот эффект отклонения не только совместим с представлением о физической силовой линии, но и определенно его подсказывает.

3293. С этими явлениями вполне согласуется то, каким образом в этих случаях исчезает сила обыкновенной магнитной стрелки. Если небольшую стрелку поместить вблизи бруска из мягкого железа, описанного выше (3292), то она обнаруживает значительно меньше магнитной силы, чем в том случае, когда железо отсутствует. Если ее поместить в полости, сделанной в железе, она остается почти безразличной по отношению к магниту; но еще имеющаяся сила показывает, что общее направление линий, проходящих через воздух в полости, то же, что и линий, проходящих через находящееся вблизи железо. Эти факты, без сомнения, хорошо известны; моя цель состоит только в том, чтобы показать, что они совместимы с представлением о магнитной проводимости внешней среды и даже подтверждают это представление. Но эти кажущиеся уничтожения силы и даже еще более аномальные случаи (2868, 3155), вполне объясняются нашей гипотезой; и движущаяся проволока экспериментально обнаруживает существование силы, совершенно неизменной по величине. Я имел ранее случай указать на изменение магнитной силы (в отношении к магнитной стрелке), когда, не изменяясь по абсолютной величине, она проходит через лучшие или худшие проводники, и при этом я, для того момента, употреблял слова *количество* и *напряжение* (2866, 2868, 2870). Но я не хотел бы теперь делать попытку к ограничению или определению этих терминов или других, им подобных, как бы это ни было необходимо. Я хочу подождать до тех пор, пока все то, что в настоящее время является, самое большее, предположением, будет проверено и, оказавшись верным, получит подтверждение в мнениях или свидетельствах других.

3294. Соединенные магнита с магнитом и все результаты, которые при этом получаются (3218), находятся, сколько я могу судить, в согласии с представлением о физической линии маг-

нитной силы. Если все магниты могут свободно двигаться, они повертываются друг к другу, а затем стремятся сблизиться; важнейшим следствием этого является то, что линии из всех источников стремятся слиться, пройти через лучшие проводники и сократиться в длину. Если имеется несколько магнитов и они ограничены в своем движении, силовые линии, которые выявляются с помощью опилок, оказываются особенно разнообразными и красивыми (3238); но их все легко исследовать и объяснить на основании изложенных мною принципов. Поскольку сила сохраняет определенную величину, ее перемещение с места на место, в зависимости от изменения расположения магнитов или от введения в окружающую среду лучших или худших проводников, может быть объяснено весьма просто.

3295. Так как магниты можно рассматривать как вместилище пучков силовых линий, то они, по всей вероятности, могут дать нам представление о свойствах силовых линий и тогда, когда они наблюдаются в окружающем пространстве, точно так же, как электрические токи одинаковы по своим основным свойствам, все равно, где они проходят: по твердым проволокам или же через воздух или пустоту, как при лейденской или гальванической искре. В этом случае отталкивание магнитов, помещенных рядом, указывает на стремление магнитных силовых линий разойтись в стороны (3267). Этот результат следует, однако, рассматривать в связи с одновременным схождением земных силовых линий в пространстве, окружающем каждый магнит, а также стремлением магнита образовать свою собственную независимую внешнюю среду. Это — то же явление, как отталкивание в разные стороны железных шаров в первоначально равномерном магнитном поле (2814); оно в свою очередь, если рассматривать действия в двух направлениях, т. е. параллельно и перпендикулярно магнитной оси, связывает явления расхождения с явлениями притяжения.

3296. Когда я говорю, для иллюстрации рассматриваемого вопроса, о магнитах, я разумею магниты, совершенные в своем роде, т. е. такие, которые очень тверды и держат свой заряд.

В них не должно происходить какой-либо реакции внутреннего разряда или приобретения заряда (3224), ни каких-либо внешних изменений, кроме таких, которые могут быть вызваны такой абсолютной и перманентной потерей возбуждающей силы, которая может иметь место при подавляющем изменении внешних условий. Неоднородные магниты, в которых могут происходить неправильные колебания силы, выпадают из настоящего рассмотрения.

3297. Основной вопрос, который мы рассматриваем, просто-напросто таков: обладают ли линии магнитной силы *физическим существованием* или нет? Мы можем разрешать такой вопрос и даже, может быть, удовлетворительно, хотя мы и не в состоянии входить в дальнейшие рассуждения о том, как они дают отчет о магнитном притяжении или отталкивании, или даже какому состоянию пространства, эфира или материи эти линии соответствуют. Если оконечности прямого магнитного бруска или полярности круглой стальной пластинки (3274) внешне связаны между собой в магнитном отношении (3257), то, я думаю, можно признать существование *кривых* магнитных силовых линий (3258, 2633);<sup>1</sup> а если это так, то приходится согласиться и с физической природой этих линий. Если же отрицать внешнюю связь полюсов, или полнрность, то, по-моему, надо отрицать и внутреннюю связь; а тогда очень большое число старых и новых фактов (3070 и т. д.) останется не объясненным теоретически или какой-нибудь гипотезой, и нельзя будет дать хотя бы смутного их толкования.

3298. Возможно, что как магнитное притяжение, так и отталкивание, во всех формах и во всех случаях, сводятся к дифференциальному действию (2757) магнитов и веществ, которые занимают пространство и изменяют его магнитную силу. Магнит прежде всего порождает линии магнитной силы; далее, если имеется другой магнит, то в одном положении он свободно проводит новые линии, подобно парамагнитному

<sup>1</sup> См. для случая кривых линий сгущенную и сжатую систему сил, принадлежащих центральному круговому магниту (табл. VI, 6) (3275).

телу; если же удержать его в обратном положении, он противится их прохождению и уподобляется сильно диамагнитному веществу. Итак, если мы имеем источник магнитных линий, а также магниты или иные тела, действующие на проводимость пространства и изменяющие ее, то возможно, что тела, которые могут проводить наибольшую силу, будут путем дифференциального взаимодействия с другими телами стремиться принять те положения, в которых это может осуществиться с наибольшей легкостью. Они или установятся в направлении на эти тела, или приблизятся к ним; более хороший проводник перейдет в место более сильного действия (2757), тогда как худший удалится от него, и таким образом может получиться и то и другое действие — и притяжения, и отталкивания. Стремление магнитных силовых линий укорачиваться (3266, 3280) вполне совместимо с таким представлением. Этот результат будет иметь место независимо от того, какое состояние приписывать физическим силовым линиям: динамическое или статическое (3269).

3299. Вначале я обозначил термином *линия магнитной силы* отвлеченное представление, которое, я полагаю, точно выражает природу, свойства, направление и относительное количество магнитных сил, безотносительно к каким-либо физическим свойствам силы. Теперь, говоря о *физической силовой линии*, я подразумеваю в этом термине дальнейшее развитие представления об их физической природе. Существование первого рода линий я *утверждаю* на основании точного опыта (3071 и далее). Относительно второго рода линий я высказываюсь в пользу их существования — главным образом с целью поставить вопрос об этом существовании. Я не высказал бы этих соображений, если бы, с одной стороны, не считал их важными, а с другой — не предполагал, что вопрос этот в будущем получит положительное решение. Однако я высказываю свое мнение с некоторой неуверенностью, с той неуверенностью, которая всегда сопутствует моим попыткам сделать те или иные заключения по вопросам, относящимся к самым глубоким областям

науки: например, сколько существует электрических жидкостей: одна, две или вовсе ни одной; или вопрос об истинной природе светового луча, или о природе притяжения, даже самого тяготения, или об общей природе материи.

*Королевский институт.  
8 марта 1852 г.*

## О ФИЗИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ МАГНИТНОЙ СИЛЫ

*(Royal Institution Proceedings, 11 июня 1852)*

Мы описали и определили ранее<sup>1</sup> некоторые линии вокруг стержневого магнита (те, которые становятся видимыми для глаза при посредстве железных опилок, рассыпанных вблизи магнита); мы указали на то, что они в точности изображают природу, свойства, направление и величину силы в любой данной области внутри или вне стержня. Тогда эти линии рассматривались лишь отвлеченно. Сейчас мы не уклонимся ни от чего, что было сказано тогда, и ни от чего не откажемся, но займемся исследованием того, насколько возможно и правдоподобно *физическое существование* таких линий. Те, кому желательно пересмотреть некоторые пункты, относящиеся к этим областям науки о магнетизме, могут обратиться к двум статьям в первой части *Phil. Trans.* за 1852 г.<sup>2</sup>, где найдут данные, относящиеся к силовым линиям, как *изображающим* магнитную силу, и к статье *Phil. Mag.*, серия 4, 1852, т. III, стр. 401, где найдут доводы в отношении *физических* силовых линий.<sup>3</sup>

Многие силы очевидным образом обнаруживаются на расстоянии; их физическая природа для нас непостижима; все же мы можем узнать о них много реального и положительного, в том числе можем до известной степени уяснить себе состояние пространства между телом, которое оказывает действие, и телом, на которое оказывается действие, или же между двумя

<sup>1</sup> См. стр. 559.

<sup>2</sup> См. стр. 457.

<sup>3</sup> См. стр. 565.

взаимодействующими телами. Такие силы представляются нам в явлениях тяготения, света, электричества, магнетизма и т. д. Когда мы их исследуем, мы обнаруживаем замечательные различия в соответствующих им силовых линиях. В некоторых случаях таким образом устанавливается существование реальных физических линий; этим облегчается рассмотрение вопроса специально в применении к магнетизму.

Если два тела  $a$ ,  $b$  тяготеют друг к другу, то линия, по которой они действуют, есть прямая, ибо такова линия, по которой оба они перемещались бы, если бы могли двигаться свободно. Сила притяжения не изменяется ни по *направлению*, ни по *величине*, если мы заставляем третье тело действовать силой тяготения или какой-либо иной на одно из рассматриваемых тел или на оба. Уравновешенный латунный цилиндр тяготеет к земле совершенно одинаковым весом и тогда, когда он висит над нею свободно, подобно маятнику, и тогда, когда он отклонен в сторону каким-либо другим притяжением или напряжением, какова бы ни была его величина. На  $a$  может действовать новая сила тяготения, но это ни в какой мере не влияет на величину силы, с которой  $a$  действует на  $b$ . Нет никакого доказательства тому, чтобы в проявление этой силы каким-либо образом входило *время*, каково бы ни было расстояние между взаимодействующими телами, будь то от Земли до Солнца или от звезды до звезды. Мы не можем представить себе эту силу действующей в одной только частице, взятой отдельно от других; мы понимаем ее только, когда имеются две частицы или более. Но даже усваивая это представление, мы не замечаем никакого различия в действии силы на различные частицы; все силы одного и того же рода *равны*, *взаимны* и *одинаковы*. В случае тяготения мы не обнаруживаем никакого явления, которое говорило бы в пользу представления о независимой или физической линии силы; и насколько нам это известно в настоящее время, линия тяготения есть лишь некоторая мысленная линия, изображающая направление, в котором действует сила.

Рассмотрим Солнце с точки зрения другой силы, которую оно проявляет относительно Земли, именно силы освещающей и согревающей. В этом случае лучи (которые представляют собою силовые линии) проходят через промежуточное пространство; но здесь мы можем оказывать на эти линии действие при помощи различных сред, расположенных на их пути. Мы можем изменить их направление посредством отражения или преломления; мы можем заставить их идти по криволинейным или ломаным путям. Мы можем отрезать их от их источника и затем искать их и найти, прежде чем они достигнут своей конечной цели. Они связаны с *временем* и требуют 8 минут, чтобы пройти от Солнца до Земли; таким образом, они могут существовать независимо и от своего источника и от места, в которое в конце концов приходят. Таким образом, они имеют ясно различимое физическое существование. В этом смысле они представляют резкую противоположность силовым линиям тяготения, так же как и в смысле свойств, которыми они обладают на концах. Два тела на концах силовой линии тяготения одинаковы по своим действиям во всех отношениях, и поэтому прямая, их соединяющая, имеет одинаковые свойства в обоих направлениях. Два тела на концах луча совершенно различны по своему действию: одно является источником линии, другое ее уничтожает; и самая линия имеет свойство потока, идущего в одном направлении. Этими двумя примерами — тяготения или излучения — различие между воображаемой и физической линией силы выясняется сразу.

Обращаясь к случаю статического электричества, мы находим здесь притяжения (и другие действия) на расстоянии, как и в предыдущих случаях; но если займемся сравнением этого притяжения с притяжением, которое обусловлено тяготением, мы видим весьма резкие различия, имеющие непосредственную связь с вопросом о физической силовой линии. Во-первых, рассматривая тела, ограничивающие или заканчивающие линии притяжения, мы, как и прежде, находим, что, взаимодействуя, они участвуют в этом действии в равной мере;

но они не одинаковы: напротив, хотя каждое из них обладает силой, которая, вообще говоря, одна и та же по природе, но между ними имеется некоторая противоположность; а именно, их действия на третье тело, находящееся в этом же состоянии, что и которое-нибудь из этих тел, в точности противоположны друг другу: одно отталкивает то, что другое притягивает; и действие обнаруживается как одно из проявлений такой силы, которая одарена свойствами двойственности и противоположности. Но для всех таких сил с двойственными свойствами притяжение может иметь место лишь в том случае, когда имеются налицо оба вида силы и когда они противопоставлены друг другу через посредство силовых линий. Другое существенное ограничение состоит в том, что силы этих двух видов должны быть в точности равны по величине не только для того, чтобы вызвать притягательное действие, но и в любом другом случае; ибо невозможно сделать так, чтобы имелось или было возбуждено больше электрической силы одного рода, чем другого. Еще одно ограничение состоит в том, что они должны находиться в физической связи друг к другу; и если мы имеем две связанные таким образом поверхности, из которых одна заряжена положительно, а другая отрицательно, то, чтобы нарушить эту связь, мы необходимо должны уравновесить силы этих поверхностей равными величинами противоположных им сил, которые нужно взять откуда-нибудь, извне. Еще ограничение: действие определено по своей величине. Если шарик *a* заряжен 10-ю единицами положительного электричества, его можно заставить оказывать действие этой величины на шарик *b*, заряженный 10-ю единицами отрицательного электричества; но если 5 единиц его действия отнять третьим шариком *c*, заряженным отрицательным электричеством, то он может действовать на шарик лишь 5-ю единицами действия, и шарик *b* должен взять откуда-то или возбудить еще 5 единиц положительного действия. Это совершенно не похоже на то, что имеет место при тяготении, которое ничем не обнаруживает нам характера двойственности. Наконец, электрическая сила дейст-

вует по кривым линиям. Если шарик наэлектризован положительно и изолирован в воздухе, а против него на расстоянии около 12 или 15 дюймов помещена круглая неизолированная металлическая пластинка, то последняя, в силу сказанного выше, необходимо будет в отрицательно заряженном состоянии; притом она будет отрицательно заряжена не только со стороны, обращенной к шару, но и с другой или внешней стороны. Это можно доказать, если приложить к ней проводник-переносчик или же если подвесить вблизи этой внешней поверхности золотой или серебряный листочек. Но сила, действующая на эту поверхность, не проходит через неизолированную пластинку, ибо достаточно тончайшего золотого листочка, чтобы уничтожить индуктивное действие; следовательно, она проходит вокруг краев пластинки, т. е. действует по кривым линиям. Все эти обстоятельства указывают на существование физических линий электрической силы: абсолютно необходимая взаимная связь положительных и отрицательных поверхностей и их взаимная зависимость, несмотря на известную подвижность сил, не допускают иного заключения. Действие по кривой линии также обуславливается физической силовой линией. И третье существенное свойство силы, из которого вытекает то же следствие, это — влияние, которое оказывают на него среды, имеющие различные удельные индуктивные способности.

Если мы перейдем к динамическому электричеству, то очевидность существования физических силовых линий выступает еще более явственно. Гальваническая батарея, концы которой соединены проводящей средой, дает то, что было выразительно названо током силы, пробегающим в контуре; но этот ток есть ось действия, в которой имеются равные и противоположные силы в противоположных направлениях. Он состоит из силовых линий, которые сжимаются или расширяются в зависимости от поперечного действия проводника; они изменяют свое направление с изменением формы проводника; они имеются во всех частях проводника и могут быть изъяты из любого места, если

предоставить для этого соответственные пути; и никто не сомневается в том, что это — физические линии силы.

Наконец, обращаемся к магниту, который является предметом настоящего сообщения. Магнит представляет собою систему сил, совершенную и самостоятельную, т. е. способную существовать благодаря собственным взаимным связям. Он обладает свойствами двойственности и противоположности, присущими и статическому, и динамическому электричеству; и это проявляется в том, что мы называем его полярностями, т. е. в противоположных силах одинакового рода, которые имеются на его концах и около них. Оказывается, что эти силы абсолютно равны друг другу; ни одну из них нельзя изменить по величине ни в какой мере без того, чтобы не последовало такого же изменения в другой силе; и это справедливо также и тогда, когда противоположные полярности магнита связаны не друг с другом, а с полярностями других магнитов. Полярности, или *северный* и *южный* магнетизмы магнита, не только связаны друг с другом через самый магнит или внутри него, но они также связаны извне (магнита) с противоположными полярностями (наподобие статической электрической индукции); иначе они не могут существовать; и эта внешняя связь необходимо обуславливает наличие точно такой же величины новых противоположных полярностей, с которыми связаны полярности магнита. Таким образом, если сила магнита  $a$  связана с силой другого магнита  $b$ , она не может действовать на третий магнит  $c$  без того, чтобы от  $b$  не было отнято количество силы, пропорциональное ее действию на  $c$ . Движущаяся проволока показывает, что линии магнитной силы существуют как внутри, так и вне магнита; она показывает также, что эти линии представляют собою замкнутые кривые, которые в некоторой части своего пути проходят через магнит; а количество линий внутри магнита на его экваторе в точности равно, в отношении силы, их количеству снаружи в любом сечении, заключающем все эти линии. Направление силовых линий вне магнита можно изменять, если на их пути помещать различные

вещества. Никаким способом нельзя получить магнит, имеющий лишь один род магнетизма или хотя бы самый малый перевес северного магнетизма над южным, или наоборот. Если полярности магнита не связаны вне магнита с силами других магнитов, то они связаны друг с другом: т. е. северная и южная полярности изолированного магнита вне его связаны и взаимно друг друга поддерживают.

Все эти факты, и еще многие другие, указывают на существование физических силовых линий как вне, так и внутри магнитов. Они существуют в виде не только прямых, но и кривых линий; ибо если мы представим себе изолированный прямой стержневой магнит или еще лучше круглый стальной диск, правильно намагниченный, так что его магнитная ось совпадает с одним из диаметров, то очевидно, что полярности должны быть связаны друг с другом снаружи кривыми силовыми линиями; в самом деле, ни одна прямая линия не может одновременно пройти через две точки, обладающие северным и южным магнетизмом. Кривизна силовых линий, по моему мнению, совместима лишь с предположением о физических линиях силы.

Явления, обнаруживаемые движущейся проволокой, подтверждают тот же самый вывод. Когда движущаяся проволока пересекает силовые линии, через нее проходит или стремится пройти электрический ток. Пока проволока не двигалась, такого тока не было. В проволоке, если она находится в покое, такого тока нет, а когда она движется, ей не нужно проходить через те места, где магнитная сила больше или меньше. Она может двигаться по такому пути, что если бы этим путем перемещать магнитную стрелку, она не испытывала бы никакого магнитного действия, т. е. для стрелки было бы совершенно безразлично, движется она или покоится. Можно устроить так, чтобы проволока, находясь в покое, имела те же диамагнитные свойства, что и среда, окружающая магнит, и потому никак не могла бы вызвать изменения в силовых линиях, проходящих через проволоку и среду; и все же, если проволока дви-

жется, в ней возбуждается электрический ток. Один только факт движения не мог бы вызвать этого тока: вокруг магнита должно существовать и им поддерживаться некоторое состояние или условия, в сфере действия которых находится проволока; и это состояние доказывает физическую природу линий магнитной силы.

Каково это состояние и от чего оно зависит, мы сейчас еще не можем сказать. Может быть, оно обусловлено эфиром, подобно световому лучу; была уже указана связь между светом и магнетизмом. Может быть, это — состояние напряжения, или состояние колебания, или еще какое-либо иное состояние, аналогичное электрическому току, с которым так тесно связаны магнитные силы. Необходимо ли для поддержания этого состояния присутствие материи, зависит от того, что понимать под словом «материя». Если понятие о материи ограничить весомыми или тяготеющими веществами, тогда присутствие материи столь же мало существенно для физических линий магнитной силы как для лучей света и теплоты. Но если, допуская эфир, мы примем, что это — род материи, тогда силовые линии могут зависеть от каких-либо ее действий. С экспериментальной точки зрения пустое пространство магнитно; но ведь представление о пустом пространстве должно заключать в себе представление об эфире, если исходить из этой точки зрения. Если впоследствии возникнут какие-либо иные взгляды на состояние или свойства (пустого) пространства, то их нужно будет увязать со свойствами того, что мы называем пустым пространством сейчас в соответствии с данными опыта. С другой стороны, по-моему, можно считать установленным фактом, что присутствие весомой материи не является необходимым для существования физических линий магнитной силы.

## О МАГНИТНЫХ СООТНОШЕНИЯХ И СВОЙСТВАХ МЕТАЛЛОВ<sup>1</sup>

В двух более ранних сообщениях в *Philosophical Magazine*,<sup>2</sup> которые относились к магнитным свойствам металлов вообще, а также к температурам, при которых они приобретают или теряют способность магнитной индукции, я указывал на то, что никель и железо — единственные металлы, обладающие этой способностью, и что я не мог обнаружить ее в кобальте. В этом я ошибался; кобальт, подобно никелю и железу, обладает этим свойством, как указывали другие авторы. Я искал тот кусок кобальта, с которым я производил опыты, считая его при этом чистым, но не мог его найти и теперь не в состоянии установить причину моей ошибки, хотя еще не поздно ее исправить.

Благодаря любезности д-ра Перси (Percy) и м-ра Аскина (Askin) я недавно мог произвести опыты с двумя прекрасными кусками чистого кобальта, изготовленными последним; оба они представляли хорошо сплавленные и вполне чистые массы. Этот металл приобретает сильный магнетизм под влиянием индукции как от магнита, так и от электрического тока, и его легко можно заставить поднять груз, превышающий его собственный вес. Подобно мягкому железу или никелю, он не сохраняет магнетизма, когда индуцирующее влияние прекращается.

Для меня было весьма интересно выяснить, теряет ли кобальт эту способность и становится ли подобным не магнитным металлам, и если да, то при какой температуре. К моему удивлению, последняя оказалась очень высокой, не только много выше, чем для никеля, но и гораздо выше той, какая требуется для железа и стали: она приближается к температуре расплавленной меди. Температура для железа — умеренное красное каление, а для никеля — только температура кипящего

<sup>1</sup> *Philosophical Magazine*, июль 1845.

<sup>2</sup> 1836, VIII, стр. 177 и 1839, XIV, стр. 161; или Экспер. исслед., т. II, стр. 305, 312.

масла. При повышении температуры магнитные свойства кобальта сохраняются, по-видимости, не уменьшаясь, до некоторой определенной температуры, а затем внезапно исчезают; точно так же они внезапно появляются при переходе от еще более высоких температур к низким.

Оксид кобальта, полученная путем сжигания металлического кобальта на древесном угле в струе кислорода, имела вид сплавленного шарика и была не магнитна.

\* Оксид никеля, будучи нагрет, а потом охлажден, не магнитна, но нужно следить за тем, чтобы во время нагревания она не восстановилась. Если нагревать ее в пламени спиртовой лампы, особенно в нижней его части, она нередко представляется не магнитной, а затем при падении температуры становится магнитной. Но причиною этого оказывается восстановление некоторого малого количества окиси — на краях или в другой части массы — до металлического состояния, и тогда металл проявляет свои свойства при температурах выше и ниже магнитной точки.

Марганец. Я имел в распоряжении кусок марганца, изготовленный м-ром Томпсоном и считавшийся чистым. Он содержал следы железа; он был весьма слабо магнитен, возможно, только вследствие присутствия малого количества железа. В струе кислорода на древесном угле он горел, давая искры, наподобие железа, и образовал оксид, которая получалась или в виде пористой белой массы, или в виде плотной, компактной коричневой массы, просвечивающей в тонких слоях, но ни в одном из этих состояний оксид не была магнитна.

Затем я охлаждал <sup>1</sup> марганец, хром и многие другие металлы и вещества до самой низкой температуры, какую я мог получить посредством смеси эфира и твердой углекислоты, помещенных в пустоте; <sup>2</sup> температура не превышала 156° Ф ниже 0°.

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1839, т. XIV, стр. 162; или Эксперим. иссл., т II, стр. 312.

<sup>2</sup> Philosophical Transactions, 1845, стр. 157—158.

но ни одно из этих веществ не обнаружило магнитного состояния. Даю их перечень:

Платина.	Зеркальный металл.
Золото.	Графит.
Серебро.	Ретортный уголь.
Палладий.	Аурипигмент.
Медь.	Реальгар.
Олово.	Сернистая сурьма.
Свинец.	Сернистый висмут.
Кадмий.	Сернистая медь.
Цинк.	Сернистое железо.
Родий.	Сернистый свинец.
Марганец.	Сернистое серебро.
Хром.	Сернистое олово.
Титан.	Карбонат железа (природный).
Иридий и осмий.	Берлинская лазурь.
Сурьма.	Кристаллический сульфат железа.
Мышьяк.	Каломель.
Висмут.	Хлорид серебра.
Легкоплавкий металл.	Окись висмута.
Хлорид свинца.	Окись олова (природная).
Протоксид мышьяка.	Окись марганца (природная).
Протоксид сурьмы.	
Протоксид свинца.	

Отсюда, по-видимому, следует, что среди металлов только железо, никель и кобальт магнитны или могут быть сделаны магнитными, подобно железу; но тот факт, что для уничтожения в них этого свойства требуется примесь кобальта или, еще лучше, высокая температура, увеличивает вероятность<sup>1</sup> того, что все металлы в этом отношении составляют одну общую группу. Упомянутые три металла отличаются только темпе-

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1836, VIII, стр. 177; или Экспер. исслед., т. II, стр. 305.

ратурой от других металлов, подобно тому, как разница температуры отличает их в этом отношении друг от друга.

В связи с этим действием тепла следует указать (а, может быть, это уже было указано) на следующее. Если предположить высокую температуру во внутренности Земного шара, то очевидно, что на весьма малых, в сравнении с диаметром Земли, расстояниях от ее поверхности, вещества, из которых состоит Земля, лишаются тех магнитных свойств, какими обладает магнит. На расстояниях же еще больших ни одно из них не может сохранить даже той способности становиться магнитным под влиянием индукции — способности, какую имеет мягкое железо. В таком случае, если даже считать, что Земля сама по себе магнитна, подобно естественному магниту, или намагничена под влиянием индукции со стороны внешних магнитных масс, как например Солнца, и в том и в другом случаях магнитная сила может развиваться лишь в земной коре. Если предположим вместе с Ампером, что магнетизм Земли обусловлен электрическими токами, окружающими ее параллельно экватору, то, конечно, приведенные выше соображения относительно воздействия тепла оказываются не идущими к делу.

*Королевский институт.*

*7 июня 1846 г.*

## МЫСЛИ О ЛУЧЕВЫХ КОЛЕБАНИЯХ<sup>1</sup>

*Ричарду Филлипсу, эсквайру*

Дорогой сэр, по Вашей просьбе я попытаюсь дать Вам изложение того, что я решился высказать на закрытии последнего собрания в пятницу вечером в связи с отзывом, данным мною об электромагнитном хромоскопе Уитстона. Но прошу помнить, что и с начала и до конца привожу здесь, как материал для размышления, только некоторые смутные представления, возникшие в моем мозгу. Здесь нет ничего, что я рассматривал бы

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 3. XXVIII, № 188, май 1846.

как результат зрелого рассуждения или сложившегося убеждения или даже правдоподобного заключения, к которому я мог прийти.

Вопрос, который я имел в виду предложить вниманию слушателей, заключается в следующем: не представляется ли возможным, чтобы те колебания, которыми, согласно одной из теорий, объясняются излучение и его явления, происходили в силовых линиях, связывающих друг с другом частицы, а, стало быть, и материальные массы? Если допустить такую возможность, то можно было бы обойтись без эфира, который, согласно другой точке зрения, является той средой, в которой совершаются эти колебания.

Вам известны рассуждения,<sup>1</sup> высказанные мною некоторое время назад, по вопросу о природе материи и о том взгляде на нее, согласно которому ее последние атомы суть центры силы, а не какие-то тельца, вокруг которых циркулируют силы, причем тела теоретически считаются независимыми от сил и способными существовать без них. С последней точки зрения, эти частички имеют определенную форму и некоторые ограниченные размеры; с первой точки зрения это не так, ибо то, что представляет собою размеры, можно считать распространенным на любое расстояние, на которое распространяются силовые линии частицы. В этом случае необходимо предполагается, что частица существует только через эти силы и находится там, где находятся они. Рассматривая материю с этой точки зрения, я и пришел постепенно к предположению, что, может быть, силовые линии являются местом, где происходят колебания при явлениях излучения.

Другое соображение, также говорящее в пользу предположения о связи между материей и излучением, возникает при сравнении скоростей, с которыми распространяются действие излучения и некоторые действия материи. Скорость света

---

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1844, т. XXIV, стр. 136; или Эксперимент., т. II, стр. 392.

в пустоте — около 190 000 миль в секунду; опыты Уитстона доказывают, что скорость электричества — та же, если не больше; предполагается, что свет передается вибрациями в эфире, который, можно сказать, не подвержен тяготению, но обладает бесконечной упругостью; электричество передается через небольшую металлическую проволоку, а часто полагают, что оно также распространяется посредством колебаний. Вряд ли можно сомневаться в том, что передача электричества обусловлена силами или действиями материи проводника; это ясно, если мы примем во внимание различную проводимость различных металлических и иных тел, способ действия на нее тепла и холода, то, каким образом проводящие тела путем химического соединения входят в непроводящие тела, и обратно; и факт существования одного элементарного тела углерода как в проводящем, так и в непроводящем состоянии. Способность электрической проводимости (т. е. передачи силы, скорость которой равна скорости света), по-видимому, связана со свойствами материи и обусловлена ими и как бы в них заключена.

Я полагаю, что мы можем сравнивать друг с другом вещество эфира и обыкновенную материю (как например медь проволоки, по которой проводится электричество) и считать их одинаковыми по основному строению. А именно, и тот, и другая состоят или из малых ядер, рассматриваемых в отвлечении, как собственно материя, и из сил, связанных с этими ядрами; или же оба они состоят из одних только центров силы, согласно теории Босковича и той точке зрения, которую я развивал в упомянутом рассуждении. Нет основания предполагать, чтобы ядра были в одном случае более необходимы, чем в другом. Правда, что медь подвержена тяготению, а эфир — нет и что поэтому медь весома, а эфир — нет; но это не доказывает присутствия ядер в меди в большей мере, чем в эфире. В самом деле, на всех действиях материи тяготение является таким, при котором сила распространяется на наибольшее возможное расстояние от предполагаемого ядра; оно бесконечно

в сравнении с размерами ядра и сводит это ядро к простому центру силы. Малейший атом вещества на Земле действует непосредственно на малейший атом вещества на Солнце, хотя они разделены расстоянием в 95 000 000 миль; далее, атомы, которые, как мы знаем, находятся на расстояниях по крайней мере в девятнадцать раз больших, а в кометных массах и еще гораздо дальше друг от друга, точно так же связаны между собою силовыми линиями, исходящими из них обоих и принадлежащих каждому из них. Что в свойствах частиц предполагаемого эфира есть такого, что могло бы сравниться с этим по тонкости и протяженности — если даже между нами и Солнцем имеется только одна такая частица?

Пусть нас не вводит в заблуждение *весомость* и *тяготение* тяжелой материи, как будто именно они служили доказательством существования надуманных ядер; они обусловлены не ядрами, а силами, которые связаны с ядрами, если ядра вообще существуют. И если частицы *эфира* лишены этих сил, как это имеет место согласно предположению, то они в некотором отвлеченном смысле более материальны, чем частицы, из которых состоит наш земной шар; ибо материя, согласно предположению, состоит из ядер и из силы, и в этом смысле в частицах эфира относительно больше ядра и меньше силы.

С другой стороны, бесконечно большая упругость, которая приписывается частицам эфира, является столь же характерной и реальной силой, свойственной эфиру, как тяготение, свойственное весомым частицам, и производит в своем роде столь же сильные действия; доказательством этому служат все разновидности лучистой энергии, которые обнаруживаются в форме световых, тепловых и актинических явлений.

Может быть, я заблуждаюсь, но думаю, что самое общее понятие об эфире сводится к тому, что входящие в его состав ядра почти бесконечно малы, а свойственная ему сила, т. е. упругость, почти бесконечно велика. Но если согласиться с этим представлением, то что же остается в эфире, кроме силы и центра силы? Поскольку тяготение и твердость ему не

присущи, многие могут допустить такое заключение; но что такое тяготение и твердость? Безусловно, не вес и не соприкосновение воображаемых ядер. Одно является следствием *притягательной* силы, которая может действовать на самых больших расстояниях, какие только может себе представить и определить человеческий ум; а другое является следствием *отталкивательной* силы, которая рав навсегда препятствует контакту или соприкосновению каких-либо двух ядер. Таким образом, если кто-либо рассматривает эфир, как нечто, состоящее из одной только силы, то эти действия или свойства ни в какой мере не должны служить для него причиной рассматривать весомую материю как-либо иначе, кроме того, что с нею связано больше сил, чем с эфиром, и они иные, чем для эфира.

В экспериментальной науке мы, на основании наблюдаемых явлений, можем ознакомиться с различного вида силовыми линиями; так, мы имеем линии силы тяготения, линии электростатической индукции, линии магнитного действия; может быть, сюда же следует отнести и другие линии, имеющие динамический характер. Многие считают, что линии магнитного и электрического действия проходят через пустоту, как силовые линии тяготения. Лично я склонен думать, что при наличии промежуточных частиц материи (которые сами являются только центрами силы) они принимают участие в передаче силы вдоль линии, но если таких частиц нет, линия проходит через пустоту.<sup>1</sup> Какой бы точки зрения на силовые линии ни держаться, мы во всяком случае можем действовать на них некоторым способом, который мы можем представить себе, как имеющий характер сотрясения или бокового колебания. В самом деле, вообразим себе, что два тела *A* и *B* находятся на некотором расстоянии друг от друга и взаимодействуют друг с другом, а следовательно, связаны силовыми линиями; обратим внимание на какую-нибудь одну результирующую силы,

<sup>1</sup> Экспериментальные исследования по электричеству, ч. 1161, 1613, 1663, 1710, 1729, 1735, 2443.

имеющую неизменное направление по отношению к пространству. Если одно из тел хоть в самой малой степени сдвинется вправо или влево или, если его сила переместится на мгновение внутри массы (а это легко себе представить, если  $A$  и  $B$  — электрические или магнитные тела), то в результирующей силе, на которой мы сосредоточили свое внимание, произойдет изменение, эквивалентное боковому возмущению. Действительно, ее интенсивность должна или возрасти, если интенсивность соседних результирующих уменьшится, или уменьшится, если последняя увеличится.

Могут спросить, какие силы в природе способны произвести такое действие и заменить эфир в теории колебания? Я не претендую на то, чтобы ответить на этот вопрос с уверенностью; все, что я могу сказать, это — что я не могу представить себе ни в каком месте пространства, будь оно (говоря общепринятым языком) пусто или заполнено материей, ничего иного, кроме сил и линий, по которым они действуют. Линии веса или силы тяготения, конечно, достаточно протяженны, чтобы удовлетворить всем требованиям, какие к ним предъявляют явления залучения; таковы же, вероятно, и линии магнитной силы; а затем, кто может забыть про Моссотти, который показал, что тяготение, сцепление, электрическая сила и электрохимическое действие могут иметь взаимную связь или одно и то же происхождение и, таким образом, в своих действиях на расстоянии могут иметь то общее, что могут распространяться на бесконечно-большие протяжения, свойство, которым, как известно, обладают некоторые из этих действий?

Точка зрения, которую я имею смелость предложить, рассматривает таким образом излучение, как колебания высокого порядка в силовых линиях, которые, как известно, соединяют друг с другом частицы и тем самым материальные массы. Эта точка зрения стремится устранить эфир, но не колебания. Тот род колебаний, который, как я полагаю, единственно может объяснить чудесные, разнообразные и прекрасные явления поляризации, не тот, что проявляется на поверхности возмущенной воды

или в звуковых волнах в газах или жидкостях, ибо в последних случаях колебания бывают прямыми, т. е. по направлению к центру действия или от него, тогда как первые имеют направление вбок. Мне представляется, что равнодействующая двух или более силовых линий находится в благоприятном состоянии для этого движения, которое можно рассматривать как эквивалентное колебанию вбок, тогда как однородная среда, как эфир, вряд ли находится в состоянии благоприятном или по крайней мере более благоприятном, чем воздух или вода.

Возникновение изменения на одном конце силовой линии легко влечет за собою изменение и на другом. Распространение света, и потому, вероятно, всякого лучистого действия, требует времени; и чтобы колебание силовой линии могло объяснить явления излучения, такое колебание также необходимо должно занимать известное время. Я не знаю, существуют ли такие данные, которыми было бы установлено или было бы возможно установить, что такая сила, как тяготение, действует, не требуя для этого времени. Я не знаю также, будет ли, если линии сил уже существуют, боковое возмущение на одном их конце, о котором я говорил выше, требовать известного времени, чтобы проявиться на другом конце, или это произойдет мгновенно.

Что касается того свойства силовых линий, которое соответствует предполагаемой высокой упругости эфира, то оно, по-видимому, найдется в нужной мере. Здесь вопрос возникнет скорее о том, будут ли линии в своем действии достаточно инертны, чтобы они могли быть эквивалентны эфиру в смысле того времени, которое, согласно опыту, требуется для передачи лучистой силы.

Предполагается, что эфир проникает все тела так же, как и пустоту; согласно излагаемой здесь точке зрения, наполняющими (и образующими) все тела, а также проникающими пустоту, являются силы атомных центров. В отношении пустоты различие заключается здесь в том, что эфир представляет последовательные участки или центры действия, а настоящее предполо-

жение требует только линий действия. В отношении материи различие состоит в том, что эфир находится между частицами и таким образом переносит колебания; в настоящем же предположении колебания передаются силовыми линиями, соединяющими центры частиц. Что касается, наконец, различия в интенсивности действия внутри материи при этих двух точках зрения, то, мне кажется, здесь трудно сказать что-нибудь определенное. В самом деле, возьмем простейшее состояние обыкновенной материи, притом состояние, когда она оказывается наиболее близкой к состоянию эфира, а именно, состояние разреженного газа, как скоро оказывается, что мы обнаруживаем в ее упругости и взаимном отталкивании ее частиц отклонение от закона, что действие обратно пропорционально квадрату расстояния!

На этом, мой дорогой Филлипс, приходится кончать. Я думаю, я не позволил бы себе дать волю этим мыслям, если бы меня на это не толкнули, притом без всякой предварительной подготовки, обстоятельства того вечера, когда мне пришлось выступить неожиданно в замену другого. Теперь, когда я изложил их на бумаге, я чувствую, что мне следовало бы держать их еще подольше при себе, чтобы еще изучить их, обдумать и, может быть, в конце концов, их отвергнуть; и лишь потому, что, будучи высказаны в тот вечер, они неизбежно, тем или иным путем, получают огласку, я решаюсь облечь их в известную форму, если это можно назвать формой, в своем ответе на Ваш вопрос. Одно несомненно, это то, что всякая гипотетическая точка зрения на излучение, которая имеет шансы быть принятой и удержаться, как удовлетворительная, не должна заниматься только некоторыми световыми явлениями, а должна обнимать также явления тепла и актинических действий и даже производимые ими при этом явления осязаемого тепла и химического действия. В этом отношении точка зрения, которая до известной степени кладет в основу обычные силы, присущие материи, может быть, встретит некоторое внимание наравне с другими, которые могут возникнуть. Я считаю весьма вероятным, что

сделал на предыдущих страницах много ошибок, ибо даже мне самому мои представления по этому вопросу кажутся лишь как бы тенью настоящего умозрения или одним из тех мимолетных впечатлений духа, которые могут иметь свою временную ценность как руководящая нить для нашей мысли и исканий. Те, кто работает в области экспериментального исследования, знают, как многочисленны эти впечатления и как часто их кажущаяся пригодность и красота исчезают по мере того, как идет вперед и развивается познание настоящей естественнонаучной истины.

Остаюсь, мой дорогой Филлипс,  
всегда преданный Вам  
М. Фарадей

*Королевский институт.  
15 апреля 1846 г.*

#### О ВЛИЯНИИ МАГНЕТИЗМА НА СВЕТ И О РАЗЛИЧИИ МЕЖДУ ФЕРРОМАГНИТНЫМ И ДИАМАГНИТНЫМ СОСТОЯНИЯМИ МАТЕРИИ <sup>1</sup>

Когда луч поляризованного света и линии магнитной силы проходят одновременно и параллельно друг другу через прозрачную твердую или жидкую среду, не обладающую способностью двойного преломления, то луч вращается, следуя простому закону действия, формулированному мною в последней части *Philosophical Transactions* <sup>2</sup> (2160, 2161). Когда такой луч проходит через некоторые образцы горного хрусталя, терпентинного масла и т. п., он также вращается, согласно общеизвестному естественному закону, причем магнитная сила не играет здесь никакой роли. Между этими двумя случаями вращения существует весьма резкое различие, хотя на первый взгляд они кажутся одинаковыми; ибо первое вращение зави-

<sup>1</sup> *Phil. Mag.*, сент. и окт., 1846.

<sup>2</sup> 1846, ч. 1, стр. 4, 5 (*Phil. Mag.*, XXVIII, стр. 298, 299).

сит, в отношении своего направления, от линий магнитной силы и не зависит от положения наблюдателя или от направления пути, по которому идет световой луч, тогда как второе зависит от положения наблюдателя или от направления пути луча.

Обдумывая этот вопрос, я пришел к мысли, что можно воспользоваться особенностью магнитного вращения для того, чтобы повысить общее действие магнитной силы на луч, а также показать некоторые существенные пункты более осязательно и в более сильной степени, чем это было возможно до сих пор; и когда эта мысль была подвергнута опытной проверке, она оказалась правильной. Нижеследующие страницы содержат некоторые ее результаты.

Параллелепипед из тяжелого стекла, имеющий квадратное сечение со стороной в 0.7 дюйма и 2.5 дюйма в длину, был отполирован и посеребрен на обоих концах. Затем серебро было удалено с полоски около 0.1 дюйма шириною вдоль одного из краев на одном конце, а также с соответствующей полоски на другом конце, но так, что части, с которых было снято серебро, находились на противоположных сторонах параллелепипеда. Таким образом, на каждом конце имелось хорошее плоское зеркало, но они находились не в точности друг против друга (рис. 1). Вследствие такого устройства, световой луч мог проходить по диагонали вдоль стеклянного параллелепипеда; или же луч, войдя с одного конца, мог отразиться внутри стекла два и более раза и лишь после этого выйти наружу.

Подобное же тело из тяжелого стекла было посеребрено на двух концах и на одной стороне призмы; а затем серебро было удалено на концах с полоски в 0.1 дюйма у тех краев, которые отстояли дальше всего от посеребренной стороны (рис. 2). Луч света, который входил через непосеребренную часть на одном конце и падал под некоторым косым углом, мог отразиться на другом конце, затем на (верхней) стороне и опять на первом конце; таким образом он проходил три раза через стекло и окончательно выходил через второй конец. При других накло-

нах луч мог пройти в стекле пять, семь, девять, одиннадцать или более раз, прежде чем продолжить свой путь в воздухе и достигнуть глаза наблюдателя.

С каждой из этих стеклянных призм можно было получить жвлательный результат — ряд отражений внутри стекла, но первая форма оказалась более удобной в употреблении. При пользования сильным светом было не трудно проследить ряд изображений, получаемых посредством последовательных отражений аплоть до девятого или десятого, которые, очевидно, соответствуют прохождению луча семнадцать или девятнадцать

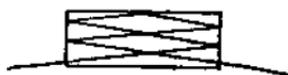


Рис. 1.

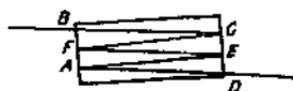


Рис. 2.

раз через вещество стекла. Легкого изменения положения посеребренного стекла между двумя призмами Николя, служившими в качестве поляризующего и анализирующего прибора, было достаточно, чтобы глазу стало видно любое из этих изображений. Стекло находилось в то же время под полным действием электромагнита или катушки, при помощи которой получались линии магнитной силы. Еще выгоднее сделать концы стеклянного куска не вполне параллельными друг другу, причем стороны, прилегающие к тем концам, где луч входит и выходит, чуть-чуть отличаются друг от друга по длине. При таком устройстве ряд отраженных изображений расходится, если смотреть с одного конца, и сближается, если смотреть с другого, чем значительно облегчается наблюдение некоторого определенного изображения или одновременное сравнение двух или более изображений.

Рассмотрим поближе действие такого устройства; очевидно, что, если  $ABCD$  представляет сосуд с раствором сахара или другого вещества, которое обладает обычным вращающим действием на поляризованный луч, то луч, направленный в  $D$  и

выходящий из  $A$ , повернется на известный угол. Но если он не выйдет наружу в  $A$ , а отразится поверхностью  $AF$  в точку  $E$ , и мы будем наблюдать его там, то окажется, что он не претерпел никакого вращения, ибо действие, оказанное на него при переходе из  $D$  к  $A$ , в точности компенсировалось бы при его возвращении из  $A$  в  $E$ . Если отражений будет больше и они повторятся еще у  $E$ ,  $F$  и  $C$ , так что луч пройдет через тело пять раз, все же в конце концов получится только такое вращение, которое могло быть вызвано лишь однократным его прохождением через вещество.

Это будет, однако, не так, если  $ABCD$  будет диамагнетиком, вращающим луч действием магнитной силы; ибо в этом случае, в каком бы направлении луч ни проходил, все равно он будет повернут в одну и ту же сторону относительно силовых линий. Так, если мы будем наблюдать его при выходе из  $A$ , он обнаружит угол поворота (который мы можем назвать правым), равный тому, который получается при одном прохождении через диамагнетик; если наблюдать его в  $E$ , он обнаружит левое вращение на угол, по величине вдвое больший, чем угол поворота в первом случае, который мы можем принять за единицу; если наблюдать его в  $F$ , получится правое вращение, втрое большее первоначального; если наблюдать в  $C$  — левое вращение, вчетверо большее первоначального; наконец, в  $B$  — правое вращение, в пять раз большее, чем начальное.

Это подтвердилось результатами опыта. Для опытов служил большой магнит, описанный в *Philosophical Transactions*<sup>1</sup> (2247), и стеклянный параллелепипед (рис. 2) был подвергнут его действию; прямой луч, т. е. тот, который дал первое изображение светящегося предмета, получил правое вращение на  $12^\circ$ . Когда стекло было немного сдвинуто, появилось второе изображение, т. е. то, которое получилось от луча, прошедшего сквозь стекло три раза, и его вращение было равно  $36^\circ$ . Затем наблюдалось третье изображение, и вращение луча, ко-

<sup>1</sup> 1846, стр. 22; *Phil. Mag.*, т. XXVIII, стр. 398.

торый дал это изображение, составило  $60^\circ$ , с той точностью, с какой мой грубый прибор мог измерять угловые величины. Те же основные результаты были получены при помощи второго описанного выше прибора.

Опыт доказывает с поразительной ясностью, что, в каком бы направлении луч света ни проходил через расположенную на его пути среду, направление его вращения зависит существенным образом и исключительно от направления линий магнитной силы.

Он также доказывает и выявляет безошибочным образом различие в этом отношении между магнитным вращением луча и вращением, вызываемым кварцем, сахаром, терпентинным маслом и другими такими телами.

На основании отдельных или одновременных наблюдений над различными изображениями, этот опыт показывает также, что действие пропорционально длине луча, подвергнутого влиянию магнита (2163); ибо здесь мы можем наблюдать сразу и длину, равную единице, и кратные этой длине, причем интенсивность магнитной силы и другие условия остаются неизменными.

Это позволяет достичь значительно большей степени точности в измерении величины вращения данного луча или в оценке сравнительной величины вращения для различных цветных лучей.

Форма самого устройства позволяет использовать для опыта короткий брусок из данного диамагнетика (напр. кристалла и т. п.), который был бы недостаточен, если бы луч проходил через него только один раз.

Она дает возможность, если мы пользуемся магнитом, сосредоточить магнитную силу путем сближения полюсов, вследствие чего его действие усиливается; возможность сделать слабый магнит эквивалентным сильному, так что сейчас можно пользоваться с успехом даже хорошими обыкновенными магнитами. А если пользоваться катушкой, теперь можно брать катушку, гораздо более короткую и слабую, чем прежде.

Убедившись в больших преимуществах, какие представляет прибор в этом виде для изучения многих веществ, с которыми не получалось ощутительных результатов при помощи метода, описанного мною ранее, я занялся с его помощью опытами, над воздухом и некоторыми телами, обладающими двойным преломлением (2237). С этой целью я превратил концы магнитных полюсов в зеркала, наложив на каждый из них полированную стальную пластинку; и так как полюсы были подвижные, их отражающие поверхности можно было поместить на любых расстояниях и в любом нужном положении, располагая между ними вещество, подвергаемое опыту.

**Воздух.** Я не мог обнаружить ни следа действия на луч, когда между магнитными полюсами находился воздух, даже в четвертом, пятом и шестом изображении.

**Горный хрусталь.** Исследованию были подвергнуты кубики из этого вещества, описанные выше (2178); но при прохождении через них светового луча я не мог обнаружить ни следа действия на него, хотя сторона кубиков составляла 0.75 дюйма, и луч наблюдался после того, как проходил через них семь и даже девять раз. Кубики были исследованы во всех направлениях.

**Исландский шпат.** Кубик из этого вещества (2179) был исследован таким же образом, но я не получил никакого действия.

Тяжелое стекло дало ожидаемые явления сразу, притом они были хорошо выражены.

Когда при этих опытах мне не удалось получить положительного результата ни с воздухом, ни с кристаллами, обладающими двойным преломлением, я посеребрил последние так же, как это было сделано для тяжелого стекла, чтобы как можно больше сблизить магнитные полюсы; и все же не получилось никакого явственного действия магнита на луч.

Естественная шестигранная призма из горного хрусталя в 2.3 дюйма длиною была отполирована и посеребрена на концах. С этим кристаллом ни для первого, ни для второго,

ни для третьего изображения не было обнаружено никакого влияния магнетизма на свет.

Г-н Э. Беккерель полагает, что ему удалось наблюдать некоторые действия в кристаллических телах с двойным преломлением; возможно, что его прибор значительно чувствительнее моего для наблюдений оптических изменений. В этом случае, если соединить его с методом, основанным на повторных отражениях луча; он мог бы дать весьма определенные результаты. Но ваятый отдельно последний метод пока ни в какой мере не обнаружил искомого действия.

Некоторые признаки заставили меня с интересом искать известных явлений при пересечении отраженных лучей в установке зеркал и стекла, указанной на рис. 1; но я не мог обнаружить никакой разницы в действии между этой установкой и другой, изображенной на рис. 2, где такого пересечения не происходит.

В конце истекшего года я направил Королевскому обществу две статьи о магнитных свойствах всякой материи<sup>1</sup> (2243, 2343), в которых, как я полагаю, я доказал существование магнитного действия, неизвестного в нашей науке. Это действие по своей природе противоположно магнетизму, который обнаруживается в железе, во всех его видах и состояниях, все равно, каков будет этот магнетизм: сильный или слабый; оно противоположно тому магнетизму, который железо могло бы возбудить в какой бы то ни было мере или при каких бы то ни было обстоятельствах. Далее я доказал, что все тела; магнетизмам которых не таков, как у железа, магнитны на этот новый лад; и что как *притяжение* магнитом характеризует магнитные свойства железа, как бы ни было мало его количество и каково бы ни было его состояние, так *отталкивание* является отличительной характеристикой всех тех тел, которые по при-

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1846, стр. 21, яде Phil. Mag., XXVIII, 1846.

редѣ способны приходиться в это новое состояние и развивать эту силу нового вида.

Г-н Беккерель послал в Академию наук заметку,<sup>1</sup> в которой сообщает некоторые свои результаты, значительно более ранние, чем мои; они объясняются обычным магнитным действием, но в его опытах вещества располагались *поперек* магнитной оси. Мне не надо цитировать ее полностью, но привожу следующие заключительные слова: «Из этих фактов следует, что магнитные действия, возбуждаемые в стали или в мягком железе влиянием магнита, отличаются от действий, которые имеют место во всех (прочих) телах, в следующем: во-первых тем, что распределение магнетизма происходит всегда в продольном направлении, тогда как в трехокиси железа, дереве, гуммилаке и т. д. оно происходит обычно в поперечном направлении, особенно если им придана форма стрелок. Это различие действия зависит от того обстоятельства, что магнетизм в этих телах весьма слаб, а потому мы можем пренебречь реакцией частиц тел друг на друга». Эти слова и время их опубликования (январь 1846) достаточно ясно показывают, что г-н Беккерель не допускает нового вида или новых свойств магнитного действия, которые, как мне кажется, я ранее доказал.

Г-н Э. Беккерель, в своем сообщении Академии в июне 1846,<sup>2</sup> подтверждая то действие на свет, которое было указано мною, затрагивает вопрос о магнитном действии на любые тела; но здесь, т. е. значительно позже, он держится того же мнения, что и его отец. Мне достаточно привести здесь из разных мест лишь несколько строк, чтобы пояснить его образ мыслей. Упомянув о результатах Кулона, а также о результатах своего отца, полученных в 1827 г., он говорит: «Эти опыты производились приблизительно уже двадцать лет назад, и все же г-н Фарадей говорит, как о чем-то новом, о явлении установки тел в поперечном направлении, относит тела, кото-

<sup>1</sup> Comptes Rendus, 1846, стр. 147.

<sup>2</sup> Там же. 1846, стр. 595.

рые устанавливаются таким образом, к особому классу и называют их диамагнитными. . . Я спрашиваю, каким образом при этих обстоятельствах можно заходить столь далеко в стремлении к классификации, когда можно придать одному и тому же веществу любое положение — продольное, поперечное или под углом. В самом деле, поставим два конца двух сильных магнитов друг против друга, на расстоянии 0.08 или 0.12 дюймов, и на расстоянии около 0.04 от их поверхности подвесим на шелковой коконной нити деревянную или медную стрелочку, примерно 0.04 в диаметре и 1.9 или 2.3 дюйма длиною; она установится в поперечном направлении. Если разрезать стрелку пополам и затем опять разделить и т. д., то, наконец, мы получим обломок, который установится по линии полюсов. Это лишь результат равнодействующих сил; ибо одному и тому же веществу мы можем придать различные положения в зависимости от их формы, изменяя расстояние между полюсами». Затем, упомянув о небольшом количестве железа, найденном им в некоторых образцах, и о своем более раннем утверждении, что эти вещества вели себя как смеси безразличной материи и магнитных частиц, или как железистые смеси, он говорит: «все эти заключения справедливы и по сей день во всей их общности».

Эти заключения принадлежат двум глубоким ученым, которые со всех точек зрения компетентны судить о любом вопросе, касающемся такого предмета, как магнетизм, а потому они вызвали во мне тревогу — и по двум основаниям. Во-первых, я подумал, не ошибался ли я на самом деле, предполагая, что открыл широкий и всеобъемлющий закон магнитного действия; а, во-вторых, если я был в этом отношении прав, то, очевидно, меня постигла жалкая неудача при изложении моих результатов, раз они не произвели должного впечатления на людей, могущих в такой мере и усвоить и понять их. Поэтому я, в своих собственных интересах, занялся подробнее этим вопросом; правда, и почти равнодушен к судьбе разных умозрительных или гипотетических взглядов, которые мне случается выска-

зять, но мне далеко не безразлично, когда дело идет о правильности моих утверждений в отношении вновь открытого мною закона действия или нового факта. Поэтому я тщательно исследовал на опыте один или два случая поперечного положения, занимаемого некоторыми магнитными телами, как например железо, и даю ниже общие результаты.

Я изготовил некоторое количество хорошей однородной перекиси железа, поскольку это одно из тех веществ, с которыми производил опыты г-н Беккерель (ст.), и равномерно наполнил ею тонкую стеклянную трубку диаметром в 0.25 дюйма и длиной в 1.4 дюйма; затем она была подвешена на длинном шелковом коконовом волокне так, что ее можно было привести в любое положение относительно одного из полюсов сильного электромагнита. Последний мог принимать различные формы, для чего к его концам можно было прикладывать куски железа. Поскольку перекись железа может случайно принимать и удерживать слабое магнитное состояние, экспериментатор должен иметь в виду эту возможность и остерегаться неправильных результатов, которые она может дать.

Полюс магнита имел сначала форму конуса, основание которого имело в диаметре 1.5 дюйма, а ось была направлена по горизонтальной линии. Цилиндр из перекиси железа был придвинут к конусу, причем центр его подвеса лежал на линии оси. Когда он был подвергнут влиянию магнита и помещен в положение, перпендикулярное к осевой линии, он сохранял это положение. Но это было положение неустойчивого равновесия; ибо если цилиндру придавалось направление под углом к осевой линии, по ту или другую ее сторону, то конец, ближайший к конусу, притягивался и потому направлялся к нему и в конце концов шел к нему и оставался в таком положении. Но если даже при этом он стоял в точности перпендикулярно осевой линии, т. е. был в положении неустойчивого равновесия или в каком-либо ином положении, центр тяжести цилиндра всегда притягивался; это легко можно было проверить при помощи электромагнита, прерывая и вновь замыкая возбуждающий ток.

Вполне противоположно этому ведут себя диамагнитные тела; я утверждаю, что если поставить в те же самые условия подобный же цилиндр из фосфора, висмута или тяжелого стекла, то поперечное положение будет положением *устойчивого* равновесия. Если цилиндр вывести из этого положения, то он, совершив ряд колебаний, вернется к нему; и в течение всего времени центр тяжести массы будет *отталкиваться*.

Затем я снабдил полюс магнита квадратным окончанием, причем сторона, обращенная к цилиндру перекисы, имела ширину в 1.75 дюйма и такую же высоту. Осевой линией служила линия, которая проходила горизонтально через середину лицевой стороны; она шла далее через центр тяжести цилиндра; в ту же точку приходился и центр его вращения. Когда цилиндр находился на расстоянии, меньшем 0.3 дюйма от обращенной к нему стороны полюса, он устанавливался параллельно ей и, значит, перпендикулярно осевой линии. Будучи выведен из этого положения, он вновь в него возвращался, так что это было положение устойчивого равновесия. На несколько больших расстояниях оно становилось положением неустойчивого равновесия. Можно было найти два положения устойчивого равновесия под одинаковым углом наклона по обе стороны поперечного положения, причем угол наклона все возрастал с увеличением расстояния. Как поперечные, так и наклонные положения легко было объяснить концентрацией линий магнитной силы на концах квадратного окончания магнита. Действия, зависящие от той же причины приподнялись уже выше (2298, 2299, 2384).<sup>1</sup>

При всех положениях цилиндра с перекистью перед магнитным полюсом перекисы, как масса, испытывала *притяжение*.

Затем мы взяли другое железное окончание; конец полюса, обращенный к цилиндру, был расширен в горизонтальном направлении до 2.5 дюйма. Все описанные выше явления повторились; но расстояние между концом полюса и трубкой с пере-

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1846, стр. 32, 48.

кисью могло быть увеличено до одного дюйма или более, и только после этого трубка начинала принимать косвенное положение.

Третья оконечность представляла собою пластинку, имеющую 3.5 дюйма в горизонтальном протяжении: и здесь явления были в точности те же самые, но расстояние могло быть увеличено до 1.75 дюйма, прежде чем цилиндр перестал быть параллельным лицевой плоскости и начал принимать косвенные положения.

Теперь я хочу полнее объяснить это и другие явления, зависящие от формы, которую имеют концы полюса, и от концентрации линий магнитной силы, проходящих в воздухе, близ краев. Для этого я рассмотрю положения, которые занимал цилиндр с перекисью, когда центр его подвеса оставался на одном и том же расстоянии от конца полюса, но приводился в различные положения по одну или по другую сторону от осевой линии. Они изображены на рис. 3: последний ясно показывает, что, когда мы ставим цилиндр с перекисью по ту или другую сторону от осевой линии, он наклоняется к этой линии. Как именно и в какой степени это происходит, легко поймет всякий, кто отдаст себе отчет в концентрации магнитных сил у краев пластинки. То же имело место с взятым ранее окончанием в 2.5 дюйма. И тот и другой конец цилиндра с перекисью мог быть концом, ближайшим к лицевой плоскости полюса; но центр тяжести цилиндра во всех случаях *притягивался* магнитом.

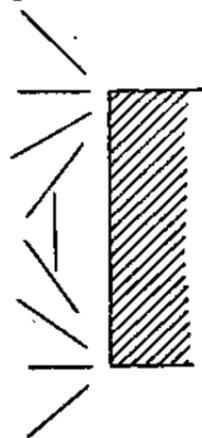


Рис. 3.

Далее, были взяты другие цилиндры из перекиси железа с различными диаметрами и длинами; и когда их длина была меньше, чем противолежащие стороны магнитных полюсов, результаты были в точности те же.

Бумажный цилиндр, магнитный вследствие присутствия в нем железа, дал те же самые результаты.

Мне пришло в голову, что на эти явления могло оказать значительное влияние раздробление перекиси, вследствие которого могли задержаться и прекратиться передачи магнитной индукции от одной частицы к другой, и это могло иметь гораздо большее значение, чем просто слабость магнитного действия. Я взял поэтому несколько веществ, еще более слабых в отношении магнитного действия, чем перекись, и придавал им форму цилиндров. Этими веществами были: раствор протосульфата железа, хлорид кобальта и хлорид никеля, которые были заключены в тонкие стеклянные трубки диаметром в 0.25 дюйма и длиной 1.4 дюйма. Когда эти вещества были подвешены перед полюсами, причем центры подвеса лежали на осевой линии, они вели себя не так, как перекись железа или бумага. Им, правда, можно было придать положение, параллельное лицевой плоскости полюса, но это было положение неустойчивого равновесия; стоило хоть в самой малой степени отклонить их из этого положения, конец, ближайший к магниту, продолжал к нему приближаться вплоть до соприкосновения, и затем все оставалось в этом положении. Действие было здесь в точности такое же, как и в случае куска железа, но значительно меньше по своей силе.

Насыщенный раствор протосульфата железа был разбавлен пятикратным объемом воды и однако обнаружил совершенно те же явления, что и более крепкий раствор. Между тем его магнитная сила была гораздо меньше, чем магнитная сила перекиси железа, как это с ясностью обнаруживалось величиной притяжения центра тяжести этих двух веществ. Когда опыт производился с перекисью, нить ее подвеса отклонялась вдвое или втрое дальше от нормали, чем когда был взят раствор.

Если заменить цилиндр из перекиси или магнитные растворы куском железа, он не останется параллельным концевой плоскости полюса; не бывает и того, чтобы он был направлен под углом к нему и его не касался. Один конец всегда устремляется к концевой плоскости полюса; и если он слишком коро-

ток и мы его нагрузкой или иным каким-нибудь образом препятствуем ему войти в соприкосновение с полюсом, то этот конец будет указывать на ближайшую к нему часть концевой плоскости полюса. В этом отношении железа подобно магнитному раствору, а не перекиси: как бы ни был слаб магнитный полюс, но если только в нем достаточно силы, чтобы вообще подействовать на железную проволоку, то он всегда произведет то же действие. Далее, если совершенно лишить железную проволоку магнетизма, например накаливая ее докрасна, то можно сделать любой из его концов ближайшим к концевой плоскости полюса.

Кусок гематита, тщательно вырезанный, только не железным инструментом, а агатом или как-нибудь иначе, принимал то же направление, как железо, хотя, конечно, и не с такой силой. Это значит, что он не принимал устойчивого положения ни параллельного концу магнита, ни наклонного, но без соприкосновения с ним; ибо тот или другой конец всегда устремлялся к металлу полюса и оставался с ним в контакте. Если гематит был размельчен и насыпан в маленькую трубочку, действие было то же, как и тогда, когда мы имели дело с целым куском.

Кусок трубки из бутылочного стекла, имевший магнитные свойства от железа, которое в ней содержалось, вел себя, как гематит, одинаково и цельным и размельченным и насыпанным в трубку из флинтгласа; он, таким образом, действовал иначе, чем перекись железа.

Чистая перекись марганца, по-видимому, занимала место между этими веществами и перекисью железа. Вообще говоря, конец, ближайший к концевой плоскости полюса, шел к ней и оставался там; но если один конец находился против края этой плоскости, а другой — примерно против середины, то, когда магнит был приведен в действие, второй конец, хотя и расположенный ближе, чем первый, отходил, а первый конец приближался и оставался в соприкосновении (с магнитом). Если второй конец был еще ближе, то он с самого начала приближался; и для трубки не существовало такого положения устой-

чивого равновесия, в котором она была бы параллельна или приблизительно параллельна площадке на конце полюса, и так, что при этом ни один ее конец его не касался.

Кусок толстой платиновой проволоки действовал так же, как гематит или как зеленое стекло, а не так, как перекись в опыте Беккереля. Губчатая платина, вдавленная в трубку, вела себя, как перекись марганца, обнаруживая подобно ей в некоторых положениях признаки действия, подобного действию перекиси железа.

Центр тяжести всех этих тел притягивался магнитом, против какой бы части концевой плоскости магнита они ни стояли. Ни в одном случае не наблюдалось ничего похожего на отталкивание.

Я не вижу решительно никакой трудности в объяснении всех этих различных положений обыкновенным действием магнита на вещество, обычно имеющее магнитные свойства, каково, например, железо. Все зависит от формы и размера полюсов и от того, в каком состоянии находится магнитное вещество: составляет оно один кусок или более или менее размельчено; ибо вещество, значительно более слабое в отношении магнитного действия, чем перекись железа, как например раствор никеля или разбавленный раствор железа или металлическая платина, действует не как перекись, а как металлическое железо. Все же во всех случаях наблюдаемые нами явления представляют собой *притяжения*; ибо не только притягивается центр тяжести всей массы, но части цилиндра из перекиси железа, как и из других магнитных веществ, принимают те положения, которые они необходимо должны принимать, когда находятся под влиянием равнодействующей притягательных сил. Это — как раз обратное тому, что имеет место для диамагнитных тел, ибо там центр тяжести всей массы *отталкивается*; и какова бы ни была форма, ее части принимают те положения, которые более всего соответствуют направлению и величине *отталкивательной* силы.

В этих случаях всякая неопределенность и сомнение могут быть устранены, если производить опыты с одним полюсом, все равно каким: коническим, клинообразным или круглым. Правда, если середина железной проволоки, имеющей два-три дюйма длины, будет стоять близ вершины конического или клинообразного полюса, то она установится под прямым углом к оси конуса или клена, причем будет здесь колебаться как коромысло весов; а если поместить таким же образом цилиндр из висмута, фосфора или тяжелого стекла, то он установится в том же направлении. Но ни один специалист по магнетизму, наблюдая указанные явления, никогда не даст себя ими запутать, ибо он увидит сразу, что железо, как целое, притягивается, а диамагнетик, как целое, отталкивается. И если для наблюдения вышеописанных явлений он возьмет шарики из железа, перекиси железа или раствор хлорида железа, с одной стороны, и из висмута или фосфора, меди или дерева — с другой, то он получит результаты в наиболее простом виде, и перед ним обнаружится основной факт: магнитные вещества будут притягиваться, диамагнитные — отталкиваться.

Я не знаю ни одного случая поперечного положения, который не относился бы к той или другой группе действий, рассмотренных выше, т. е. который не был бы результатом или магнитного, или диамагнитного действия. Даже в отношении явлений обыкновенного магнетизма в перекиси железа и других подобных телах, я не вижу причины соглашаться с утверждением г-на Беккереля, что магнетизм стремится распространиться в особенности в поперечном направлении. Мне кажется, что нарушение непрерывности массы в этих случаях, наряду с нелинейной магнитной силой в данном веществе, препятствуют передаче силы путем индукции или проводимости от частицы к частице в той же мере, как тогда, когда непрерывность не нарушена; а именно, при этом возникают последовательные полюсы в коротких расстояниях друг от друга и в различных направлениях; в этом лежит и причина того, почему раствор железа или никеля или металлическая платина ведут себя не

так, как перекись железа, хотя их магнитное действие и слабее, а действуют, как металлическое железо.

Если бы не замечательные свойства пустого пространства, а вместе с тем и разреженных форм материи, воздуха, газов и паров, о которых я особо упоминал в Экспериментальных исследованиях (2432 и т. д.), между прочим, именно по этой причине, то можно было бы усомниться в том, не является ли действие на тела, которые я назвал диамагнитными, в точности таким же, как и на магнитные. Тогда и результат как отталкивания, так и притяжения, был бы следствием только различия в силе действия между рассматриваемым телом и окружающей его средой (2438 и т. д.). Но я не могу смотреть на пустоту иначе, чем как на нулевую точку по отношению к явлениям притяжения и отталкивания; и так как магнитные тела притягиваются магнитом, а диамагнитные — отталкиваются (2406, 2436), будучи окружены пустотой и по отношению к ней, то я полагаю, что эти два состояния представляют две взаимно противоположные формы магнитной силы. Это — точка зрения, которую я проводил в моих первоначальных работах, и, не взирая на мое весьма большое уважение к мнению г. г. Беккерелей, факты все же поддерживают меня в убеждении, что она правильна.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Позволяю себе сослаться в этой заметке на аналогичное положение в науке о статическом электричестве. У меня часто требовали доказательства существования абсолютной естественной нулевой точки между положительным и отрицательным электричеством; мне указывали на взгляды г. Пельтье, что Земля является отрицательной по отношению к окружающему пространству, которое в свою очередь положительно, и утверждали, что если все части некоторой площади ее поверхности одинаково отрицательны, то мы, находясь на этой поверхности, не можем сказать, что она не находится в нулевом состоянии. Но это не так. Поверхность, действительно отрицательная, может казаться положительной по сравнению с другой, еще более отрицательной; или отрицательная поверхность может казаться в нулевом состоянии по отношению к двум другим, из которых одна более отрицательна, а другая — менее отрицательна или даже положительна. Но если отнести их к правильному эталону, их действи-

Когда тяжелое стекло подвергается действию сильного электромагнита, максимальное вращение луча получается не сразу, а требует некоторого промежутка времени (Экспериментальные исследования, 2170); я приписал это постепенному возрастанию силы магнита и соответственному возрастанию его действия на стекло. Г-н Э. Беккерель не согласен со мною в этом объяснении и, со своей стороны, полагает причину этого явления в том, что сами частицы диамагнетика требуют известного времени, чтобы прийти в новое состояние. Что они требуют времени, это, по-моему, весьма вероятно. Я не знаю такого состояния, для достижения которого не требовалось бы времени. Но в случае диамагнитных тел это время должно быть чрезвычайно мало; и, мне кажется, уже два соображения указывают на то, что описываемые мною явления зависят не от этой причины. Первое из них — следующее: хорошо известно из других фактов, например из индукции токов и т. п., что электромагнит требует времени, чтобы развить максимальную силу, возбуждаемую данным электрическим током. Я показал, что вращение луча должно возрастать в течение того времени, пока таким образом возрастает магнетизм; и я нашел, что способность индуцировать токи существует одновременно с возрастанием вращающего действия. Второе соображение — то, что, если диамагнетик подвергается действию не электромагнита, а катушки, то вращение возрастает не постепенным образом, как в первом случае, а мгновенно дает максимум (Экспериментальные исследования, 2195). Это и служит мне основанием держаться того объяснения, которое я дал в своих статьях и прошлом году.

тальное состояние обнаруживается сразу, а таким эталоном служит нам внутренность любого металлического сосуда, на которую, в силу его формы и глубины, не действуют никакие внешние влияния. В таком сосуде, внутри него, всегда имеют место одни и те же нормальные условия, какой бы заряд ни имела его внешняя поверхность; и сравнивая поверхность Земли с внутренностью такого сосуда, что можно сделать легко при помощи проводника-переносчика, подобного тому, каким пользовался Кулон, каждый может решить вопрос, в каком состоянии находится эта поверхность: в отрицательном или нулевом.

Конечно, в столь новых вопросах как те, которые мы здесь рассматриваем, различия во мнениях должны неизбежно возникать по многим пунктам; и для самых исследований полезно, что это так, ибо вследствие этих различий факты получают более разностороннее истолкование. Поэтому я пока не разбираю некоторых разногласий между мною и другими авторами, полагая, что уже скоро накопятся новые относящиеся сюда факты и что через очень немного лет время, как могущественный помощник, поставит и факты, и мнения на подобающее им место.

*Королевский институт.*

*11 августа 1846 г.*

#### О ДИАМАГНИТНЫХ СВОЙСТВАХ ПЛАМЕНИ И ГАЗОВ<sup>1</sup>

*Ричарду Тейлору*

Дорогой сэр, недавно я получил от проф. Дзантедески опубликованную им статью, в которой содержится упоминание о том, что о. Банкалари открыл магнетизм (диамагнетизм) пламени. Там имеются также сведения о дальнейших опытах Дзантедески, которыми он подтверждает этот результат и показывает, что пламя отталкивается от осевой линии, соединяющей два магнитных полюса. Я посылаю Вам эту статью, чтобы Вы могли поместить ее в *Philosophical Magazine*, если Вы придаете ей столь же большое значение, какое придаю ей я; вместе с нею посылаю Вам также дальнейшие подтверждения и расширения (этих результатов), принадлежащие уже мне самому. Поскольку г-н Дзантедески опубликовал свои итоги, я считал себя свободным работать по этому вопросу, который, конечно, очень меня интересовал. Весьма возможно, что то, что я излагаю, будет лишь служить подтверждением того, что уже сделано в Италии или в другом месте; если это так, то

<sup>1</sup> *Philosophical Magazine*, серия 3, XXXI, № 210, декабрь 1847.

я надеюсь, что заслуживаю извинения, ибо новое свидетельство о важном факте никаким образом не является излишним, а в данном случае может побудить и других активно вступить на новый путь исследования, открываемый диамагнитными телами вообще.

Я недавно проверил основной результат относительно диамагнитного действия на пламя, и мне самому не понятно, как я мог не заметить этого явления много лет назад. Мне кажется, что я получил теперь гораздо более явственное доказательство, чем то, которое приведено в статье Дантедески, и потому я опишу вид и устройство существенных частей моего прибора. Электромагнит, которым я пользовался, был тот сильный влектромагнит, который описан в Экспериментальных исследованиях (2247). Два куска железа на его концах, представлявшие возможные магнитные полюсы, имели каждый 1.7 квадратных дюйма в поперечнике и шесть дюймов в длину; но окончания имели форму, близкую к форме конуса, стороны которого составляют угол около  $100^\circ$ , а ось горизонтальна и проходит через верхнюю плоскость кусков железа. Вершина каждого куска была закруглена и таким путем удалено около одной десятой дюйма от каждого конуса. Когда такие окончания сближены, они дают в магнитном поле сильное действие, и осевая линия магнитной силы, конечно, горизонтальна, причем она находится приблизительно на одном уровне с верхней плоскостью брусков. Я нашел, что эта форма исключительно удобна для целого ряда различных опытов.

Когда я помещал вблизи осевой линии, по одну или другую ее сторону, пламя восковой свечи, причем около одной трети пламени возвышалось над уровнем верхней плоскости полюсов, то, как только начинала действовать магнитная сила, она оказывала действие на пламя. Оно отступало от осевой линии и смещалось экваториально; в конце концов оно принимало наклонное положение, как если бы его отклонял от отвесного положения легкий ветер; это действие прекращалось в тот момент, когда выключался магнетизм.

Действие происходило не мгновенно, а возрастало постепенно до некоторого максимума. Оно прекращалось весьма быстро с уничтожением магнетизма. Постепенное возрастание зависит от того, что в воздухе, окружающем магнитное поле, постепенно возникают потоки; они стремятся возникнуть и действительно возникают по мере того, как приобретают магнитные свойства в присутствии пламени.

Когда пламя было помещено так, что поднималось прямо через магнитную ось, действие магнетизма состояло в том, что пламя сжималось между остриями полюсов, отступая в направлении осевой линии от полюсов к средней перпендикулярной плоскости; при этом высота пламени уменьшалась. В то же время верхушка и стороны сжатой части горели более ярко, вследствие возникновения двух потоков воздуха, которые дули от полюсов с двух сторон прямо на пламя и затем отходили вместе с ним в экваториальном направлении. Но в то же время имело место и отталкивание или отход частей пламени от осевой линии; ибо части, находившиеся внизу, поднимались не так быстро, как раньше, а, поднимаясь, они также проходили наклонно и в экваториальном направлении.

Когда пламя было поднято немного выше, действие магнитной силы выражалось в усилении только что описанных явлений, и пламя принимало форму рыбьего хвоста, расположенного поперек магнитной оси.

Когда пламя было поднято настолько, что около двух его третей находилось над уровнем осевой линии, и полюсы сближены до такого расстояния (около 0.3 дюйма), что они начали охлаждать и сжимать часть пламени у осевой линии, но не препятствуя ему, однако, свободно подниматься между ними, то при возбуждении магнетизма получилось следующее: пламя все больше и больше сжималось и укорачивалось, и когда действие достигло максимума, вершина пламени, наконец, спустилась, и пламя перестало подниматься между магнитными полюсами, а распространилось вправо и влево по обе стороны осевой линии, образовав двойное пламя между двумя

длинными языками. Это пламя было очень ярко вдоль верхнего раздвоенного края, ибо усиливалось там потоком воздуха, который *опускался* из пространства между полюсами к пламени в этой его части и отклонял его в экваториальном направлении.

Когда действие магнита прекращалось, пламя тотчас же принимало свое обычное вертикальное положение между полюсами; оно немедленно сжималось и разделялось вновь, как только магнитное действие возобновлялось.

Когда между полюсами было помещено небольшое пламя, высотой всего в одну треть дюйма, магнитная сила моментально сплющивала его в экваториальный диск.

Если шарик из ваты, величиной с орех, перевязать проволокой, напитать эфиром и зажечь, то он дает пламя высотой в шесть-семь дюймов. Такое большое пламя свободно и естественно поднимается между полюсами; но стоит привести магнит в действие, как оно разделяется и превращается в два пламени, одно по одну, другое по другую сторону осевой линии.

Вот те общие и весьма поразительные действия, которые могут быть получены при действии магнита на пламя; этим важным открытием мы обязаны о. Банкалари.

Я проверил результаты, полученные г-ном Дзантедески, на различных родах пламени, и нашел, что действие (магнетизма) на пламя спирта, эфира, углекислоты, водорода, серы, фосфора и камфоры имеет один и тот же характер, хотя как будто и не одинаково по силе. По-видимому, действие тем сильнее, чем ярче пламя.

Эти основные результаты можно представить в еще более наглядном и поучительном виде, если вместо пламени взять коптящую восковую свечу. Пусть восковая свечка, окрашенная в зеленый цвет ярью-медяной, погорит в течение минуты, а затем задует ее; тогда обычно фитиль остается с искоркой огня на кончике. Подавленное горение будет однако продолжаться час или более, причем вверх будет подниматься тонкая густая струйка дыма, которая в спокойной атмосфере

будет идти вертикально на высоту до шести-восьми дюймов; в движущейся же атмосфере она будет указывать все изменения ее движения как по направлению, так и по силе. Если держать свечу ниже полюсов, так, чтобы струйка дыма проходила немного в сторону от осевой линии, то сила магнита мало действует на струйку, если только держать свечу на три-четыре дюйма ниже полюсов; но если поднять ее так, чтобы уголек находился не ниже, чем на дюйм, под осевой линией, то действие на струйку уже гораздо сильнее, и она изгибается наружу. Если поднять свечу еще выше, то в некоторой точке дым начнет уходить от светильника уже в горизонтальном направлении, устремляясь экваториально. Если держать свечу так, чтобы струйка дыма проходила *через* осевую линию, и затем изменять расстояния, как и ранее, то, когда свеча находится на четыре дюйма внизу, никакого заметного действия не обнаруживается, или же оно весьма мало. Но если поднять свечу, то, как только *теплая* часть струйки окажется между полюсами, она проявит стремление разделиться. И когда тлеющий фитиль будет примерно на дюйм ниже осевой линии, дым будет подниматься вертикально одним столбом, пока не пройдет двух третей этого расстояния, а затем разделится, расходясь вправо и влево и оставляя пространство между полюсами чистым. При медленном поднятии свечи место, где дым раздваивается, опускается так, что раздвоение располагается все ниже, пока оно не придется на фитиль, на расстоянии в 0.4-0.5 дюйма под осевой линией. Если поднимать свечу еще выше, то магнитное действие становится столь сильным, что струйка не только разделяется, а еще и опускается по обе стороны тлеющего фитиля, принимая форму, напоминающую букву *W*; в то же время верхушка горящего фитиля становится гораздо ярче благодаря потоку воздуха, который устремляется на него сверху. При этих опытах магнитные полюсы должны стоять друг от друга примерно на 0.25 дюйма.

Тлеющий кусок трута или же конец деревянной щепки дают те же самые явления.

При помощи подобной же маленькой искры и струйки дыма мне удалось наглядно выявить действие даже обыкновенного магнита. Магнит был хорошего качества, а его полюсы расположены очень близко друг к другу и имели коническую форму.

Прежде чем закончить это описание общей картины явлений и перейти к рассмотрению принципов магнитного действия, от которых они зависят, я хочу заметить, что и один полюс магнита обнаруживает такие же действия на пламя и дым, но они менее резко выражены и их труднее наблюдать.

Хотя действие магнита на пламя столь явственно, однако на первый взгляд не ясно, в чем причина — или причины — этих явлений. Наиболее очевидным и вероятным условием представляется здесь *тепло* пламени; но есть и другие обстоятельства, которые могут оказывать такое же, а то и более сильное влияние. Здесь одновременно происходит и химическое действие: во многих пламенах, которыми пользуются для опыта, имеются твердые вещества, заведомо диамагнитные. Далее, существует большое различие между веществом пламени и окружающим воздухом. Любое из этих обстоятельств или все они вместе взятые: температура, химическое действие, твердое состояние известной части вещества и различие его состава по отношению к окружающему воздуху, могут дать этот результат или оказать на него влияние.

Я помещал провода электрометра, а также гальванометра, в различных частях пламени, находившегося под действием магнита, но не мог показаниями этих приборов обнаружить никаких признаков образования электричества.

Я исследовал область вблизи осевой линии в отношении наличия каких-либо воздушных течений, при отсутствии пламени или вообще нагревания. Для этого я пользовался хорошо видимыми дымами, которые получают, если поместить близко друг к другу два комочка бумаги, смоченные в крепких растворах аммиака и соляной кислоты. Хотя я нашел, что на струйку такого дыма слабо влияла магнитная сила, но я с удовлетворением констатировал, что между полюсами не было никакого

течения или движения в обычном воздухе, как таковом. Самый дым был слабо диамагнитным; это, как я полагаю, зависело от присутствия в нем твердых частиц.

Между тем, когда мы пользуемся пламенем или тлеющей свечой, в воздухе, при благоприятных условиях, возникают сильные потоки. Если пламя помещено между полюсами, то эти потоки избирают путь вдоль поверхности полюсов, которую они покидают на двух противоположных концевых плоскостях, между которыми проходит осевая линия. Затем, пройдя параллельно этой линии, они сталкиваются с пламенем с двух противоположных сторон. Питая пламя, они образуют его часть и отходят в экваториальном направлении. Если силой этих потоков пламя разгоняется в стороны и отходит туда, потоки следуют за ним; и если пламя раздваивается, воздух, находящийся между полюсами, образует поток, который идет от полюсов вниз и в стороны, по направлению к пламени. Я не хочу сказать, что воздух во *всех* случаях движется вдоль поверхности полюсов или вдоль осевых линий или даже на пространства между полюсами; ибо если держать тлеющую восковую свечу примерно на дюйм ниже осевой линии, на нее с наибольшей силой устремляется холодный воздух, который находится ближе всего к свече и (вообще говоря) между свечой и осевой линией. Фактически движения частей воздуха и пламени обусловлены дифференциальным действием. Мы в дальнейшем увидим, что воздух диамагнитен — так же, как и пламя и горячий дым; то есть, так же как и они, он стремится в соответствии с общим законом, высказанным мною в Экспериментальных исследованиях (2267 и т. д.), перемещаться от тех мест, где магнитная сила больше, туда, где она меньше; но горячий воздух или пламя обладают этим свойством в большей степени, чем холодный или более холодный воздух. Так, если пламя и воздух или же воздух при различных температурах сосуществуют одновременно в пространстве, которое находится под действием магнитных сил, различных по интенсивности, то более теплые частицы будут стремиться перейти

от мест с более сильным действием к местам с более слабым, и их заменят частицы более холодные. Поэтому дело происходит так, как если бы первые отталкивались; и возникающие потоки вызываются именно этим действием, куда присоединяется та механическая сила или поток, который пламя обычно производит в атмосфере.

Вам, конечно, ясно, что я рассматривал пламя лишь как частный случай общего закона. Это — один из самых важных и самых прекрасных случаев, который привел нас к открытию диамагнетизма газообразных тел. Но он также один из самых сложных, и это я сейчас докажу, для чего разберу некоторые из причин его возникновения и укажу их действия раздельно.

Прежде всего рассмотрим случай, когда к возникновению диамагнитного состояния пламени ведет только теплота. С этой целью спиралька из тонкой платиновой проволоки была соединена с двумя более толстыми медными проволоками так, что спиральку можно было приводить в любое положение по отношению к магнитным полюсам; и в то же время ее можно было накаливать как угодно сильно при помощи гальванической батареи. Таким образом, она служила заменой горячей восковой свечи и давала прекрасный, весьма сильно нагретый поток воздуха, неизменно по химическому составу. Когда спиралька была поставлена непосредственно под осевой линией, горячий воздух свободно поднимался между полюсами; это можно было обнаружить сверху посредством термометра; в этом потоке можно было обжечь палец и даже обуглить бумагу; но стоило только привести магнит в действие, как горячий воздух разделялся на два потока, и можно было обнаружить, что он подымается по обе стороны осевой линии. В то же время между полюсами образовался нисходящий поток, который шел вниз к спиральке и к горячему воздуху; последний поднимался и проходил в стороне от него.

Итак, вполне очевидно, что горячий воздух является диамагнитным по отношению к холодному, или более диамагнитным, чем холодный воздух. Из этого факта я заключил, что,

охладив воздух ниже нормальной температуры, я заставляю его приблизиться к магнитной оси, или заставляю казаться магнитным относительно обыкновенного воздуха. Я построил маленький прибор, в котором вертикальная трубка, подводящая воздух, проходила через сосуд с охлаждающей смесью; этот сосуд был обернут флanelью, чтобы воздух снаружи не охлаждался и не заполнил бы таким образом все магнитное поле. Центральный поток холодного воздуха был направлен вниз, немного в сторону от осевой линии, и входил в трубку, где его действие обнаруживалось чувствительным воздушным термометром. Однако, когда магнит пускался в ход, это действие прекращалось, и термометр поднимался; но когда я ставил последний под осевой линией, он вновь опускался. Это показывало, что холодное воздушное течение сместилось вовнутрь или притянулось к осевой линии, т. е. стало магнитным относительно воздуха при обыкновенной температуре или менее диамагнитным, чем он. Более низкая температура была  $0^{\circ}$  Ф. Действие было незначительно; но все же оно было явно видно.

Действие тепла на воздух, в смысле столь значительного увеличения его диамагнитных свойств, весьма примечательно. Мне представляется совершенно невероятным, чтобы причиной такого изменения его свойств было одно только расширение воздуха. Действительно, скорее можно было бы ожидать, что некоторый объем расширенного воздуха был бы в меньшей степени наделен этими диамагнитными свойствами, чем такой же объем более плотного воздуха, так же, как можно предвидеть, что пустое пространство совершенно не обнаруживает никаких магнитных или диамагнитных действий, а представляет нулевую точку между двумя классами тел (Экспериментальные исследования, 2423, 2424). Конечно, правильно, что если бы воздух был телом, принадлежащим к магнитному классу, то его расширение, равносильное разведению, заставило бы его казаться диамагнитным относительно обыкновенного воздуха (Экспериментальные исследования, 2367, 2438).

Но это, мне кажется, не должно иметь места, как будет видно из описываемых ниже результатов, полученных для кислорода и азота.

Если действие, сообщаемое теплотой, есть непосредственное следствие температуры и пропорционально ей, то это придает весьма замечательный характер газам и парам, для которых, как мы увидим позднее, оно является общим. В моих более ранних опытах (Экспериментальные исследования 2359, 2397) я нагревал различные диамагнитные тела, но не мог заметить, чтобы степень их магнитного действия хоть сколько-нибудь возросла или вообще изменилась в зависимости от температуры, которую им сообщали. Я вновь подверг действию одного полюса медные и серебряные цилиндрики, при обычной температуре и при красном калении, но с тем же самым результатом. Если и было какое-либо влияние повышенной температуры, то оно выразилось в легком увеличении диамагнитной силы, но я не уверен в этом результате. Поэтому в настоящее время приходится предполагать, что газообразные и парообразные тела резко выделяются среди других по тому мощному влиянию, какое оказывает теплота на усиление их диамагнитных свойств.

Все опыты с пламенем, дымом и воздухом показали, что воздух имеет сильно выраженные магнитные свойства, которые, хотя и изменяются под действием температуры в большой степени, но присущи ему при всех температурах. Исходя из этого, можно было с вероятностью заключить, что и другие газообразные или парообразные тела должны быть диамагнитными или магнитными и что они должны отличаться друг от друга даже при обычных или при одинаковых температурах. Я поэтому приступил к их исследованию, для чего прежде всего пускал струи каждого из них в воздух при помощи специальных приборов и приспособлений, и рассматривал пути, какими шли эти потоки при прохождении через магнитное поле, причем магнитная сила то индуцировалась, то нет.

Создавая различные струи, я иногда вводил газы в шар с горлышком и отверстием в виде трубки, а затем выпускал

газ из трубки вверх или вниз, смотря по тому, был ли он легче или тяжелее воздуха. В других случаях, как например если я брал соляную кислоту или аммиак, я давал потокам выход через горло реторты. Но поскольку весьма важно не затоплять магнитное поле невидимыми газами, я устроил следующее приспособление, которое оказалось пригодным для всех газов, не растворимых в воде. Была взята вульfoва склянка с тремя отверстиями сверху *a*, *b* и *c*; в отверстие *a* была вставлена широкая трубка, которая доходила до дна склянки и была открыта и сверху и внизу; через нее в склянку можно было наливать воду, чтобы вытеснить газ, которым она предварительно была наполнена. Отверстие *b* было закрыто пробкой. Из отверстия *c* выходила наружная трубка, снабженная краном; через нее можно было отводить газ в любое место по желанию. Чтобы выгонять газ и заставлять его выходить струей, выше склянки был поставлен сосуд с водой, кран которого настолько сужен щепкой, что когда он был вполне открыт, из сосуда вытекало только двенадцать кубических дюймов в минуту. Эта струя воды направлялась в отверстие *a*, и кран трубки с открывался; тогда в одну минуту вытеснялось двенадцать кубических дюймов газа, находившегося внутри вульfoвой склянки. Я нашел, что это как раз подходящее для нашего магнита и нашего прибора количество.

Чтобы направить этот газ к магнитным полюсам, кусок стеклянной трубки, изогнутой под углом, укреплялся при помощи зажима на подставке магнита, так что ее легко можно было сдвигать назад и вперед или же в ту и другую сторону, а ее вертикальная часть устанавливалась где угодно под осевой линией. Отверстие на этом конце имело около одной восьмой дюйма во внутреннем диаметре. В горизонтальной части близ ее сгиба был положен кусочек пропускной бумаги, смоченной (если это было нужно) крепким раствором соляной кислоты. Горизонтальную часть трубки можно было легко соединить (или разъединить в случае необходимости) с трубкой с склянки, содержащей газ, при помощи короткого куска

вулканизированной резиновой трубки. Если газ, струю которого было нужно получить, был тяжелее окружающей среды, то стеклянная трубка была изогнута так, чтобы струя пошла вниз и над осевой линией. Таким образом можно было получить потоки различных газов, причем они были вполне устойчивы и ими можно было легко управлять по желанию.

Следующая задача заключалась в том, чтобы выявить и проследить путь этих потоков. Для этого до известной степени могло служить небольшое количество паров аммиака, выпускаемых вблизи магнитного поля, но этот способ оказался неудовлетворителем: во-первых, облачко из образующихся частиц хлористого аммония само по себе диамагнитно; во-вторых, при этом слишком сильно возмущалось спокойное состояние воздуха в магнитном поле. Поэтому были устроены трубчатые ловушки, которые представляли собою трубки из тонкого стекла длиной и шириной с палец, открытые с обоих концов; они были укреплены на небольших подставках так, что их можно было пристроить по желанию выше или ниже магнитных полюсов. Когда они стояли над полюсами, я обычно брал их три сразу, одну над осевой линией и по одной с каждой стороны (от нее). Когда они находились под полюсами, нижний конец несколько отгибался, чтобы его было легче наблюдать.

Газ, получавшийся у полюсов, как уже указано, содержал немного соляной кислоты (она получалась из раствора, смачивавшего бумажку), но этого количества было недостаточно, чтобы сделать газ видимым. Чтобы определить, через какую из ловушек он проходил, в каждой из этих трубок был подвешен на медной проволочке сложенный и обвязанный кругом кусочек пропускной бумаги, смоченный в растворе аммиака. Тогда благодаря дыму, образующемуся в верхней части одной из трубок и видимому для глаза, можно было сразу обнаружить, прошел ли газ, выделившийся внизу, через одну из трубок и через какую именно; а между тем, когда газ проходил через место магнитного действия, он был совершенно чист и прозрачен.

В добавление к этим установкам, я построил защитную камеру под магнитными полюсами и магнитным полем, чтобы воздух оставался не возмущенным. Эта камера имела около шести дюймов длины на четыре дюйма по высоте и ширине, и ее легко было сделать из тонких пластинок слюды, которые в один момент можно было установить или снять. Камера нередко оставалась в большей или меньшей степени открытой сверху или снизу для выхода газов или для установки трубок-ловушек. Она давала весьма значительные преимущества.

**В о з д у х.** Прежде всего через эту установку был пущен воздух, причем струя его была направлена по осевой линии. Он обнаружился видимым образом в трубке-ловушке, стоявшей сверху, благодаря образовавшемуся дыму; но независимо от того, был ли магнит в действии или нет, его путь оставался прежним. Это указывало на то, что прибор в этом отношении действовал хорошо и сам по себе не давал каких-либо ошибочных результатов.

**А з о т.** Этот газ был направлен снизу вверх и шел прямо по осевой линии в верхнюю улавливающую трубку; но когда магнит был приведен в действие, это изменило направление потока, и хотя он не перестал проходить через среднюю трубку, однако часть его появилась и в двух боковых. Затем струя была сдвинута немного в одну сторону от осевой линии, так что при отсутствии магнитного действия она по-прежнему поднималась вверх и проходила в среднюю улавливающую трубку. Когда было возбуждено магнитное действие, она претерпела заметное изменение, и большая часть ее направилась в боковые трубки. Азот, следовательно, оказался явно диамагнитным относительно обыкновенного воздуха, если оба были взяты при одной и той же температуре; но, поскольку четыре пятых атмосферы состоят из азота, из этого результата следует с очевидностью, что азот и кислород должны сильно различаться друг от друга в отношении своих магнитных свойств.

**К и с л о р о д.** Поток кислорода был направлен вниз через воздух между полюсами. Когда магнитного действия

не было, он опускался вертикально, но и при наличии магнитного действия, по-видимому, имело место то же самое; во всяком случае он не сдвигался в экваториальном направлении. Но, в силу описанных выше опытов с азотом, мы имели основания ожидать, что кислород окажется в воздухе магнитным, а не диамагнитным; а потому я изменил путь струи и направил ее по одну сторону осевой линии. В этом случае она сначала пошла сразу в первую улавливающую трубку; но как только магнит был приведен в действие, поток отклонился: он отошел к осевой линии и попал в другую улавливающую трубку. поставленную там для его приема. Итак, кислород, по-видимому, является магнитным относительно обыкновенного воздуха. Так ли это на самом деле или он только менее диамагнитен, чем воздух (смесь кислорода и азота), нам будет удобнее выяснить позднее.

**В о д о р о д.** Этот газ оказался явно диамагнитным, притом в сложной степени; ибо, несмотря на большую подъемную силу его потока в атмосфере, обусловленную его малым удельным весом, поток все же отклонялся и уходил в экваториальном направлении. Вследствие легкости этого газа можно было бы ожидать, что он будет притягиваться к осевой линии, как это имело бы место для потока разреженного воздуха, (если бы он мог существовать). Итак, его диамагнитное состояние показывает поразительным образом, что газы, как и твердые тела, обладают характерными и различными по силе диамагнитными свойствами.

**У г л е к и с л о т а.** С этим газом был произведен очень красивый опыт. Струя была направлена вниз, немного в сторону от осевой линии; улавливающая трубка была помещена несколько дальше в сторону, так что поток должен был миновать ее, пока магнит не был приведен в действие. Но когда он начал действовать, поток изменил свое вертикальное направление, отошел в экваториальном направлении и попал в улавливающую трубку; если смотреть горизонтально, то можно было видеть, как он вытекал у нижнего конца трубки, как

вода, и падал вниз через воздух. Магнит был вновь выключен, а под нижним концом трубки поставлен стакан с известковой водой; в нем не появилось углекислоты, хотя жидкость в стакане все время перемешивалась; но в тот момент, когда магнит был опять приведен в действие, в улавливающей трубке появилась углекислота, упала в стакан, и известковая вода стала мутной. Таким образом, этот газ диамагнитен относительно воздуха.

**О к и с ь у г л е р о д а.** Прежде чем подвергнуть этот газ опыту, он был тщательно очищен от углекислоты. Он был исследован в виде нисходящего потока и был, по-видимому, сильно диамагнитным. Нужно, однако, заметить, что вещество, столь близкое по удельному весу к атмосферному воздуху, легко рассеивается в нем во все стороны, а потому легкость рассеяния еще не является убедительным доказательством его диамагнитной силы. Однако, введя немного аммиака в слюдяную камеру, можно было легко обнаружить, что окись углерода со значительной силой устремляется в экваториальном направлении; на основании этого явления я заключаю, что она более диамагнитна, чем углекислота.

**З а к и с ь а з о т а.** Этот газ в умеренной степени, но явственно диамагнитен в воздухе. Это и другие соединения азота с кислородом представляют большой интерес как потому, что они содержат те же элементы, что и воздух, так и ввиду отношения в них азота и кислорода, взятых отдельно.

**О к и с ь а з о т а.** Я испытывал этот газ в виде и восходящего, и нисходящего потока, но не мог определить его магнитных свойств. Вследствие действия кислорода воздуха изменения природы веществ, а также развиваемого при этом тепла здесь было столько случайных возмущающих влияний, а эффект, зависящий от действия магнита, был так слаб, что я не мог быть уверен в результате. В общем, газ был слабо диамагнитным; но в такой малой степени, что это могло быть обусловлено частичками дыма, который служил для того, чтобы сделать газ видимым.

Газообразная азотистая кислота. Наблюдать этот газ трудно, но я полагаю, что он слегка магнитен по отношению к воздуху.

Маслородный газ был диамагнитен, и притом в сильной степени. Вследствие малого различия в удельном весе этого газа и воздуха бывает трудно проследить течение этого газа, если не вести наблюдение по обе стороны.

Светильный газ. Лондонский светильный газ легче воздуха и составляет всего  $2/3$  веса последнего. Он определенно диамагнитен и дает исключительно хорошие и ясные результаты.

Газ сернистой кислоты диамагнитен в воздухе. Он получался в трубочке, содержащей жидкую сернистую кислоту; трубка была соединена, вместо сосуда с газом, с выпускной трубкой и соплом при помощи вулканизированной резиновой трубки. Присутствие или отсутствие газа в трубке-ловушке хорошо обнаруживалось посредством аммиака или, еще лучше, лакмусою бумажки.

Соляная кислота. Реторта, в которой газ получался, была соединена, как описано выше, с выпускной трубкой. Газ был весьма определенно диамагнитен в воздухе.

Иодистоводородная кислота также была диамагнитна в воздухе. Когда поток газа был обилен, его вхождение в боковую улавливающую трубку и прохождение через нее, по приведении магнита в действие, обнаруживались очень явственно. Когда газа было меньше, поток рассеивался в экваториальном направлении во все стороны, и в трубку входило его меньше.

Фтористый кремний. Диамагнитен в воздухе.

Аммиак. Этот газ развивался из материалов в реторте; он испытывался в верхней улавливающей трубке при помощи соляной кислоты, которой пропитывалась бумага. Он был определенно диамагнитным, соответствуя в этом отношении характеру образующих его элементов. Его можно было очень

хорошо обнаружить, держа над трубками красную лакмусовую бумажку.

**Х л о р** выделялся из вульфовой склянки и оказался решительно диамагнитным в воздухе. Чтобы выявить его вхождение в боковые улавливающие трубки каждый раз, когда магнит приводился в действие, служил или аммиак, дававший дым, или лакмусовая бумажка, которая белела.

**И о д.** Отрезок стеклянной трубки имел на нижнем конце такую форму, что образовал камеру, куда можно было положить иод; эта камера имела вытянутое отверстие, направленное вниз, для выхода газа, образующегося внутри камеры. В камеру помещалось немного иода; затем она, а в особенности ее часть близ горлышка, нагревалась на спиртовой горелке, и прибор наклонялся. Тогда, по мере того как вещество притекало к нагретым частям, образовалось большое количество паров иода, которые обильной струей выходили из отверстия вниз. Этот пурпурный поток был диамагнитен в воздухе, и можно было видеть, как он растекался вправо и влево от осевой линии, если не был слишком плотен. Если же он был плотен и тяжел, то благодаря своему весу прорывался через осевую линию, несмотря на действие магнита; все же было ясно, что иод диамагнитен по отношению к воздуху.

**Б р о м.** Небольшое количество брома помещалось в горизонтальную часть выпускной трубки, и затем через него, при помощи описанного выше прибора, пропускался воздух. От брома получалось так много паров, что воздух окрашивался в желтый цвет, и пары образовали неиственную струю, направленную по осевой линии. Небольшое количество аммиака, выпущенного вблизи магнитного поля, обнаружило, что эта струя была диамагнитна, и поэтому можно считать, что чистый пар брома также должен быть диамагнитным.

**Ц и а н.** Сильно диамагнитен в воздухе.

Если мы возьмем воздух за эталон для сравнения, нам бросится в глаза, что, хотя газы, по-видимому, весьма сильно отличаются друг от друга по степени присущих им диамагнит-

ных свойств, однако существует лишь очень немного газов, которые не были бы более диамагнитными, чем воздух. Если продолжить далее исследование в применении к двум основным составным частям воздуха, азоту и кислороду, то еще более бросается в глаза, что магнитные свойства кислорода выражены весьма слабо, и это фактически и является причиной слабой диамагнитности воздуха. Из всех исследованных до сих пор паров и газов, кислород, по-видимому, обладает наименьшей диамагнитной силой. Вопрос, какое место ему отвести, пока еще остается открытым; ибо эта сила, может быть, для него столь же мала, как и для пустоты, а может даже и перейти на магнитную сторону; опыт до сих пор не дал ответа на этот вопрос. Я полагаю, что кислород диамагнитен; это утверждение подкрепляется действием на него теплоты, которое будет описано ниже; но в ряду диамагнитных веществ он стоит исключительно низко — гораздо ниже хлора, иода и других подобных тел.

Во всех соединениях кислорода с азотом, по-видимому, сказывается присутствие кислорода. Азотистая кислота представляется менее диамагнитной, чем воздух. Окись азота, смешанная с закисью азота и нагретая, мало отличается от воздуха. Закись азота явно диамагнитна в воздухе, хотя содержит больше кислорода; но зато она содержит больше азота, чем воздух, и поэтому плотнее его, так что в ней присутствует больше материи; мне все же представляется, что результаты говорят в пользу вывода, что кислород диамагнитен. Обращаясь к взаимоотношению между окисью углерода и углекислотой, описанному дальше, мы увидим, что от прибавления кислорода тело, по-видимому, становится менее диамагнитным. Но, вернее всего, дело здесь не в том, что кислород действительно магнитен, а в том, что сложное тело обладает своей собственной диамагнитной силой, которая не равна сумме сил его частиц.

Очень трудно идти далее простых догадок по отношению к сравнительной величине диамагнитной силы, принадлежащей различным газообразным веществам, когда они изучаются только в воздухе, ибо очень многие обстоятельства затемняют здесь

результат. Во-первых, здесь играет роль то, что газ невидим; это лишает нас возможности при помощи зрения устраивать все так, чтобы получить наилучший результат. Затем оказывает влияние разница в весе; ибо если течение восходящего или нисходящего газа быстро, оно может показаться отклоненным в меньшей степени, чем другой поток, текущий более медленно, хотя его диамагнитность и больше. Газы, удельный вес которых близок к удельному весу воздуха, почти полностью рассеиваются в различных направлениях независимо от того, насколько они диамагнитны, так что лишь небольшое их количество попадает в улавливающую трубку. Еще одним обстоятельством, влияющим на результат, является расстояние отверстия, из которого выходит газ, от осевой линии: для получения максимального действия оно должно бы изменяться в зависимости от веса газов и их диамагнитной силы. Необходимо также, чтобы магнитное поле не было заполнено исследуемым газом и чтобы, вообще говоря, мы имели дело с умеренным потоком; а это в свою очередь зависит от удельного веса.

Поэтому единственным правильным методом сравнения двух газов друг с другом является исследование одного из них в другом. Ибо опыты, которые производятся с газами, в газах или в воздухе — опыты дифференциальные; по существу они сходны с опытами, которые были ранее произведены с растворами (Экспериментальные исследования, 2362 и т. д.). В связи с этим я в нескольких опытах изменял окружающую среду, заменив воздух другими газами; и прежде всего я взял углекислоту, как тело, с которым легко экспериментировать; притом оно, по всей вероятности, должно быть более диамагнитно в воздухе, чем некоторые другие газы (сужу так лишь по видимости или по относительным результатам).

Я приготовил нечто вроде подноса или ящичка, сложив двойной лист восковой бумаги; получился сосуд в 13 дюймов длины, 5 ширины и 5 дюймов высоты. Он был поставлен на концах большого магнита, а железные оконечности, описанные выше, были оставлены внутри его. Ящик был слегка прикрыт

пластинками из слюды и образовал большую квадратную камеру, в которой заключались магнитные полюсы и поле. Затем были устроены все приспособления для получения магнитного поля, выходные трубки, улавливающие трубки и т. д. — все такие же, как и раньше; и, наконец, ящик был наполнен углекислотой при помощи трубки, которая входила в него на одном из углов. От времени до времени в ящик добавлялась свежая порция газа, поскольку прежнее содержимое оказывалось по-неминому разбавленным газами или воздухом. Все действовало прекрасно, и мы легко получили следующие результаты.

Воздух проходил в осевом направлении, так как он менее диамагнитен, чем углекислый газ.

Кислород проходил к оси, как и следовало ожидать.

Азот уходил в экваториальном направлении и, следовательно, был диамагнитным даже и в углекислоте.

Водород, светильный газ, маслородный газ, соляная кислота и аммиак отходили в углекислоте в экваториальном направлении и были по отношению к ней явно диамагнитны.

Окись углерода также была определенно диамагнитна в углекислоте. Этим очень хорошо иллюстрируется действие кислорода. Равные объемы окиси углерода и углекислоты содержат равные количества углерода; но первая содержит вдвое меньше кислорода, чем вторая. Первая, однако, более диамагнитна, чем вторая; итак, хотя к углекислоте прибавлен и как бы вдавлен в нее добавочный объем (и вес) кислорода, равный тому, какой имеется в окиси углерода, однако, от этого диамагнитная сила не возрастает, а, наоборот, убывает.

Закись азота, по-видимому, слегка диамагнитна по отношению к углекислоте; но газ окиси азота оказался в обратном соотношении и проходил ближе к осевой линии.

В соответствии с этим можно предполагать, что, хотя углекислота и более диамагнитна, чем воздух, но что она не особенно далека от него в этом отношении; и она занимает такое положение именно вследствие значительного содержания в ней кисло-

рода. Кажущееся близкое к ней место закиси азота, по-видимому, обусловлено в большой мере тем же обстоятельством — значительным содержанием кислорода, входящего в ее состав. Тем не менее ясно, что действие зависит здесь не прямо от кислорода, ибо в этом случае обыкновенный воздух был бы более диамагнитным, чем каждое из этих веществ. Скорее можно думать, что силы здесь видоизменяются, как в случае железа и кислорода, и что всякое сложное тело обладает характерной для него, но постоянной интенсивностью действия.

Чтобы произвести подобные же опыты с легкими газами, два башмака магнита были подняты, так что их можно было накрыть французским стеклянным колпаком; это, вместе с подставкой магнита, образовало вокруг них очень хорошую камеру. Трубка, служившая для пополнения и для смены газовой среды, а также трубка, через которую газ поступал для наблюдения в виде потока в магнитное поле, проходили через отверстия, сделанные в дне подставки. Различные газы, которые сравнивались с газами, служившими средой, были, за исключением случаев аммиака и хлора, смешаны с едва заметным количеством соляной кислоты, как было описано выше. Газов, которые служили средой, было два: светильный газ и водород. Когда я делал опыты с светильным газом, я наблюдал направление в нем потоков другого газа, помещая вблизи струи кусочек бумаги, надетый на проволоку и смоченный в растворе аммиака. В случае среды из водорода я заранее растворял немного аммиака во всем объеме газа.

В о з д у х в светильном газе проходил к осевой линии, но действие на него было не особенно сильно.

Д л я к и с л о р о д а получалось впечатление, что он сильно магнитен в светильном газе, ибо он очень бурно устремлялся к магнитной оси и задерживался около нее; и если в это время специально выпускалось побольше дыма из хлористого аммония, то кислород захватывал его в магнитное поле с такой силой, что скрывал за собой концы магнитных полюсов. Если ватем магнитное действие на момент прекращалось, то это об-

лако опускалось вниз вследствие своей тяжести; но если в то время, когда оно было ниже полюсов, магнит вновь приводился в действие, кислородное облако в тот же миг поднималось и занимало прежнее положение. Притяжение железных опилок к магнитному полюсу не так поразительно, как та картина, которую представляет кислород при этих условиях.

**А з о т.** Явственно диамагнитен в светильном газе.

**М а с л о р о д н ы й г а з,** окись углерода и углекислота были все хотя и в легкой степени, но все же диамагнитны в светильном газе.

Когда в качестве окружающей среды светильный газ был заменен водородом, опыты были поставлены еще более тщательно. Каждый газ, подвергаемый опыту, наблюдался в водороде по крайней мере дважды: сначала в водороде, служившем для предыдущего опыта, а затем — в новой водородной атмосфере.

**В о з д у х.** Воздух в водороде проходит к оси, когда в нем очень немного дыма; если же дыма в струе много, она или остается безразличной или стремится уйти в экваториальном направлении. Я полагаю, что воздух и водород не должны быть (в этом отношении) далеки друг от друга.

**А з о т** в водороде резко диамагнитен.

**К и с л о р о д** по отношению к водороду резко магнитен: он обнаружил явления, уже описанные для случая, когда среда состояла из светильного газа; но так как струя пускала нисходящий поток кислорода несколько в сторону от осевой линии, то его центробежная сила относительно осевой линии уравновесилась центростремительной силой, создаваемой магнитным действием; поэтому струя сначала вращалась в виде правильного кольца вокруг осевой линии и образовала облако, которое продолжало вращаться вокруг нее, пока магнитное действие продолжалось. Однако оно падало на дно камеры, как только эта сила устранялась.

**З а к и с ь а з о т а.** Этот газ в водороде был явственно диамагнитен и дал очень красивые результаты благодаря тому,

что (опыт с ним) следовал за кислородом. Действительно, в начале опыта небольшое количество кислорода, находившееся в проводящей трубке, направилось к оси; но когда оно ушло, а начала выходить закись азота, поток изменял направление и самым явственным образом следовал по диамагнитному пути.

**Окись азота.** Этот газ в водороде принял направление к оси и, стало быть, магнитен по отношению к нему.

**Аммиак.** Диамагнитен в водороде.

**Окись углерода, углекислота и масляродный газ** были диамагнитны в водороде; последний, по-видимому, в наибольшей степени, а углекислота — в наименьшей.

**Хлор** в водороде был слегка диамагнитным. Это было несомненно; но возможно, что незначительный полученный эффект зависел в большой мере от облачных частиц.

**Газ соляной кислоты.** Мне представляется, что он в небольшой степени диамагнитен в водороде.

Несмотря на многочисленные обстоятельства, которые вставали на пути первых, спешных опытов этого рода и приводили к результатам, иногда неверным и противоречащим друг другу, все же из сравнения друг с другом газов при одной и той же температуре вытекают некоторые вполне определенные выводы. Важнейшим из этих выводов оказывается то место, которое занимает кислород; ибо из всех исследованных до сих пор газообразных тел он является наименее диамагнитным и, по-видимому, стоит в этом отношении далеко от всех остальных. Важно отметить также свойства азота, как диамагнитного в высокой степени. Явственно выражено место водорода, как менее диамагнитного, чем азота, хлора, который вместо того, чтобы приближаться к кислороду, стоит выше водорода, а также иода, который, вероятно, стоит гораздо выше хлора.

Место, занимаемое в о з д у х о м, обусловлено, конечно, процентным содержанием и индивидуальными диамагнитными свойствами кислорода и азота, из которых он состоит. Большое различие между этими телами в отношении магнитных свойств

и замечательные действия, которые дает кислород в светильном газе и водороде, в телах, не слишком удаленных от азота по диамагнитной силе, привели меня к мысли, что, может быть, было бы возможно разделить воздух на его две главные составные части действием одной магнитной силы. Я сделал с этой целью опыт, но потерпел неудачу; однако я не убежден, что сделать его невозможно: раз мы можем различать те или иные газы, и в частности эти два, по их магнитным свойствам, представляется вполне возможным, что достаточно сильное действие окажется в состоянии выделить их из состояния смеси.

Во время этих опытов я подвергал некоторые из газов действию тепла, чтобы выяснить, все ли они, как правило, обнаруживают то же возрастание диамагнитной силы, какое имеет место для обыкновенного воздуха (2854). С этой целью в отверстие выводящей трубки, помещенной под магнитной осью между полюсами, была вставлена платиновая спиралька. Ее можно было нагреть до любой температуры при помощи гальванической батарейки, и через нее можно было прогнать вверх какой угодно газ из прибора с вульфовой склянкой, описанного выше. Было легко определить, как шел газ: прямо вверх между полюсами или, когда начинал действовать магнит, то он покидал это направление и образовывал два экваториальных потока по сторонам; это достигалось или по ощущению помощью пальца, или посредством термоскопа, который состоял из двух спаянных (вдоль) спиральных пластинок — серебряной и платиновой; термоскоп помещался вверху в трубке. В обоих случаях нагретый газ был диамагнитным в воздухе и, кажется, в гораздо большей мере, чем если бы он имел обычную температуру. Исследованию подвергались следующие газы: кислород, азот, водород, закись азота, углекислота, соляная кислота, аммиак, светильный газ, масляродный газ.

Однако в этих опытах окружающий воздух неизбежно смешивался с преарительно нагретым газом и таким образом входил в состав нагретого потока. Поэтому я устроил платино-

вую спираль так, чтобы ее можно было нагревать в данном газе, и таким образом я имел возможность сравнить один и тот же газ при разных температурах.

Поток горячего кислорода в холодном кислороде был сильно диамагнитен. Об этом явлении и его силе можно судить по следующему. Когда платиновая спираль под осевой линией накаливалась, влияние тепла на служившую индикатором двойную спираль, помещенную в трубке над осевой линией, было настолько сильно, что ее нижний конец совершал полтора оборота или поворачивался на  $540^\circ$ . Когда магнитная сила начала действовать, спираль вновь возвращалась через все эти деления в свое начальное положение, как если бы раскаленная спираль внизу была охлаждена до обычной температуры или была удалена. Между тем в отношении этой спирали ничего не изменилось; но как только магнит перестал действовать, поток горячего кислорода сразу же возвращался к прежнему перпендикулярному пути и оказывал действие на термоскоп, как раньше.

При опытах с углекислотой оказалось, что горячая углекислота была диамагнитна относительно холодной углекислоты; и это действие было, по-видимому, столь же сильно, как и в кислороде.

Когда я поступил таким же образом с водородом, мне не удалось получить никаких данных относительно отношения горячего и холодного газов, и вот по какой причине: ни при каких условиях, ни при магнитном действии, ни без него, я не мог получить ни малейших признаков нагревания на верхней спирали, служившей термоскопом, даже тогда, когда платиновая спираль, помещенная всего на какой-нибудь дюйм ниже, была накалена почти добела. Мне кажется, что это в большой степени зависит от той быстроты, с которой водород нагревается и охлаждается сравнительно с другими газами, а также от соседства холодных железных масс, образующих магнитные полюсы, между которыми приходится пройти газу на пути вверх. Весьма вероятно, что это обстоятельство связано

также и с фактом, который наблюдал Гров, что трудно накаливать в водороде платиновую проволоку.

Когда нагревательная спираль была помещена в светильный газ, оказалось, что горячий газ диамагнитен по отношению к холодному, как и во всех других случаях. Здесь опять получилось явление, сходное с тем, которое наблюдалось в водороде; а именно, когда магнитного действия не было, восходящий поток горячего светильного газа мог заставить термоскопическую спираль повернуться всего на  $280^\circ$  или на  $300^\circ$ , а не на прежние  $540^\circ$ , которые получались, когда окружающим газом были кислород, воздух или углекислота. Это имело место даже и тогда, когда спираль имела в светильном газе более высокую температуру, чем в каждом из этих газов.

Итак, мы имеем доказательство того, что кислород, углекислота и светильный газ более диамагнитны в нагретом состоянии, чем в холодном. То же справедливо и для воздуха; и поскольку воздух состоит из четырех пятых азота и всего одной пятой кислорода, а дает в этом отношении столь же сильный эффект, как и кислород, то ясно, что азот также изменяется от холодного состояния к нагретому.

Я не имею сомнений и относительно других газов; но для полной достоверности их нужно было бы исследовать в атмосферах, состоящих из одинакового с ними вещества (2854), или же в газах, более диамагнитных при обычных температурах, чем они сами. Маслородный и светильный газы легко переносили нагревание спирали до красного каления, не воспламеняясь при выходе из выводящей трубки; для водорода требовалось, чтобы спираль находилась при более низкой температуре. Соляная кислота и аммиак очень красиво обнаруживают разделение одного потока на два, если держать вверху синюю и красную лакмусовые бумажки.

Существует другой метод наблюдать диамагнитные свойства пламени и исследовать различные газы; этот метод иногда оказывается полезным; но во всяком случае его нужно как следует понять, ибо в противном случае он легко ведет к недоразуме-

ниям. Я беру пару полюсных концевиков, которые просверлены в горизонтальном направлении, так что через них может пройти луч света. Противлежащие плоскости этих полюсов не представляют собой, как в предыдущем случае, закругленных вершин конусов; хотя они и закруглены по краям, но их можно рассматривать как плоские, на площади примерно около дюйма в диаметре. Просверленные ходы имеют форму конусов, выход которых на эти плоские поверхности несколько больше, чем полдюйма в диаметре. Когда полюсы находились на своих местах и отстояли друг от друга на 03.—0.4 дюйма, пламя асковой свечи, свободно горящее между ними, при пуске в ход магнита сначала не обнаруживало никакого изменения. Но затем оно внезапно изменило свою форму и, вытянувшись по оси, выбросило два горизонтальных языка, которые вошли в отверстия полюсов; так продолжалось все время, пока магнетизм действовал, и ни в одной своей части пламя не уходило в экваториальном направлении.

Пользуясь большим пламенем, каким горит ватный шарик, смоченный эфиром, можно было наблюдать два языка, которые выбрасывались из пламени силою магнетизма и шли в экваториальном направлении, как и ранее; а две другие части проникали в ходы магнитных полюсов и выходили с другого их конца.

Светильный газ, выпущенный в том же месте, также шел по оси, т. е. через ходы в полюсах и параллельно соединяющей их линии.

Простые соображения объясняют истинную природу этих явлений и показывают, что они вполне совместимы с полученными ранее результатами. Закон всех этих действий сводится к тому, что если частица, помещенная среди других частиц, будет более диамагнитной (или менее магнитной), чем они, то она, при возможности свободно двигаться, перейдет от того места, где магнитное действие сильнее, к тому месту, где оно слабее; частицы же менее диамагнитные переместятся от места с более слабым действием к более сильному. Когда мы имеем

дело с описанными полюсами, линия или линии максимального действия не совпадают с осью отверстий, проделанных в полюсах, а лежат на окружности, диаметр которой, вероятно, несколько больше диаметра отверстий. Линии внутри этой окружности будут соответствовать более слабому действию, причем сила будет убывать по направлению к центру. Поэтому нагретая частичка внутри этого круга будет втягиваться внутрь, и так как на нее действуют и следующие порции материи, также втягиваемые внутрь, то она найдет выход по другую сторону отверстий. Таким образом, будет казаться, что она стремится идти в направлении оси. Наоборот, горячая частица вне этой окружности, заключающей линии максимальной силы, будет выталкиваться наружу, и таким путем образует вместе с остальными два языка пламени, которые пойдут в экваториальном направлении. Поднося горящую свечу к различным участкам, можно прекрасно наметить окружность максимального магнитного действия; и если помещать свечу внутри или вне круга, можно заставить дым проходить по желанию в осевом или экваториальном направлении.

Я построил на этом принципе прибор для исследования газов, но он оказался не лучше, а скорее хуже того, который был описан выше.

Таковы результаты, которые я получил, желая проверить и расширить открытие, сделанное о Банкалари. Я продолжил бы их и далее, но настоящее состояние моего здоровья этого не позволяет; поэтому я посылаю их Вам, хотя в них, возможно, имеется много недостатков. В настоящее время почти доказано, что многие газообразные тела диамагнитны по своим свойствам, и, вероятно, окажется, что это относится и ко всем прочим. Я говорю «почти доказано», ибо по-настоящему это до сих пор еще не доказано. Что многие газообразные тела, и даже большая часть их, подвержены магнитным действиям, это доказано; но нуль до сих пор еще не установлен. А пока он не установлен, мы не можем сказать, какие газообразные тела следует отнести к диамагнитным, а какие — к магнитным, а также нет ли таких,

которые стоят у нуля. Очевидно, нет ничего невозможного в том, чтобы какие-либо газы или пары оказались магнитными или чтобы некоторые из них не были ни магнитными, ни диамагнитными. Решать такие вопросы должен опыт; и пока мы не имеем такого решения, мы не имеем права давать на него ни положительного, ни отрицательного ответа, хотя теоретически мы с большим правом можем принять ответ на веру.

Что касается меня, то я всегда верил, что нуль представляет здесь пустота, и никакое реальное тело ему не эквивалентно. Но хотя я только остерегался предполагать более чем я знаю, Дзантедески (кажется, также и Де ла Рив) с некоторыми другими, думают, по-видимому, что я утверждал, будто газы не подвержены магнитному действию. Между тем я желал только сказать, что я не мог обнаружить такого действия и что, может быть, его и не существует. В связи с этим я приведу некоторые свои слова из Экспериментальных исследований. Описывая изготовление жидкой среды с нулевыми свойствами, я говорю: «Таким образом была получена *жидкая* среда, которая практически, поскольку я это мог заметить, обладала всеми магнитными свойствами и действиями газа или даже вакуума; и т. д.» (Экспериментальные исследования, 2423). Далее, в (2433) я говорю: «Когда-то я думал, что воздух и газы как тела, допускающие утоньшение их вещества без прибавления чего-либо другого, дадут возможность наблюдать соответствующие изменения в их магнитных свойствах; но теперь, по-видимому, всякая возможность добиться этого путем разрежения отпадает». И затем ниже в (2435): «Связаны ли отрицательные результаты, получаемые при пользовании газами и парами, с *меньшим количеством вещества* в данном объеме или же они являются прямым следствием изменившегося физического состояния материи, этот вопрос имеет весьма большое значение в теории магнетизма. Для освещения этого вопроса я задумал опыт и т. д., но ожидаю встретить большие затруднения при его осуществлении и т. д.». К счастью, открытие о. Банкалари выяснило теперь для нас этот вопрос самым удовлетво-

рительным образом. Но где находится истинный нуль, или что каждое тело в большей или меньшей степени удалено от него в одну или другую сторону, это до сих пор не выяснено и не доказано экспериментально.

Я не могу закончить это письмо, не выразив надежды, что, поскольку установлено магнитное действие на газы, вскоре будет обнаружено и то, что они, находясь под влиянием магнетизма, окажутся способными действовать на свет (Экспериментальные исследования, 2186, 2212). Я также не могу не отметить весьма замечательное и прямое соотношение между силами теплоты и магнетизма, которое выявляется в опытах над пламенем, нагретым воздухом и газами. Я не смог ранее обнаружить (Экспериментальные исследования, 2397), чтобы было заметно действие теплоты на твердые диамагнитные тела, но я повторю эти опыты и сделаю другие, в более широком масштабе, если только их уже не произвели итальянские ученые. В отношении действия (тепла) на диамагнитные газы следует заметить, что, вообще говоря, оно направлено в ту же сторону, как действие тепла на железо, никель и кобальт. Именно, теплота действует двояко: или производит уменьшение магнитной силы, или — увеличение диамагнитной силы; но результатов пока получено так мало, что из них еще нельзя сделать какого-либо общего заключения.

Поскольку воздух при различных температурах имеет различные диамагнитные свойства, а атмосфера имеет различную температуру в высоких и низких слоях, эти обстоятельства могут оказывать некоторое общее влияние и действие на ее результирующее движение и происходящие в ней явления, ибо она все время подвержена магнитному влиянию земли.

Ради краткости, я часто говорил в этом письме о телах, магнитных или диамагнитных одно по отношению к другому; я надеюсь, что во всех этих случаях не возникнет никакого недоразумения относительно того смысла, в котором я понимаю эти термины, и не появится никакого неясного представления относительно четкого разграничения между этими

двумя классами, особенно после того, как одной-двумя страницами ранее я высказал свой взгляд на истинный нуль.

Остаюсь, дорогой сэр,

Ваш и т. д.

*М. Фарадей.*

Ричарду Тэйлору,  
Редактору Phil. Mag. и т. д. и т. д.

О ДВИЖЕНИЯХ, ОБНАРУЖИВАЕМЫХ ПЛАМЕНЕМ  
ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

*Проф. Дзантедески*

Самые видные ученые считали во все времена, что магнетизм представляет общее свойство тел;<sup>1</sup> и в наши дни Фарадей — единственный, кто поместил сжимаемые жидкости на нуль шкалы действия, между магнитными и диамагнитными телами. 21 сентября 1847 г. в Физической секции девятого Итальянского научного съезда в Венеции отец Банкалари, профессор физики в Королевском Генуэзском университете, прочел доклад о всеобщности магнетизма; и его доказательства показали ученым столь важными, что возникло желание проверить главным образом действие магнетизма на сжимаемые жидкости. На заседании 27 сентября докладчик Белли сообщил, что в присутствии многих ученых было доказано, что пламя, помещенное между двумя полюсами электромагнита, отталкивается в момент замыкания электрического тока и возвращается к прежнему положению, как только ток размыкается. Это открытие было встречено заслуженным одобрением со стороны генерального секретаря и секретаря Физической секции в заседании 28 сентября. Некоторые выразили желание увидеть воочию опыт Банкалари; был приведен в готовность прибор Даниэля из десяти элементов, размером в восемнад-

<sup>1</sup> Raccolta Fisico-Chimica Italiana, III. Dei corpi magnetici e diamagnetici.

цать сантиметров каждый, и я попытался повторить опыт в Физическом кабинете Королевско-императорского Венецианского лицея; но мне не удалось наблюдать ожидаемое явление. Мой временный магнит мог поднимать груз весом около 48 кг; но поскольку я держусь того принципа, что отрицательный аргумент никогда не уничтожает положительного, я, с целью дальнейшего выяснения вопроса, попросил механика Кобрса сообщить мне подробности о приборе. Белли не говорил о них в своем докладе, и на них не обратил внимания и проф. Цамбра, секретарь сеиции. Я знал, что два куска мягкого железа, составлявшие прерванный якорь, были просверлены в направлении оси. Я заподозрил, что отталкивание пламени было не непосредственным результатом действия магнетизма, а вызывалось двумя потоками воздуха, которые выходили из отверстий просверленного якоря; как показал знаменитый Фарадей, для жидкостей причиной этих потоков было вихревое движение, обусловленное магнетизмом.<sup>1</sup> Отрицательный результат опыта, поставленного мною в Венеции с сплошными кусками (якоря), я считал подтверждением этого подозрения. По прибытии в Турин, я поделился своими сомнениями с известными механиками Джестами, отцом и сыном, которые со своим профессиональным искусством соединяют редкую любовь. Они вскоре построили мне в своей лаборатории прибор Бунзена и, по моим указаниям, сделали оконечности из мягкого железа, образовавшие прерванный якорь, как сплошными, так и просверленными, как в форме параллелепипеда, так и в форме цилиндра. Я повторил опыты с ними вместе: временный магнит, имевший форму подковы, представлял цилиндр из мягкого железа длиною в Ом.335 и диаметром в Ом.015; его электромагнитная катушка состояла из медной проволоки длиною в 33м, диаметром в один с третью миллиметра; внутреннее расстояние между полюсами равнялось Ом.027; два твердых контакта в форме параллелепипедов,

<sup>1</sup> Raccolta, citat. выше, т. II, Relazione dell'influenze della forze electriche e magnetiche sulla luce ed il calorico.

составлявшие прерванный якорь, имели длину 0м.04 и стороны в 0м.011 и 0м.006; полюсы окончания имели в длину 0м.035 и сторону 0м.009. Они находились в расстоянии от четырех до пяти миллиметров друг от друга, причем магнит был установлен в вертикальном положении, с полюсами, обращенными вверх. Перед промежутком, разделяющим накладки, помещалось пламя небольшой свечи или же масляной или спиртовой лампочки, так что оно возвышалось своей верхушкой приблизительно на четверть толщины накладок. Электрический контур замыкался медными проволоками, и металлические соединения как у магнитных полюсов, так и у полюсов батареи производились посредством зажимов; а одна из проволок была разделена на две равные части, и концы были погружены в сосуд со ртутью, что давало возможность по желанию замыкать и размыкать ток.

*При замыкании контура я постоянно наблюдал отталкивание, которое продолжалось все время, пока поддерживался магнетизм; а при размыкании контура я видел, как пламя возвращалось в свое первоначальное положение. Удовлетворенный тем, что таким путем я подтвердил важный факт, открытие которого делает честь его исследователю, я стал изучать явление подробнее и нашел:*

I. *Что оно имеет место при накладках как из сплошного, так и из полого мягкого железа; это разрушило мои подозрения в том, что движения пламени можно приписать потокам воздуха; я сам убедился, что они вызывались непосредственным действием магнетизма на пламя — факт величайшей научной важности.*

II. *Что отталкивание, когда оно вполне яственно, а пламя вполне чисто и оканчивается резко выраженным язычком, сопровождается укорочением: отталкивание и укорочение наблюдаются одновременно при замыкании контура; возвращение пламени обратно и его удлинение — при размыкании контура.*

III. *Что ceteris paribus (при прочих равных условиях), наибольший эффект имеет место тогда, когда пламя касается*

выпуклой части магнитных кривых, обнаруживаемых железными опилками.

IV. Что действие равно нулю или почти равно нулю, когда пламя находится в центре промежутка между двумя накладками.

V. Что для обнаружения упомянутых выше эффектов нет необходимости, чтобы накладки были совершенно отделены друг от друга: они могут быть расположены под углом и соприкасаться двумя ребрами; пламя, помещенное в основании этого треугольника, обыкновенно обнаруживает оба описанные явления.

VI. Что действие особенно велико при некоторой определенной массе накладок (или частей якоря): за известным пределом, который может быть выяснен на опыте, увеличение массы сопровождается уменьшением эффекта; я заключил, что в этом и состоит причина отрицательных результатов, полученных мною в Венеции при первых произведенных там опытах.

VII. Что движения пламени усиливаются с увеличением числа пар (пластинок батареи). При одной паре эффект был для меня еще заметным:<sup>1</sup> при двух парах начали обнаруживаться движения; при трех парах они стали вполне отчетливыми и усиливались с увеличением числа пар до десяти, наибольшее число, каким я пользовался в этом опыте. Пары были обычного при изготовлении размера.

При повторении опытов, как это было указано выше, мы для предосторожности покрывали прибор колпаком, который был открыт сверху и поддерживался снизу двумя дисками,

---

<sup>1</sup> Г.г. Джест изготовили для меня вчера вечером электромагнит в форме круга, прерванный призматическим сечением с промежутком в два миллиметра; и я без всяких накладок получил достаточно ясно выраженное явление при одном только элементе. В этом случае наиболее заметные движения имели место при наибольшей близости пламени к сечению.

Прибор в полном виде, круглой формы, снабженный стеклянным колпаком и всеми добавочными приспособлениями, но без батареи, продается в Турине у г.г. Джест по цене тридцать франков.

оставлявшими свободный доступ воздуху, необходимому для поддержания горения. Таким образом можно было избежать всяких парушений и опасности возмущений (возможных) в данных условиях.

Заканчивая эту статью, я не могу не упомянуть о том, что знаменитый проф. Гацданига, на основании своих многочисленных опытов, которыми он доказывал действие магнетизма на те же газообразные вещества, что и Банкалари, но иными методами, пришел к заключению, что Солнце и другие небесные тела представляют собою огромные магниты. Тем самым он установил, что притяжение есть не что иное, как действие магнетизма на большие массы в пространстве, находящиеся на громадных расстояниях. Эта мысль была затем вновь высказана в 1846 г. в Пруссии, а в 1847 г. — во Франции, как можно видеть из *Comptes Rendus* Парижской Королевской Академии наук. Если это так, то тайна притяжения на расстоянии без промежуточной среды перестала бы быть тайной, и явления притяжения вновь вошли бы в область явлений, подчиненных законам обычной динамики.

Из «Gazz. Piem.»,  
12 окт. 1847, № 242

#### О ПРИМЕНЕНИИ ГУТТАПЕРЧИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ<sup>1</sup>

Дорогой Филиппе, недавно я обнаружил, что гуттаперча весьма полезна при электрических опытах; поэтому, чтобы и другие при случае или при желании могли воспользоваться ее свойствами, я передаю Вам эту заметку для напечатания в *Philosophical Magazine*.

Полезьа гуттаперчи зависит от высокой изолирующей способности, которой она обладает при обыкновенных условиях, а также от того, что она сохраняет эту способность при тех состояниях атмосферы, при которых поверхность стекла ста-

<sup>1</sup> *Philosophical Magazine*, март 1848, XXXII, 165.

новится хорошим проводником. Правда, не всякая гуттаперча, вышедшая из рук мастера, одинаково хороша; но, по-видимому, не трудно привести ее в наилучшее состояние; я опишу качества удовлетворительного образца, а затем остановлюсь на различиях. Хороший кусок гуттаперчи изолирует так же хорошо, как и одинаковый с ним кусок шеллака — все равно в какой форме: пластинки, стержня, нити; и хотя он тверд и гибок в холодном состоянии, но мягок — в нагретом, он оказывается лучше шеллака во многих случаях, где недостатком шеллака является его хрупкость. Благодаря этому из гуттаперчи хорошо делать неломаящиеся ручки для носителей электричества в индукционных опытах; в форме тонкой ленты или шнура она служит прекрасным изолирующим подвесом; кусок ее в виде листа — наилучшая изолирующая подставка для любого помещенного на нем предмета. Она представляет прекрасные изолирующие пробки для стержней электрометров с золотыми листочками — стержней, пропускаемых через защитные трубки, — а пробки больших размеров служат хорошими изолирующими ножками для временных электрических установок; цилиндры в поддюйма или более диаметром обладают большой жесткостью и представляют прекрасные изолирующие столбики. Изолирующая способность гуттаперчи может быть использована как описанными способами, так и многими другими.

В силу своей хорошей изоляции, она является также прекрасным веществом для возбуждения отрицательного электричества. Стоит только вынуть из бумаги или взять в руку такую подметку (они продаются у сапожников), и она возбуждается в такой степени, что листки электрометра расходятся на один и более дюймов; или, если она не наэлектризована, то самое легкое поглаживание ею руки, щеки, платья или почти что любого иного предмета уже придает ей электрическое состояние. Иногда гуттаперча продается весьма тонкими листками, напоминающими по внешности промасленный шелк; и если протянуть полоску из нее между пальцами, она так наэлектри-

зовывается, что прилипает к руке и притягивает кусочки бумаги. Это наводит на мысль о том, что можно было бы превратить более толстый слой такого вещества в электрическую машину с пластинкой для получения отрицательного электричества.

Что касается передачи индуктивного действия через это вещество, то из его листка легко сделать прекрасный электрофор; его можно также свадбить обкладками и пользоваться им вместо Лейденской банки или в виде прибора какого-либо иного вида, имеющего дело с индуктивным действием.

Я указал выше, что не всякая гуттаперча обладает такими хорошими электрическими свойствами. Та, которая ими не обладает (такая гуттаперча составляет около половины всей той, которая была куплена в магазине и прошла через мои руки), или разряжала электромметр так же, как кусочек бумаги или дерева, или заставляла листки сильно спадаться при прикосновении с ним, но после ее удаления листки вновь расходились на полный угол. Последний эффект мне удалось распутать, и я выяснил, что он зависел от проводящего участка внутри массы, покрытого тонкой внешней непроводящей оболочкой. Если отрезать хорошо изолирующий кусок, то поверхность разреза имеет смолистый блеск и явственно выраженный компактный характер; кусок же гуттаперчи, обладающий проводимостью, не имеет такого блеска, кажется менее прозрачным и скорее имеет вид застывшего мутного раствора. Я полагаю, что при производстве продажной гуттаперчи применяется как влажный горячий пар, так и водяные ванны, и различие между теми и иными образцами определяется теми способами, какими эти операции применяются, а также последующим процессом прокатывания между горячими цилиндрами. Впрочем, если кусок проводящей гуттаперчи нагреть в потоке горячего воздуха, — например, над стеклом низкой газовой горелки, — вытянуть, перегнуть и помять некоторое время в пальцах, как бы желая выжать находящуюся внутри влагу, то этот кусок становится не хуже самого лучшего изолятора.

Я мочил хороший образец в воде в продолжение часа; затем я его вынул, вытер и положил на одну-две минуты на воздух, и оказалось, что он изолировал нисколько не хуже, чем прежде. Другой кусок лежал в воде в течение четырех дней, затем был вытерт и испытан; вначале оказалось, что его изолирующая способность понизилась; но после того, как он пролежал двенадцать часов на воздухе при обычных условиях, он оказался столь же хорошим, как и раньше. Я не обнаружил улучшения в свойствах неизолитованного куска после того, как он находился целую неделю в шкафу с теплым воздухом; наружная пленка стала непроводящей; но когда изнутри был вырезан кусок, и свежие поверхности разреза были помещены между электрометром и пальцем, то оказалось, что внутренняя часть все же оставалась проводящей.

Если подвергнуть хорошую или плохую (в смысле электрической изоляции) гуттаперчу постепенному повышению температуры примерно до  $350^{\circ}$  или  $380^{\circ}$ , то она выделяет значительное количество воды; если ее затем охладить, то остающееся вещество обнаруживает все обычные свойства гуттаперчи и изолирует хорошо. Первоначально ваятая резина, вероятно, представляет сложное тело, смесь нескольких веществ; существовала ли в ней вода в виде гидрата, или эта вода появилась в результате более глубоких изменений в одной или другой части резины, этого я не могу сказать. В настоящей заметке я хочу лишь указать на применения гуттаперчи при устройстве временных или постоянных электрических приборов, что может послужить на пользу работающим в этой области ученым как начинающим, так и обладающим известным опытом.

Остаюсь, дорогой Филиппе,

Ваш

М. Фарадей.

Королевский институт.

9 февраля 1848 г.

СООБРАЖЕНИЯ О МАГНИТНОЙ СИЛЕ<sup>1</sup>

Излагаемые в дальнейшем общие соображения относятся к двум великим силам, которые свойственны земному шару и которые он проявляет как всей своей массой, так и своими частицами, а именно, к магнетизму и тяготению. Поэтому необходимо напомнить вкратце некоторые свойства и различия этих двух сил, на которые мы уже имели случай указывать ранее. Обе силы могут действовать на расстоянии — и, без сомнения, на каком угодно расстоянии; но тяготение может рассматриваться как сила простая и лишенная полярных свойств; наоборот, магнетизму присуща двойственность и полярность. Так, нельзя представить себе, чтобы *одна* тяготеющая частица или система действовала тяготением сама на себя, как частица или система; магнитная же частица или система может находиться в таком отношении сама к себе вследствие двойственной природы своего действия. Далее, каждая из полярностей магнитной силы может действовать притягательно или отталкивающе; и не только каждая из них, но и совокупное или *двойственное* действие магнита может также носить характер притяжения или отталкивания, как в случае парамагнитных или диамагнитных тел; действие же тяготения — всегда притягательное. Дальнейшим следствием различия в характере этих сил оказалось, что в отношении существования физических силовых линий<sup>2</sup> для сил двойственных, как электричество или магнетизм, не высказывалось никакого или почти никакого сомнения; в отношении же тяготения колебались сделать столь же определенное заключение. В применении к возрастающим магнитным взаимоотношениям Солнца и Земли, полезно помнить указание Араго на их сравнительную величину; ибо если представить себе, что центры этих двух шаров совмещены друг с другом, то границы Солнца не только до-

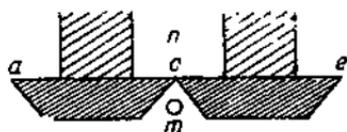
<sup>1</sup> Proceedings of the Royal Institution, 21 января 1853.

<sup>2</sup> Proceedings of the Royal Institution, 11 июня 1852, стр. 216 (см. стр. 607); также Phil. Mag., 4 серия, 1852, III, стр. 401 (см. стр. 564).

стигли бы Луны, но распространялись бы дальше почти на такое же еще расстояние, ибо объем его примерно в семь раз больше, чем объем шара, который был бы опоясан лунной орбитой.

Для более подробного изучения магнитной силы были построены крутильные весы особого вида. Крутильная проволока была из твердой протянутой платины, в 24 дюйма длиною и с таким диаметром, что 28.5 дюйма весили один гран. Как обычно, она была прикреплена к крутильной головке и указателю. Горизонтальным коромыслом служила стеклянная трубочка, которая заканчивалась со стороны, на которую подвешивались объекты, стеклянным крючком. Объекты, которые подвергались действию магнитной силы, были или стеклянные цилиндры с вытянутой из каждого их них нитью, так что образовался длинный жесткий крючок для подвеса на коромысле, или цилиндрические колбочки из стекла той же формы, но больших размеров, выдутые из стеклянных трубок, или другие предметы. Узкие окончания сосудов, представлявшие собою трубки, можно открыть; тогда путь был свободен от одного конца до другого; сосуды можно было тогда наполнить любой жидкостью или газом, запаять и вновь подвергать затем раз за разом действию магнитной силы. Источником силы служил вначале большой электромагнит; но впоследствии, чтобы иметь уверенность в постоянстве силы и чтобы можно было продолжать наблюдения как угодно долго, Королевским Институтом был приобретен и использован для исследований большой магнит, построенный г. Лоджменом по принципам, разработанным д-ром Элиасом (этот магнит, при весе около 100 ф., мог держать на весу 430 ф., согласно отчету Жюри Всемирной выставки). Магнит был расположен так, что ось действия находилась на 5 дюймов ниже уровня стеклянного коромысла, причем в промежутке проходила нить подвеса или крючок, о которых было сказано выше. Форма и положение окончаний из мягкого железа показаны в разрезе на рисунке в масштабе  $\frac{1}{10}$ ; показано также и место, где помещается объект.

Вся эта часть заключена в ящик, который принадлежит крутильным весам и на котором они установлены; этот ящик устанавливается с помощью шести винтов, укрепленных в столике магнита; и так как и на ящичке, и на столике нанесены линии и деления, то нетрудно установить первый на втором так, чтобы коромысло находилось над линией *ae* и было ей параллельно, а точка подвеса приходилась над *c*. Перемещая весь ящик параллельно самому себе по направлению к *m*, можно было помещать точку подвеса на любом расстоянии от угла *c*. Как уже было упомянуто, объекты имели нить



для подвешивания такой длины, чтобы они могли совпадать по высоте с углом в магнитном поле. Будучи подвешены на коромысле, они уравнивались свинцовым кольцом или кольцами на другом конце коромысла. Их в случае необходимости можно было перемещать вдоль коромысла, пока последнее не устанавливалось горизонтально; и это положение обеспечивалось держателем с двумя плечами; на нем лежало коромысло, когда прибор не работал; им коромысло можно было остановить, когда оно колебалось, а когда нужно было, держатель его освобождал. Движение ящика вправо или влево, с целью привести объект к середине магнитного угла, достигалось при помощи двух из ранее упомянутых винтов; перемещение его на данное расстояние от *c* — при помощи остальных четырех.

Предполагая, что когда коромысло вверх было нагружено и перед магнитом не было никакого объекта, расстояние от *c* до *m* составляло 0.6 дюйма (коромысло первоначально было, конечно, установлено в нормальном положении, а указатель кручения был поставлен на нуль), оставалось только определить возвращение коромысла на прежнее место, когда к нему был привешен объект и подвергнут отталкиванию. Это производилось следующим образом: на коромысле вблизи его сере-

Предполагая, что когда коромысло вверх было нагружено и перед магнитом не было никакого объекта, расстояние от *c* до *m* составляло 0.6 дюйма (коромысло первоначально было, конечно, установлено в нормальном положении, а указатель кручения был поставлен на нуль), оставалось только определить возвращение коромысла на прежнее место, когда к нему был привешен объект и подвергнут отталкиванию. Это производилось следующим образом: на коромысле вблизи его сере-

дины, под точкой подвеса, прикрепляется небольшое плоское зеркальце; в расстоянии около 6 футов от него помещается небольшой телескоп, соединенный с отдельной шкалой, притом в таком положении, что когда коромысло находится в равновесии, то определенное деление шкалы совпадает с тонкой проволочкой в телескопе. Когда коромысло движется, то, конечно, нам кажется, что шкала проходит мимо проволочки, притом с двойной угловой скоростью, вследствие отражения. Таким путем легко отсчитать пятидесятые и даже сотые доли дюйма, и так как при радиусе в 6 футов каждый градус видимым образом занимает 2.4 дюйма, то можно наблюдать угловое смещение, или разность, в  $\frac{1}{240}$  градуса; а поскольку радиус плеча коромысла, на котором подвешен объект, был равен 6 дюймам, такая величина составила бы на нем менее  $\frac{1}{2000}$  дюйма. Таким образом, возвращение коромысла к первоначальному или нормальному положению под влиянием силы кручения, приложенной к нему, чтоб уравновесить отталкивание, может быть определено с точностью до упомянутой величины. Когда коромысло было установлено и к нему подвешивался объект, то если он был диамагнитным, он отталкивался; наблюдатель, сидя у телескопа, мог при помощи длинной ручки, колеса и привода производить кручение, пока коромысло не приходило в прежнее положение; а затем величина кручения, отсчитанная на градуированной шкале, давала возможность оценить в градусах меры отталкивательной силы. Во время производства наблюдений магнит, весы и телескоп были все укреплены а цокольном этаже, на каменном полу. Но мы не считаем необходимым описывать здесь все предосторожности, которые должны быть приняты в отношении длительности одного наблюдения, выбора проволоки, применяемой для подвешивания при сильном кручении, возможной электризации объекта или коромысла от прикосновения, влияния слабых воздушных потоков внутри ящика, формы объекта; предосторожности в отношении капиллярного дей-

ствия, когда в качестве среды берется жидкость, и другие обстоятельства; или применение различных арретиров и ход опыта в случаях парамагнитного действия. В настоящий момент наша цель заключается только в том, чтобы дать ясное представление о самых принципах действия.

Когда тело подвергается влиянию магнита, на него влияет, в смысле результирующего действия, не только магнит, но и окружающая его среда; и если даже заменить эту среду пустотой, то остается то же взаимоотношение тела и пустоты. Результат, на деле, всегда дифференциальный; всякое изменение среды изменяет действие на объект, и есть множество веществ, которые, будучи окружены воздухом, отталкиваются, а водой — притягиваются при приближении магнита. Когда определенный стеклянный цилиндр их, весящий всего 66 гран, был подвергнут на крутильных несах действию магнита Лоджмена в окружении воздуха, потребовалось кручение лишь на  $15^\circ$ , чтобы преодолеть отталкивательную силу и возвратить объект на прежнее место; при этом расстояние цилиндрика от осевой линии было 0.5 дюйма. Когда в магнитное поле был помещен сосуд с водой и опыт был повторен, цилиндр, находившийся теперь в воде, притягивался, и чтобы преодолеть это притяжение на данном расстоянии 0.5 дюйма, потребовалось кручение на  $54^\circ.5$ . Если бы сосуд содержал жидкость, в точности одинаковую по диамагнитному действию со стеклянным цилиндром, последний не испытывал бы ни притяжения, ни отталкивания, и поэтому кручение было бы равно  $0^\circ$ . Итак, для трех тел — воздуха, стекла (определенный образец) и воды — их относительная сила, измеренная по отношению друг к другу, выражаются числами  $15^\circ, 0^\circ$  и  $54^\circ.5$ . Если взять другие жидкости — например, масло, эфир и т. п. — в качестве среды, окружающей *тот же стеклянный цилиндр*, то величина кручения, полученная соответственно для каждого из них, определяет их место в магнитном ряду. Это — принцип гидрометра или принцип Архимеда для тяжести в приложении к случаю магнитных сил. Если взять другой цилиндр, других

размеров или из другого вещества, или на иных расстояниях, то числа, выражающие кручение, будут другие, и нуль (определяемый по цилиндру) также будет другой; но середины (за одним исключением, которое будет приведено ниже) останутся в том же отношении друг к другу, как и в предыдущем случае. Поэтому, чтобы свести все экспериментальные результаты к одному общему соотношению, мы приняли стоградусную шкалу, на двух концах которой стоят воздух и вода при обычной температуре, т. е.  $60^{\circ}\Phi$ . С этой целью каждый отдельный ряд наблюдений, произведенных в точности при одних и тех же условиях, заключал всегда воздух и воду; и затем все результаты одного из рядов множились на такое число, чтобы разность между воздухом и водой обратилась в  $100^{\circ}$ ; тогда три приведенные выше значения обращаются в  $21^{\circ}6$ ,  $0^{\circ}$  и  $78.4$ . Таким путем мы получаем магнитные интервалы между различными телами на стоградусной шкале, но истинный нуль остается еще не определенным. Можно принять за нуль и воду, и воздух, и стекло, ибо интервалы ни в какой степени от этого не зависят, но результаты изменятся при этом, как показано ниже:

Воздух	$0^{\circ}$	$21^{\circ}6$	$100^{\circ}$
Стекло	$21.6$	$0$	$78.4$
Вода	$100$	$78.4$	$0$

при этом вещества, находящиеся выше нуля, парамагнитны по отношению к нему, а находящиеся ниже — диамагнитны. В таблице результатов, приведенной далее, я принял за нуль пустоту.

Таким образом ясно, что в принципе каждое твердое тело, независимо от его размеров, формы или качества, может быть включено в перечень соответственно действию на него магнита в воздухе и в воде, или в жидкостях, уже приведенных с ними в известное соотношение. В него, далее, могут быть включены и жидкости, если взять для них, воздуха и воды, *одно и то же* погруженное в них твердое тело; наконец, если мы возьмем один и тот же сосуд — например, одну и ту же стеклянную колбочку — и будем наполнять его последовательно различ-

ными газами или жидкостями, всегда включая в этот ряд воздух и воду, то для всех этих тел можно будет найти приведенные значения и дать им место в списке. Ниже мы приводим таблицу для некоторых веществ, выраженную в стоградусной шкале. Правда, в отношении применения описанных крутильных весов есть еще много пунктов, требующих дальнейшего разъяснения как с теоретической, так и с практической точки зрения, так что эти результаты имеют лишь приближенное значение. Однако, если для каждого данного вещества тщательно поставить три-четыре опыта при одних и тех же условиях в смысле расстояния, действия и т. п. и взять для каждого среднее, то полученные числа отличаются от принадлежащего истинному месту данного вещества немного более, чем на градус, а иногда и меньше,

Аммиачный раствор закиси меди (Prot-ammo. of correg)	134°23	Камфора	82°59
Аммиачный раствор окиси меди (Reg-ammo. of correg)	119.83	Камфен	82.96
Кислород	17.5	Льняное масло	85.56
Воздух	3.4	Оливковое масло	85.6
Маслородный газ	0.6	Воск	86.73
Азот	0.3	Азотная кислота	87.96
Пустота	0.0	Вода	96.6
Углекислый газ	0.0	Раствор аммиака	98.5
Водород	0.1	Бисульфид углерода	99.64
Аммиак	0.5	Насыщ. раствор селитры	100.08
Циан	0.9	Серная кислота	104.47
Стекло	18.2	Сера	118
Чистый цинк	74.6	Хлорид мышьяка	121.73
Эфир	75.3	Расплавленный борат свинца	136.6
Алкоголь, абсолютн.	78.7	Фосфор	
Лимонное масло	80	Висмут	1967.6

Действия отнесены к расстоянию 0.6 дюйма от магнитной оси магнита, как было устроено и описано выше, и, конечно, к *разным объемам* рассматриваемых тел. Последние десятичные знаки нельзя считать точными — разве только в том, что они точно соответствуют записям об опытах; они являются лишь результатами вычислений. Водород, азот и, возможно, некоторые другие тела, близкие к нулю, могут оказаться в конце концов не отличающимися от пустоты; очевидно, что небольшое количество кислорода дало бы некоторую разницу, подобную той, какую мы видим в газообразном азоте. Первый помещенный в таблице раствор меди был бесцветен, второй представляет тот же раствор, окисленный путем простого вабалтывания в склянке с воздухом, причем количество меди, аммиака и воды было в обоих случаях одно и то же.

Плюккер в своей весьма ценной статье<sup>1</sup> исследовал тела, относящиеся к сильно парамагнитным веществам, и сделанные им определения действия относятся к равным весам.

Одной из основных целей при постройке столь чувствительного прибора, как описанный выше, было исследование некоторых определенных вопросов, относящихся к науке о магнетизме, в частности вопроса о правильном применении закона обратной пропорциональности квадрату расстояния, как универсального закона магнитного действия. Обычное магнитное действие можно разделить на два рода: взаимодействие между магнитами, которые намагничены постоянным образом и свойства которых не изменяются, и взаимодействие между телами, из которых одно представляет постоянный неизменяемый магнит, а другое, не обладая собственным магнетизмом, приобретает и сохраняет его лишь под действием первого. Действия первого рода в самых ясных и чистых случаях, по-видимому, следуют упомянутому закону; но было бы преждевременно предполагать заранее и без достаточного количества веских доказательств, что этот закон применим и к случаям

<sup>1</sup> Taylor's Scientific Memoirs, V, стр. 713, 730.

второго рода. Такое поспешное заключение могло бы оказаться в противоречии с тем, что действительно наблюдается в природе, и тем самым, порождая предвзятое мнение, послужило бы во вред успехам науки. Мы не знаем, от чего зависят соответственно парамагнитные или диамагнитные свойства таких тел, как кислород, медь, вода, висмут и т. д.: от большей или меньшей проводимости в отношении линий магнитной силы или от чего-нибудь вроде полярности их частиц или масс или, наконец, от какого-либо иного состояния, о котором мы пока не имеем никакого представления. И мало надежды, чтобы мы выяснили истинные свойства, а тем самым причину магнитного действия, если мы заранее примем еще не доказанный закон этого действия, отбросив опыты, которые опровергают его. В самом деле, Плюккер определенно установил тот факт, что диамагнитная сила возрастает с возрастанием силы основного магнита быстрее, чем магнитная сила; а этот факт противоречит упомянутому выше закону. Ниже мы даем еще некоторые дополнительные результаты, относящиеся к этому вопросу.

Если какое-либо тело подвергается действию большого постоянного магнита Лоджмена в воздухе и в воде и если привести результаты к стоградусной шкале, то соотношение этих трех веществ остается одним и тем же для одного и того же расстояния, но не для разных расстояний. Так, когда некоторый цилиндр из флинтгласа был подвергнут действию магнита в окружении воды и воздуха на расстоянии в 0.3 дюйма, то, как уже было описано ранее, он оказался диамагнитным по отношению как к тому, так и к другому веществу; и когда результаты были приведены к стоградусной шкале, причем вода принята за нуль, стекло дало 9°1 ниже воды, т. е. оказалось по диамагнитную сторону от нее. На расстоянии 0.4 дюйма оно было на 10°6 ниже воды; на расстоянии 0.7 — на 12°1 ниже воды. Когда было взято более диамагнитное тело, а именно, тяжелое стекло, получился тот же результат, но еще более резко выраженный; ибо на расстоянии 0.3 оно оказалось на 37°8 выше воды, а на расстоянии 0.8 — на 48°6 выше.

Еще более поразителен был случай с висмутом, хотя объем этого вещества был взят по необходимости весьма малым, и потому нельзя ручаться с той же достоверностью за точность чисел. Ниже даются результаты для трех веществ, причем воздух всегда принимается за  $100^\circ$ , а вода за  $0^\circ$ ; в первом столбце содержится расстояние<sup>1</sup> в десятых долях дюйма от осевой линии магнитного поля для каждого из веществ, а во втором — занимаемое им место в (магнитных) градусах стоградусной шкалы ниже воды.

Флинтглас	Тяжелое стекло	Висмут
0.3—9.1	0.3—37.8	0.6—1871°
0.4—10.6	0.4—38.6	1.0—2734
0.5—11.1	0.6—40.0	1.5—3626
0.6—11.2	0.8—48.6	
0.7—12.1	1.0—51.5	
	1.2—65.6	

Отсюда следует, что чем больше расстояние диамагнитного тела от магнита, тем более оно диамагнитно по отношению к воде, если взять за мерило расстояние между водой и воздухом. Дальше, если только позволительно делать заключение на основании столь малого числа опытов, оказалось бы, что чем более данное тело диамагнитно по отношению к воздуху

<sup>1</sup> Определенное изменение расстояния необходимо влечет за собой изменение в степени действия и в форме силовых линий; но величина этого изменения не всегда одна и та же. В одном и том же расстоянии 0.4 дюйма силы, направленные в противоположные стороны от осевой линии к *m* и *n* на рисунке на стр. 684, не равны; и то же относится и к любому другому не слишком большому расстоянию. Хотя при увеличении и уменьшении расстояния изменение происходит в одном и том же направлении, но величина его различна. Если соответственным образом приспособить оконечности (магнита), то можно достигнуть того, что изменение будет происходить с чрезвычайной быстротой и одним направлением и крайне медленно, или даже его совсем не будет, в другом.

и в воде, тем больше становится это различие. Вначале можно было подумать, что эти результаты могут быть обусловлены некоторым предшествующим состоянием, сообщенным телу, вследствие того, что оно находилось ближе к магниту или дальше от него. Однако в дальнейшем было установлено, что результаты были одни и те же, независимо от того, в каком порядке производился опыт: переходя от малых расстояний к большим, или наоборот; оно не изменялось также и от того, что тело один раз помещалось до измерения вплотную к магниту, а в другой — приближалось к нему с некоторого расстояния. Ни в одном из этих случаев нельзя было обнаружить какого-либо временно индуцированного состояния.

Из опытов, если только они будут подкреплены дальнейшими исследованиями, не вытекает, что только стекло или висмут изменяются по отношению к другим двум телам. Может изменяться и кислород воздуха, и вода, и, возможно, и все прочие тела; ибо, если этот вывод представляется правильным и естественным в рассматриваемых случаях, то он, по всей вероятности, охватывает все вещества. Существенно то, что исследуемые три тела — воздух, вода и тело, подвергаемое опыту, изменяют величину магнитных отношений друг к другу; в различных заданных расстояниях от магнита изменение их магнитной силы, согласно опыту, не остается одинаковым. Если этот результат подтвердится, то он не может находиться в согласии с законом действия обратной пропорциональности квадрату расстояния. Гидрометр, плавающий в жидкости и поддерживаемый только притяжением Земли, стоял бы (при прочих равных условиях) на одной и той же точке, независимо от того, где он может находиться: на земной поверхности или в удалении от нее на несколько земных диаметров, ибо действие силы тяжести обратно пропорционально квадрату расстояния. Но если мы предположим, что вещества гидрометра и жидкости различны в магнитном отношении, как это имеет место для воды и висмута, и что Земля действует силой магнетизма, а не тяготения, тогда, согласно опытам; гидро-

метр для различных расстояний стоял бы на различных точках, и таким образом не мог бы подчиняться упомянутому закону.

Причину изменения в отношениях различных веществ друг к другу, если его наличие будет окончательно подтверждено, еще предстоит выяснить. Оно может зависеть каким-либо образом от *формы* линий магнитной силы, ибо эта форма различна на различных расстояниях; или не от формы линий, а от *величин* действия на различных расстояниях; или не только от величины, а и от того обстоятельства, что во всех случаях через различные точки тела, подвергаемого опыту, проходят линии *различной величины силы* (ибо как бы ни отличались магнитное и диамагнитное состояние тела и окружающей его жидкости, они в поле равной силы совершенно не перемещались бы одно относительно другой). Но, какова бы ни была причина, она связана с магнитными действиями, и поэтому должна подчиняться всякому закону, который, как предполагается, управляет этими действиями.

До сих пор не было отмечено, что эти общие результаты, по-видимому, находятся в прямом противоречии с результатами Плюккера, который пришел к выводу, что диамагнитное действие, с возрастанием силы, возрастает быстрее магнитного. Но, если оба заключения согласны с фактами, то это обстоятельство указывает лишь на то, что мы еще очень мало знаем о физической природе этой силы. Мы не должны закрывать глаза на первые смутные проблески этих явлений только потому, что они как с одной, так и с другой стороны, несовместимы с нашими гипотетическими законами; наоборот, мы должны неизменно помнить о них в надежде, что в них мы найдем ключ к истинному закону природы. По-видимому, когда тела подвергаются действию магнита, они приходят в новое физическое состояние, которое изменяется в зависимости от расстояния до магнита или от его силы. Для каждого тела скорость возрастания или убывания различна; и эта скорость может быть такова, что установится связь между стоящим на одном краю явлением Плюккера для парамагнитных

тел, с одной стороны, и стоящими на другом краю только что описанными явлениями в диамагнитных телах, с другой. Если мы поймем это все должным образом, мы увидим, что кажущееся противоречие обратится в гармонию, хотя оно, может быть, окажется несовместимо с законом обратной пропорциональности квадрату расстояния в том виде, как мы стремимся теперь его применять.

Плюккер уже сказал, на основании своих наблюдений, относящихся к парамагнитной и диамагнитной силе, что нельзя дать правильной таблицы магнитных веществ. То же следствие, хотя и в ином направлении, вытекает из того, что устанавливается здесь, и отсюда — сделанное выше ограничение (стр. 687). Все же мы дали, в качестве первого приближения, вышеприведенную таблицу, и она на некоторое время может оказаться полезной. Заканчивая этот первый отчет о новейших экспериментальных исследованиях, мы не можем не упомянуть о том, что сознаем все их несовершенство и возможность даже того, что их заключения придется переделать на противоположные. Но поскольку такой результат все же мало вероятен, мы сочли полезным представить наше исследование на суд членов Королевского института и всего ученого мира в надежде, что они дадут повод к критике и экспериментальной проверке и тем самым будут содействовать успеху физической науки.

Ранее<sup>1</sup> из двойственной природы сил магнетизма и электричества было выведено заключение о существовании таких физических силовых линий. К тому же заключению приводят и необходимость, чтобы во всех случаях и во всякое время существовала связь и зависимость между полярностями магнита или положительной и отрицательной электрическими поверхностями. В отношении тяготения было высказано более осторожное мнение, вследствие трудности наблюдать факты, имеющие связь с временем, а также вследствие того, что на первый взгляд не очевидно, чтобы две тяготеющие частицы или массы

<sup>1</sup> См. стр. 607.

необходимо зависели друг от друга в отношении существования или возбуждения взаимодействия между ними.<sup>1</sup> Здесь можно привести слова Ньютона, недавно обнаруженные в его трудах, из которых видно, что он безоговорочно признавал физические линии силы тяготения, и которые по самой сущности заставляют поставить его в ряды тех, кто разделяет убеждение в физической природе магнитной и электрической силы. Эти слова, высказанные в письме к Бентлею, таковы:<sup>2</sup> «Мне представляется нелепостью, чтобы тяжесть была врожденной, присущей материи и существенной для нее, так что одно тело могло бы действовать на другое на расстоянии через *пустоту*, без посредства чего-либо другого, по чему или через что их действие и сила передавались бы от одного к другому; эта нелепость так велика, что, по-моему, ни один человек, обладающий способностью здравого мышления по вопросам науки, не может ей подпасть. Причиной тяготения должно быть начало, постоянно действующее в соответствии с некоторыми законами; но материально или не материально это начало. я предоставляю судить моим читателям».

### ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ — СЛУЧАИ ОДНОВРЕМЕННОГО ВЛИЯНИЯ ТОКОВ И ЗАРЯДОВ<sup>3</sup>

При том необычайном расширении, которое испытали работы Электрической Телеграфной Компании, стали известны некоторые явления, представляющие, по моему мнению, замечательную иллюстрацию некоторых основных принципов электричества. Они служат также убедительным подтверждением правильности высказанных мною шестнадцать лет назад взглядов, что индукция, проводимость и изоляция суть взаимно зависимые явления (Экспериментальные исследования 1318 и т. д.).

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 4 серия, 1852, III, стр. 403 (3246).

<sup>2</sup> Труды Ньютона, изд. Хорслея, 1783, IV, стр. 438, или третье письмо к Бентлею.

<sup>3</sup> Proceedings of the Royal Institution, 20 января 1854.

Я глубоко признателен Компании, Гуттаперчевым заводам и м-ру Латимеру Кларку за сообщение этих фактов и за предоставленную (мне) возможность и наблюдать, и показать их.

На заводах Компании медная проволока вполне покрывается гуттаперчей, причем и металл, и изоляция всюду равномерны и концентричны. Изолированная проволока обычно изготавливается кусками длиною в полмили, а необходимые соединения производятся путем скручивания или связывания и затем спайки; после этого место соединения покрывается тонкой гуттаперчей — так, чтобы изоляция была здесь столь же совершенна, как и в любом другом месте. Окончательная проверка качества всей операции производится затем директором заводов, м-ром Статгемом, следующим замечательным способом. Полумильные мотки (провода) свешиваются по сторонам барж, стоящих на канале; мотки погружены в воду, а оба конца каждого из мотков подняты в воздух; таким образом погружается до 200 мотков одновременно, и когда их концы соединяются последовательно, получается один погруженный провод в 100 миль длины; концы всего провода могут быть отведены в крытое помещение для опыта. Один полюс изолированной гальванической батареи из многих пар цинковых и медных пластинок, с рааведенной серной кислотой, соединяется с землей, а другой — через гальванометр с тем или другим концом погруженного провода. Если пренебречь действиями в первый момент и продолжать контакт, то очевидно, что ток батареи может использовать (для своего прохождения) или весь проводник полностью, или несовершенную изоляцию в 100 милях гуттаперчи, покрывающей провод; при этом, какая бы малая часть электричества ни проходила в воду, она будет обнаружена гальванометром. Нужно сказать, что для повышения убедительности опыта, батарея должна работать на напряжение, а гальванометр, который служит для опытов, должен быть весьма чувствителен; и все же изоляция настолько совершенна, что отклонение не превышает 5°. Другим свидетельством безупречного состояния провода слу-

жит то, что, когда оба конца батареи соединены с двумя концами провода, получается мощный электрический ток, который обнаруживается и значительно более грубым прибором; но если какое-либо соединение на протяжении 100 миль разъединилось, ток прерывается, и утечка, или недостаток изоляции делается столь же малым, как и ранее. По этим признакам можно судить о качестве и состоянии провода.

Те 100 миль, на которых я наблюдал упомянутое выше явление, были доброкачественны в отношении изоляции.

Медная проволока имела в диаметре  $\frac{1}{16}$  дюйма; изолированный

провод —  $\frac{4}{16}$ ; часть его была несколько тоньше —  $\frac{7}{32}$  в диаметре;

таким образом, можно считать толщину гуттаперчи на металле равной около 0.1 дюйма. 100 миль такого изолированного провода в мотках было навалено на полу сухого склада и соединено последовательно для сравнения с проводом под водой.

Пусть имеется теперь изолированная батарея из 360 пар пластин (4×3 дюйма) и пусть один конец ее отведен в землю; подводный провод, оба конца которого находятся в комнате, и хороший провод для отвода в землю — все в готовности для требующихся соединений; когда свободный конец батареи приводился в соприкосновение с подводным проводом и затем отнимался, и после этого лицо, держащее в руке отвод в землю, дотрагивалось также до провода, оно получало сильное сотрясение. Сотрясение носило характер скорее гальванического, а не такого, какое получается от Лейденской батареи; оно занимало некоторое время, и при быстрых повторных приотрагиваниях его можно было разделить на многочисленные мелкие удары. Так, я получил целых сорок чувствительных сотрясений от одного заряда провода. Когда между зарядом и разрядом провода пропускалось некоторое время, удар был слабее; но он ощущался и через 2, 3 и 4 минуты, и даже еще дольше.

Если провод, после контакта с батареей, приводился в соприкосновение с фитилем Статгема, он легко воспламенял его (и даже шесть фитилей один за другим): он мог зажечь фитиль через 3 или 4 секунды после отрыва от батареи. Если после контакта с батареей провод, будучи отделен от нее, приводился в соприкосновение с гальванометром, он действовал на этот прибор очень сильно; действие наблюдалось, хоть и в менее значительной степени, и по прошествии 4 или 5 минут и было еще заметно через 20—30 минут после того, как провод был отделен от батареи. Если изолированный гальванометр был без перерыва в соединении с концом подводного провода, а полюс батареи приводился в соприкосновение со свободным концом прибора, было весьма поучительно наблюдать мощный поток электричества, входивший в провод; но когда он прекратился, то, хотя соприкосновение и продолжалось, отклонение не превышало  $5^\circ$  — так совершенна была изоляция. Когда затем батарея была отделена от гальванометра, и последний был приведен в соединение с отводом в землю, было столь же поразительно видеть вытекание электричества из провода, причем магнитная стрелка прибора некоторое время держалась в положении, противоположном тому, которое наблюдалось при втекании (электричества) или зарядки (провода).

Эти явления получались одинаково хорошо с обоими полюсами батареи и с обоими концами провода; и как в том случае, когда сообщение и прекращение электрического состояния производилось на одном и том же конце, так и в том случае, когда одно происходило на одном, а другое на другом конце 100-мильного провода, результаты были совершенно одинаковы. Но при этом требовалась батарея, работающая на напряжение, по причинам, которые станут вполне очевидными позднее. Батарея, которая служила для опытов, могла разложить весьма незначительное количество воды за данное время. Батарея Грова из восьми или десяти пар пластин, которая в этом отношении значительно ее превзошла бы, производила едва заметное действие на провод.

Когда опыт был произведен со 100 милями провода в воздухе, то при тех же условиях не получилось ни малейших признаков какого-либо из этих действий. Принципиально мы имеем все основания ожидать, что и здесь можно получить хотя бы весьма малый результат, но в сравнении с проводом, погруженным в воду, действие было ничтожно. Однако провод был изолирован столь же хорошо, и даже лучше, и с точки зрения постоянного тока он был столь же хорошим проводником. В этом можно было убедиться, соединив конец подводного провода с одним гальванометром, а конец воздушного провода — с другим таким же прибором; два свободные конца проводов были соединены друг с другом и с отводом в землю. Два свободных конца гальванометров были соединены друг с другом и со свободным полюсом батареи. Таким образом ток разделялся между воздушным и подводным проводом, но действие на гальванометры было в точности одинаково. Чтобы еще более убедиться в правильности этого результата, гальванометры были заменены один другим, но отклонения все же остались одинаковыми: итак, оба провода обладали одинаковой проводимостью.

Если вдуматься в дело, то причина явлений, описанных вначале, становится достаточно ясной. Вследствие совершенства изготовления, здесь получается Лейденское устройство в большом масштабе; медный провод заряжается статически тем электричеством, какое может дать полюс батареи, соединенный с ним;<sup>1</sup> оно действует индукцией через гуттаперчу (без этой индукции она сама не могла бы зарядиться, Экспериментальные исследования, 1177), вызывая противоположное состояние на поверхности воды, соприкасающейся с гуттаперчей и представляющей внешнюю обкладку этого любопытного устройства. Гуттаперча, через которую осуществляется индукция, имеет всего 0.1 дюйма в толщину, а протяжение обкладки — огромно. Поверхность медного провода составляет всего около 8300 квад-

<sup>1</sup> Davy, Elements of Chemical Philosophy, стр. 154.

ратных футов, а поверхность внешней обкладки, образуемой водой, вчетверо больше, т. е. 33 000 квадратных футов. Отсюда — поразительный характер результатов. Напряжение приобретенного статического заряда равно всего только напряжению у полюса батареи, из которого он извлечен; но его количество огромно, вследствие громадного протяжения Лейденского устройства; и поэтому, когда провод отделен от батареи и заряд начинает действовать, он имеет все свойства сильного гальванического тока и дает такие результаты, с какими пока еще не может сравниться действие самых лучших обыкновенных электрических машин и Лейденских приборов.

Воздух не дает всех этих действий просто потому, что в этом случае отсутствует внешняя обкладка, соответствующая воде, или она настолько удалена, что не получается сколько-нибудь заметной индукции, и потому внутренний провод не может получить ааряда. Для провода, находившегося на воздухе в складе, пол, стены и потолок помещения образуют внешнюю обкладку, и последняя была на значительном расстоянии; в лучшем случае она могла влиять лишь на внешние части проволочных мотков. Мне представляется, что если бы все 100 миль провода были вытянуты в воздухе в одну линию, так что она на всем протяжении находилась бы на земле, этих действий также не получилось бы; в этом случае отрицательный результат зависел бы от расстояния между индуцирующей и индуцируемой поверхностями (1483) наряду с более низкой удельной индуктивной способностью воздуха по сравнению с гуттаперчей. Все эти явления, вместе взятые, служат прекрасным доказательством тождественности статического и динамического электричества. Всю силу значительной батареи можно таким образом пустить в ход отдельными порциями и измерить в единицах статической силы, а затем, в дальнейшем, ее можно использовать для какого-либо одного, а может быть, и для всякого применения гальванического электричества.

Перехожу теперь к дальнейшим следствиям совокупных статических и динамических действий. Провода, изолированные гуттаперчей и заключенные затем в свинцовые или железные трубки, или же зарытые в землю, или погруженные в море, обнаруживают те же явления, что и только что описанные; во всех этих случаях условия допускают сходное статическое индуктивное действие. Такие подземные провода проходят между Лондоном и Манчестером и, будучи связаны в одну линию, дают длину более 1500 миль; поскольку четные провода возвращаются в Лондон, наблюдения могут производиться одним наблюдателем через промежутки около 400 миль, включая гальванометр в месте поворота. В этом проводе (1500 миль), а также в половине, или в четверти его длины, наблюдались все явления, описанные выше; единственное различие состояло в том, что изоляция была не так совершенна, и потому состояние электризации падало более быстро. Рассмотрим 750 миль проволоки, вытянутой в одну линию, причем первый гальванометр *a* находится в начале линии, второй гальванометр *b* — посередине, и третий *c* — на конце; все эти три гальванометра находятся в помещениях при наблюдателе, и третий *c* имеет совершенное соединение с землей. Как только полюс батареи приводился в соприкосновение с проводом, проходившим через гальванометр *a*, этот прибор тотчас же обнаруживал действие; через некоторое время оно обнаруживалось и на гальванометре *b*, а через еще более долгое время — на гальванометре *c*; когда были включены все 1500 миль, электрическому току требовалось две секунды, чтобы достичь последнего прибора. Далее, пусть отклонение дали все приборы (конечно, не одинаковой величины вследствие утечки электричества на линии); если теперь включить батарею в *a*, то находящийся здесь гальванометр мгновенно падает до нуля; но *b* падает лишь немного позднее, а *c* — лишь по прошествии еще более долгого времени; получается ток, идущий к концу проволоки, хотя в ее начале никакого тока не было. Далее, при коротком прикосновении полюса батареи к *a* (гальванометру),

он может отклониться и снова принять нейтральное положение, прежде чем электрическое действие достигнет  $b$ ; последний в свою очередь отклонится на мгновение, а затем остается нейтральным, прежде чем действие достигнет  $c$ ; по проволоке как бы пущена силовая волна, которая пробегает по ней постепенно и обнаруживается через последовательные промежутки времени в различных частях провода. При соответственно подобранных прикосновениях батарей удавалось даже получить в проводе одновременно две волны, следующие одна за другой, так что в тот самый момент, как на  $c$  действовала первая волна, на  $a$  или  $b$  действовала вторая; и нет никакого сомнения, что при достаточном числе приборов и тщательном производстве опыта можно было бы получить четыре или пять волн одновременно.

Если после замыкания и размыкания контакта батарей у  $a$ , сразу соединить  $a$  с землей, то получаются интересные дополнительные явления. Часть электричества, проходящего в проводе, возвратится обратно и, проходя через  $a$ , отклонит его в противоположном направлении; таким образом из двух концов провода будут идти токи в двух противоположных направлениях, и в то же время ни из какого источника ток не будет входить в провод. Или, если быстро соединить  $a$  с батареей и затем с землей, он в одном и том же месте обнаружит ток, сначала входящий в провод, а затем возвращающийся из провода; до  $b$  или до сникакая заметная часть тока не дойдет.

Если производить такие же опыты с проводом такого же протяжения, находящимся в воздухе, то никаких явлений, подобных описанным, не наблюдается; или если, руководясь теорией, поставить опыт специально так, чтобы их обнаружить, то они наблюдаются лишь в весьма слабой степени и совершенно исчезают по сравнению с резко выраженными предшествующими действиями. Действие на конце весьма длинного воздушного провода (или  $c$ ) в очень небольшой степени отстает от действия на гальванометр  $a$ ; и накопления заряда в проводе не замечается.

Все эти результаты, относящиеся к времени и т. п., очевидно, зависят от того же состояния, которое вызывало прежде явление статического заряда, именно, от индукции, направленной в сторону (от провода), и представляют необходимые следствия принципов проводимости, изоляции и индукции, трех слов, которые в своем значении неотделимы друг от друга (Экспериментальные исследования, 1320, 1326,<sup>1</sup> 1338, 1561 и т. д.). Если мы положим на электрометр с золотыми листочками пластинку из шеллака и на нее — заряженный шарик-переносчик (изолированный металлический шарик диаметром в два или три дюйма), то листочки электрометра разойдутся; как только мы снимем шарик, расхождение сразу прекращается. Это и есть *изоляция* и *индукция*. Если мы заменим шеллак металлом, то шарик, как и прежде, вызывает расхождение листочков, но если мы удалим его, хотя бы после самого короткого контакта, какой только возможен, электроскоп останется в состоянии расхождения; это — *проводимость*. Если вместо металла мы возьмем пластинку спермацета и повторим опыт, то мы увидим, что расхождение частью уничтожается, частью остается, ибо спер-

<sup>1</sup> 1326. Все эти соображения внушают мне уверенность в том, что невозможно провести резкую грань между явлениями изоляции и обыкновенной проводимости, если мы хотим заглянуть в самую их природу, т. е. в тот общий закон или законы, которыми определяется происхождение этих явлений. Мне представляется, что они заключаются в действии смежных частиц, зависящем от сил, которые развиваются при электрическом возбуждении; эти силы приводят частицы в состояние напряжения, или полярности, которое и составляет явления как *индукции*, так и *изоляции*; находясь в этом состоянии, смежные частицы обладают свойством или способностью передавать друг другу своя силы, вследствие чего последние ослабляются, и происходит разряд. По-видимому, к разряду способно всякое тело (444, 987), но различные тела обладают этой способностью в *большей или меньшей степени*, и это-то и делает их лучшими и худшими проводниками, худшими или лучшими изоляторами; по своей природе и действию *индукция* и *проводимость*, по-видимому, одинаковы (1320); единственное различие заключается в том, что при проводимости общее для обоих явлений действие достигает крайнего предела, в индукции же оно, в лучшем случае, проявляется в количествах, почти неощутимых.

мадет изолирует и в то же время проводит, притом и то, и другое — несовершенным образом. Но и шеллак также проводит, как можно показать, если дать ему на это некоторое время; а металл также препятствует проводимости и тем самым изолирует, как можно показать с помощью простого приспособления. Пусть медная проволока, в 74 фута длиной и  $\frac{1}{12}$  дюйма

в диаметре, изолирована в воздухе, причем ее конец  $m$  имеет вид металлического шарика (рисунок); конец  $e$  соединен с землей, а участки близ  $m$  и  $e$  отстоят друг от друга примерно на

полдюйма, как в *з*. Тогда, если соединить достаточно сильно заряженную Лейденскую банку внешней обкладкой с  $e$ , а внутренней с  $m$ , то проволоке сообщится заряд; несмотря на то, что она является прекрасным проводником, заряд не пройдет целиком через нее, а значительная часть его пройдет через воздух в *з* в виде яркой искры. Это зависит от того, что при такой длине проволоки сопротивление в ней накапливается до тех пор, пока не станет равным сопротивлению, какое оказывает электричеству столь высокого напряжения воздух,



или даже не превысит его.

Если усматривать в этом опыте и в подобных ему доказательство того, что проводимости через проволоку предшествуют акт индукции (1338), то все явления, наблюдаемые в подводных или подземных проводах, получают свое объяснение; и это объяснение, как я полагаю, подтверждает высказанные (мною) принципы. После того как м-р Уитстон в 1834 г. измерил скорость электрической волны в медной проволоке и нашел ее равной 288 000 миль в секунду, я высказался в 1838 г., на основании этих принципов, в том смысле (1333), что скорость разряда через *один и тот же провод* можно в значительной степени менять, изменяя те условия, которые вызывают различия при разряде через спермадет или серу. Так,

например, скорость разряда должна меняться в зависимости от напряжения или интенсивности начальной побуждающей силы (1234, 1240); это напряжение — все равно, что заряд и индукция. Пусть, например, оба конца провода в опыте проф. Уитстона будут непосредственно соединены с двумя большими изолированными металлическими поверхностями, обращенными к воздуху; тогда при замыкании контакта для разряда первоначальное действие индукции в первый момент отчасти не будет допущено к внутренней части провода и временно распределится на его общей с воздухом поверхности и на окружающих проводниках, и я, не колеблясь, предсказываю, что средняя искра будет запаздывать сильнее, чем раньше; а если эти две пластинки будут представлять собой внутреннюю и внешнюю обкладки большой Лейденской банки или батареи, то запаздывание искры будет еще большим». А ведь именно так обстоит дело в случае подводных или подземных проводов; различие состоит только в том, что не поверхности приближаются к индуцирующим обкладкам (1483), а эти последние приближаются к поверхностям. В обоих случаях индукция, следующая за зарядом, не направляется сразу почти что полностью на внутреннюю часть проволоки, а в очень большой степени распределяется снаружи. Поэтому разряд или проводимость, будучи обусловлены более низким напряжением, требуют и более долгого времени. Вот почему при 1500 милях подземного провода волна потребовала две секунды, чтоб пробежать от одного его конца до другого; при той же длине воздушного провода это время было бы почти что неизмеримо малым.

С этой точки зрения интересно сопоставить измеренные скорости электричества в металлических проволоках, как их дают различные исследователи.

	Миля в секунду
Уитстон <sup>1</sup> в 1834 г. для медной проволоки	288 000
Уокер <sup>1</sup> в Америке с телеграфным железным проводом	18 780

<sup>1</sup> Отчет Либиха и Коппа, 1850 (англ. перевод), стр. 168.

О'Митчелль, <sup>1</sup> то же	28 524
Физо и Гоннель <sup>1</sup> (медный провод)	112 680
Они же <sup>1</sup> (железный провод)	62 600
А. В. Г <sup>1</sup> (медь). Лондонский и Брюссельский телеграф	2 700
То же <sup>2</sup> (медь). Лондонский и Эдинбургский телеграф	7 600.

Здесь мы видим, что в первом случае скорость для меди получается почти в сто раз больше, чем в шестом. Далее, в отчете Либиха об опытах Физо и Гоннеля упоминается о том, что скорость не пропорциональна проводящей способности и не зависит от толщины провода. Все эти обстоятельства и противоречия, по-видимому, немедленно исчезают, если мы признаем и примем в расчет направленную в сторону индукцию провода, по которому проходит ток. Если требуется определить скорости быстрого электрического разряда в данном отрезке проволоки, то стоит только обмотать ее вокруг рамки на небольшом пространстве, или протянуть ее в воздухе на большом пространстве, или провести по стене, или проложить по земле, и при всех этих изменениях получатся различные результаты. А для длинных цепей, подобных описанным выше, совсем нельзя установить проводящую способность, если не принять в расчет их направленную в сторону статическую индукцию или же условия напряжения и количества, с которыми здесь приходится иметь дело. Это особенно относится к случаю коротких или перемежающихся токов, ибо для них статическое и динамическое состояние непрерывно переходит одно в другое.

Уже было сказано, что для постоянного тока проводимость воздушных и подводных проводов одинакова. Это находится в полном согласии с (установленными) принципами и с определенным характером электрической силы, все равно, в какой

<sup>1</sup> Отчет Либиха и Коппа, 1850 (англ. перевод), стр. 168,

<sup>2</sup> Athenaeum, 14 января 1854, стр. 54.

форме ее: в статическом состоянии, или в виде тока, или в переходном состоянии. Пропустим гальванический ток некоторого напряжения по длинному подводному проводу, другой конец которого соединен с землей. Тогда часть силы идет в первую очередь на то, чтобы возбудить направленную в сторону индукцию вокруг проволоки, причем у ближайшего конца ее напряжение в конце концов сравнивается с напряжением тока батареи, а к заземленному концу оно постепенно убывает до нуля. Пока эта индукция возрастает, индукция внутри проволоки между ее частицами остается меньше, чем она могла бы быть при других условиях. Но как только первая достигает своего максимума, индукция в проводе становится пропорциональной силе батареи и потому сравнивается с той, какая имеет место в воздушном проводе, где то же состояние достигается почти мгновенно (вследствие отсутствия направленной в сторону индукции). Затем, конечно, они одинаково разряжаются и потому одинаково проводят.

Поразительным доказательством изменения проводимости проволоки вследствие изменения направленной в сторону статической индукции служит опыт, предложенный (мною) шестнадцать лет назад (1833). Если, делая опыты с одной и той же заряженной банкой, мы подберем интервал  $s$ , стр. 704, так, чтобы искра свободно через него проходила (хотя она не прошла бы через него, если бы он был немного больше), а короткие соединительные провода  $n$  и  $o$  при этом будут изолированы в воздухе, то опыт можно было бы повторить двадцать раз без единой неудачи. Но если после этого соединить  $n$  и  $o$  с внутренней и внешней обкладками изолированной Лейденской банки, как уже было описано, то искра никогда не будет проскакивать через  $s$ , а весь заряд будет обходить проволоку по всей ее длине. Почему это так? Количество электричества здесь то же, провод тот же, сопротивление то же, сопротивление воздуха также остается неизменным; но напряжение здесь понижается вследствие того, что мгновенно может развиваться направляющаяся в сторону индукция, а потому оно оказы-

вается уже недостаточным, чтобы пробить воздух в *z*. В конце концов оно полностью сосредоточивается в проволоке, которая производит весь разряд несколько долее, чем ранее. Физо применил тот же метод к первичным гальваническим токам прекрасного индукционного аппарата Румкорфа, и с большим успехом. Он таким путем уменьшает напряжение этих токов в момент, когда оно было бы весьма невыгодно, и дает нам разительное доказательство того преимущества, которого мы достигаем, когда рассматриваем статические и динамические явления, как следствия одних и тех же законов.

Кларк видоизменил печатающий телеграф Бэна с тремя перьями и получил в результате прекрасные иллюстрации и записи изложенных выше фактов. Перья представляют железные проволочки, под которыми проходит бумажная лента, пропитанная железисто-синеродистым кали; она движется с постоянной скоростью, регулируемой часовым механизмом; таким образом получают правильные линии, вычерченные берлинской лазурью, каждый раз как (в цепи) пробегает ток и записывается время, в течение которого ток действует. В описываемом примере три линии шли рядом на расстоянии около 0.1 дюйма друг от друга. Перо *m* принадлежало контуру, состоявшему только из нескольких футов проволоки, с отдельной батареей; оно действовало при каждом нажиме контактного ключа пальцем; перо *n* находилось на заземленном конце длинного воздушного провода, а перо *o* — на заземленном конце длинного подземного провода. Ключ был устроен так, что с его помощью можно было пускать электричество из главной батареи в один из этих проводов одновременно с прохождением тока в малом контуре через перо *m*. Когда находились в действии перья *m* и *n*, запись *m* представляла собою правильную линию одинаковой толщины, длина которой указывала фактическое время, в течение которого электричество втекало в провода; запись *n* представляла также правильную линию, параллельную первой и одинаковую с ней по длине, но на самую малую величину отстававшую от нее. Это пока-

зывало, что длинный воздушный провод передает свой электрический ток на другой конец почти мгновенно. Но когда действовали перья *m* и *o*, линия *o* начиналась лишь через некоторое время после *m* и продолжалась после того, как линия *m* превращалась, т. е. после того, как была выключена батарея *o*. Кроме того, она вначале была слабой, затем усиливалась до максимума интенсивности, оставалась в этом виде, пока сохранялось соединение с батареей, и затем постепенно сходила на нет. Таким образом, запись *o* показывала, что в подводном проводе волна (электрической) силы требовала времени для достижения его дальнего конца; то, что вначале она была слабой, указывало на то, что сила тратилась на приведение в действие направленной в сторону статической индукции вдоль провода; достижение максимума и дальнейший ровный ход указывали на тот момент, когда эта индукция стала пропорциональной напряжению батарейного тока; начало ослабления указывало на момент, когда батарея была выключена; наконец, ее продолжение и постепенное ослабление указывали на время вытекания статического электричества, накопленного в проводе, и обусловленное этим правильное падение индукции, которая ранее столь же правильно возрастала.

Посредством перьев *m* и *o* можно было прекрасно показывать переход переменного тока в постоянный; подземный провод, благодаря допускаемой им индукции, действовал аналогично маховому колесу паровой машины, или же упругости в насосе. Когда контактный ключ равномерно, но быстро нажимался и отпускался, перо *m* чертило ряд коротких линий, разделенных промежутками равной длины. После того как было получено три-четыре таких линии, начинало писать перо *o*, принадлежащее подземному проводу, причем его запись была сначала слабая, затем она усиливалась до известного максимума, но все время оставалась непрерывной. При менее быстром действии контактного ключа в записи *o* понадеялись попеременно то усиление, то ослабление; а если замыкания электрического тока на одном конце подземного провода про-

исходили с еще более долгими перерывами, то записи действия на другом конце становились совсем разобщенными одна от другой. Все это самым убедительным образом показывает, как отдельный ток или волна, однажды введенный в провод и не перестающий распространяться своим путем, может быть изменен в отношении интенсивности, длительности и других свойств, благодаря его большому или меньшему расходу на направленную в сторону индукцию.

При другом расположении перьев  $n$  и  $o$  можно было соединять ближайший конец подземного провода с землей непосредственно после прекращения соединения с батареей; в этом случае получалась прекрасная запись обратного потока электричества, его продолжительности и его характера. Однако я не имею возможности входить в подробности результатов, уже описанных в принципе.

Делалось много видоизменений этих опытов, и можно придумать еще много. Так, концы изолированной батареи присоединялись к концам длинного подземного провода, и тогда при соединении с землей две половины провода давали противоположно направленные обратные токи. В этом случае провод с двух концов положителен и отрицателен благодаря тому, что его длина и действие батареи поддерживают его в том же состоянии, которое на момент сообщается короткому проводу разрядом Лейденской банки (стр. 704). Такое же явление мы имеем в другом крайнем, но подобном же случае шеллаковой нити, концы которой заряжаются положительно и отрицательно. Кулон указал на различие между короткими и длинными нитями такого рода в отношении их изолирующей или проводящей способности, и такое же различие имеет место для длинных и коротких металлических проводов.

Характер явлений, описанных мною в этом докладе, заставляет меня употреблять в применении к электричеству термины *напряжение* и *количество* — термины, которыми я имел случай пользоваться весьма часто. Тот, кто изучает как статическую, так и динамическую сторону электричества,

не может обойтись без этих выражений или им равносильных; в каждом токе, где есть сопротивление, заключается статический элемент или индукция, тогда как в каждом случае изоляции заключается в большей или меньшей степени динамический элемент и проводимость. Мы видели, что с одним и тем же гальваническим источником, тем же самым током в том же отрезке той же проволоки получался различный результат, когда мы заставляли изменяться напряжение, изменяя индукцию вокруг проволоки. Понятие напряжения или способности преодолевать сопротивление также необходимо связано с понятием электричества — и в статическом состоянии и в виде тока, как понятие давления — с понятием о паре в котле или о воздухе, проходящем через отверстия или через трубки; и наш язык должен быть способен выражать эти условия и эти понятия. Далее, мне никогда не приходилось замечать, чтобы какое-либо из этих выражений вело к недоразумениям в отношении электрического действия и давало повод к неправильным представлениям о сущности электричества или о единстве его явлений. Я не могу подобрать других терминов, которые так хорошо выражали бы нужную мысль, как эти; или которые, определяя те же понятия, не давали бы повода к таким же недоразумениям. Поэтому с моей стороны было бы неправильно искать каких-либо других слов; а кроме того, на рассматриваемом вопросе я убедился более чем когда-либо в их большой ценности и особых преимуществах для терминологии электричества.

Фитиль, упомянутый на стр. 698, имеет следующее устройство. Медная проволока была покрыта соединенной с серой гуттаперчей; через несколько месяцев оказалось, что между металлом и оболочкой образовалась пленка сернистой меди. Дальше, если в каком-либо месте срезать половинку гуттаперчи и оттуда удалить медь на расстоянии примерно  $\frac{1}{4}$  дюйма, так что связь держится лишь пленкой сернистой меди, прилегающей к оставшейся гуттаперче, то под влиянием силь-

ной батареи эта пленка сильно накалялась и могла весьма легко воспламенить порох. Порох взрывался безотказно на конце восьмимильного одиночного провода; при помощи этого фитиля можно было также получить взрыв пороха на конце 100 мильной изолированной проволоки, погруженной в канал.

### О ПОДЗЕМНЫХ ПРОВОДАХ ЭЛЕКТРОТЕЛЕГРАФА<sup>1</sup>

*Редактору Philosophical Magazine and Journal*

Господа, я только что узнал о некоторых замечательных явлениях, которые обнаруживаются в подземных проводах электрического телеграфа; они наблюдались и были описаны г-ном Вернером Симешом в Берлине в сообщении, датированном 15 апреля 1850. Это — те же явления, которые мне показывал г. Латимер Кларк, и которые я приводил в моей статье (напечатанной в Вашем Magazine за март 1854, стр. 197) в качестве доказательства правильности моих давнишних взглядов на природу изоляции, индукции и проводимости. Будет только долгом справедливости, если я укажу на них; и, мне кажется, они настолько интересны, что Вы охотно напечатаете несколько сокращенный доклад, который я Вам посылаю. Явления, о которых идет речь, получаются на проводах, покрытых гуттаперчей и проложенных под землей.

«На длинных, хорошо изолированных телеграфных линиях постоянно наблюдается одно весьма замечательное явление. Предположим, что один конец *B* провода изолирован, а другой *A* соединен с одним из полюсов батареи; пусть другой полюс батареи отведен в землю. В момент замыкания в ближайших частях провода наблюдается мгновенный ток, имеющий то же направление, что и мгновенный ток, который существовал бы, если бы был соединен с землей конец *B*; на линиях с совершенной изоляцией не получается и следа такого тока. Если при помощи коммутатора сразу заменить батарею отводом в землю,

<sup>1</sup> На Philosophical Magazine за июль 1854.

получается второй мгновенный ток почти той же интенсивности, что и первый, но в противоположном направлении. Наконец, если прервать сообщение *A* и с батареей, и с землей, т. е. изолировать этот конец, и в тот же момент соединить *B* с землей, то наблюдается мгновенный ток, почти равный по интенсивности первому, но на этот раз в том же направлении, что и первый, т. е. что и постоянный ток батареи. Этот последний опыт может быть произведен только на двойной подземной линии, где оба конца *A* и *B* находятся на одной и той же станции. С первого взгляда можно предположить, что эти явления зависят от вторичных полярностей, развивающихся в проволоке, но многие факты противоречат такому выводу. 1. Явления выражены тем резче, чем лучше изолирована проволока. 2. Токи значительно более кратковременны, чем токи, обусловленные вторичными полярностями. 3. Их интенсивность пропорциональна силе батареи и не зависит от интенсивности какого-либо постороннего тока, который может возникнуть вследствие несовершенной изоляции; поэтому интенсивность мгновенных токов может значительно превосходить максимальную интенсивность, которой могли бы достигнуть вторичные токи в том же самом контуре. 4. Наконец, интенсивность мгновенных токов пропорциональна длине провода, тогда как, если бы токи зависели от вторичных полярностей, должна была бы иметь место обратная пропорциональность.

«Эти явления можно легко объяснить, если мы вспомним прекрасные опыты, которые послужили Вольта для поразительнейшего доказательства тождества гальванизма и электричества. Он показал, что если соединить один конец его столба с землей, а другой — с внутренностью не изолированной Лейденской батареи, то батарея в одно мгновение приобретает заряд, пропорциональный силе элемента. В то же время наблюдался мгновенный ток в проводнике между элементом и батареей, который, согласно Риттеру, обладал всеми свойствами обычного тока. Нетрудно видеть, что подземный провод с его изолирующей оболочкой может быть в точности уподоблен громадной Лей-

денской батарее; стекло банок соответствует гуттаперче; внутреннюю обкладку представляет поверхность медной проволоки; внешней поверхностью служит влажная земля. Чтобы составить себе представление об емкости этого нового рода батареи, нужно только вспомнить, что поверхность провода равна 7 квадратным метрам на километр. Если соединить такой провод одним из концов с полюсом столба, а другой полюс последнего отвести в землю (при этом второй конец провода должен быть изолирован), то провод должен получить заряд того же характера и напряжения, как и полюс батареи, с которым он находится в соприкосновении. Именно это и произошло в случае первого из описанных мгновенных токов. В опыте Вольта при перерыве сообщения между полюсом и батареей и соединении проводником двух обкладок последней получался обычный разряд. Этому разряду отвечают два мгновенных тока противоположного направления, которые наблюдаются на двух концах заряженного провода при их соединении с землей и при выключенной батарее. Понятно также, что первый мгновенный ток — именно тот, который связан с зарядкой провода, должен получиться, хотя и с меньшей интенсивностью, даже и в том случае, когда другой конец провода находится в соединении с землей. Тогда мгновенный ток предшествует непрерывному или, если предпочитать иной способ выражения, в первый момент складывается с ним. Интенсивность этого мгновенного тока значительно больше, чем интенсивность постоянного тока; без сомнения потому, что при зарядке провода электричество, проходя к различным точкам провода, проходит пути тем более короткие, чем ближе к батарее находятся точки, которые должен приобрести заряд». Это извлечение взято из *Annales de Chimie*, 1850, т. XXIX, стр. 398 и далее.

Остаюсь, господа,  
Ваш покорный слуга  
*М. Фарадей.*

*Королевский институт.  
28 апреля 1854 г.*

ГИПОТЕЗЫ О МАГНЕТИЗМЕ <sup>1</sup>

Настоящий доклад имеет целью привлечь внимание аудитории к попыткам создания различных гипотез, стремящихся физически объяснить известные свойства вещества, связанные с его магнитно-электрическими проявлениями; он представляет собою естественное продолжение доклада, сделанного д-ром Франклэндом 2-го текущего месяца. Д-р Франклэнд дал в ней обзор различных взглядов, высказанных Дэви, Ампером и Берцелиусом по вопросу о том, каким образом электричество может быть связано с атомами или молекулами материи, чтобы объяснить их электрохимические действия. Он указал также на возражения, возникающие против каждой из них с логической и с экспериментальной стороны. Прежде всего было упомянуто о Кулоне и его исследованиях о магнитных взаимодействиях; о высказанной им гипотезе, что все эти явления могут быть объяснены двумя магнитными жидкостями, связанными с материей магнитных тел; и о произведенном Пуассоном глубоком математическом исследовании о достаточности этого предположения. Затем докладчик напомнил об открытой Эрстедом связи между обыкновенным магнетизмом и электрическими токами: оно повлекло за собою громадное расширение области действия магнитных сил и наших знаний об этом действии. Далее, замечательные исследования Ампера и его гипотеза (также подкрепленная тончайшим математическим анализом), что все магнитные явления зависят от электрических токов и что в таких телах, как магниты, железо, никель и т. п., имеются природные электрические токи, движущиеся внутри их атомов или частиц в одном направлении, вокруг участка, который можно назвать их экваториальной полосой. Со времени Эрстеда были произведены дальнейшие экспериментальные открытия; было найдено, что электрические токи могут индуцировать протекающие сбоку от них токи и магниты также могут вызывать подобные же токи; этим было доказано тождество магнитов и токов в смысле возбу-

<sup>1</sup> Royal Institution Proceedings, 9 июня 1854.

ждения действий, отличных от обычных магнитных притяжений и отталкиваний. Затем был открыт диамагнетизм, при котором происходят действия, аналогичные обычному магнетизму, но в котором вместо притяжения происходит, наоборот, отталкивание, а вместо отталкивания — притяжение; и область этих действий была так обширна, что решительно все немагнитные тела оказались диамагнитными. Таким образом всякая материя была приведена в подчинение магнитной силе, которую и стремятся объяснить гипотезы о природе ее физического действия. Поскольку гипотеза Ампера не могла объяснить диамагнитного действия, некоторые предположили, что в диамагнитной материи магнитная и электрическая сила может индуцировать электрические токи, направление которых противоположно токам в магнитной материи, или же индуцировать токи там, где их прежде не было. Для магнитных же тел предполагалось, что эти силы лишь заставляют токи, окружающие частицы, принимать определенное направление, тогда как раньше они имели всевозможные направления. Вебер стоит особняком, как глубокий математик, который подтвердил исследования Ампера во всем объеме, до которого последний их довел, а затем сделал к его теоретическим взглядам свои добавления; а именно, он предположил, что между частицами материи имеется электричество, которое не проявляется в виде тока, пока на него не подействует магнитная индукция; тогда оно приобретает свойства тока, причем направление этого тока противоположно направлению тех токов, которые, по представлениям Ампера, всегда циркулируют вокруг (частиц) магнитной материи; вследствие этого вещества такого вида делаются диамагнитными.

Де ла Рив, который и как экспериментатор, и как исследователь имеет неоспоримое право вникать в эти глубокие, увлекательные и трудные вопросы, в последнее время рассмотрел самым внимательным образом различные гипотезы. Напомнив разнообразные явления, которые служат доказательством того, что действия, о которых идет речь, принадлежат частицам материи, а не просто массе (частицы, соединившись, сообщают их мас-

сам), он делит магнитные действия на четыре рода или проявления, а именно обыкновенное, диамагнитное, индукцию токов и вращение (светового) луча. Он указывает на то, что всякая приемлемая гипотеза должна объяснить все *четыре* рода действия и, можно добавить, должна также, если не объяснить явления электрохимического действия, то во всяком случае находиться с ними в согласии. Де ла Рива считает, что можно следующим образом получить такой гипотетический вывод в отношении этих родов действия, а также сохранить точки зрения и Ампера и Вебера. Предполагается, что всем атомам материи присущи электрические токи одинакового рода, которые циркулируют вокруг них вечно, не уменьшаясь ни в силе, ни в скорости, ибо являются существенной частью их природы. Все эти токи направлены для каждого атома по одному определенному диаметру, который поэтому может рассматриваться, как ось. Когда они выходят за пределы объема атома, они расходятся в разные стороны и, пробегая всюду по поверхности, сходятся в противоположном конце осевого диаметра. Здесь они вновь входят в атом и проделывают тот же путь до бесконечности. Точки схождения и расхождения представляют собою как бы полюсы силы. Где атомы материи скучены или где их много в данном пространстве (а химические соображения заставляют допускать возможность таких случаев), там, согласно гипотезе, некоторые атомы могут соединяться в кольцо, так что их центральные или осевые токи могут войти друг в друга и не возвращаться обратно по поверхности каждого атома, как раньше. Такие атомы образуют молекулы магнитной материи и соответствуют гипотезе Ампера о молекулярных токах. Там же, где атомы отстоят дальше друг от друга, ибо их меньше в данном пространстве, или там, где они являются хорошими проводниками, и потому ток пробегает так же свободно по их поверхности, как и по оси, они не образуют групп, подобных молекулам магнитной материи. Они остаются подверженными своего рода индукции под действием внешних магнитов или токов и таким образом дают начало противоположным токам Вебера. Де ла Рив считает, что индукция мгно-

венных токов и вращение луча находятся в согласии с таким предположением относительно электрического состояния атомов и частиц материи.

Можно полагать, что большое разнообразие таких гипотез и их быстрая смена служат доказательством скорее слабости, чем силы в этой области физической науки, и всегда надо помнить, как много произвольных предположений делалось то для одной, то для другой из этих гипотез. Даже в наиболее совершенной из них, т. е. в гипотезе Де ла Рива, таких предположений очень много; ибо необходимо представить себе молекулы в виде плоских или дискообразных тел, как бы ни были многочисленны атомы каждой из них; далее, нужно предположить, что атомы одной молекулы не могут войти в расположение атомов другой молекулы и нарушить его; далее, что с построенной таким образом молекулой совместно электрохимическое действие; наконец, что движущая сила каждого тока в атоме помещается в оси и что, с другой стороны, прохождение тока по поверхности встречает *сопротивление*; ибо если бы не существовало различия между осевой и поверхностной силой в том или в другом направлении, то атомы не имели бы стремления соединяться в молекулы. Не надо, однако, понимать эти замечания, как принижение значения гипотез или как возражение против должного их применения. Ни один исследователь не мог бы обойтись без такой гипотезы; и попытки, подобные попытке Де ла Рива, примирить точки зрения, которые в своем более раннем виде были враждебны одна другой, являются особенно ценными. Это — попытки человека, знающего цену как гипотезам, так и законам, как теории, так и фактам, и сумевшего доказать значение тех и других плодами собственного творчества. Все же надо приветствовать ту сдержанность умов, которая отводит гипотезе подобающее ей место и готова отбросить ее, если она перестает быть удовлетворительной. В качестве примера можно привести Ньютона, который (как показывают его письма к Бейтлсу) был весьма определенно убежден в физическом существовании силовых линий тяготения, однако в своих публичных

высказываниях ограничился законом действия силы, и сделал отсюда свои великие выводы. Можно привести и Араго, который, открыв явление магнитного вращения, но не усматривая его физической причины, нашел в себе философскую силу ума, заставившую его воздержаться от каких-либо измышлений такой причины.

### О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ УЧЕНИЯ О МАГНЕТИЗМЕ<sup>1</sup>

3300. За последние 3 года я имел смелость высказывать, впрочем только как экспериментатор, новые взгляды на магнитное действие в статьях под заглавием «О линиях магнитной силы»<sup>2</sup> и «О физических линиях магнитной силы».<sup>3</sup> Первая статья была только попыткой дать в руки экспериментаторов и других (ученых) правильное изображение двойственной природы, величины и направления магнитной силы как внутри, так и вне магнита; при этом не делалось никаких предположений относительно происхождения этой силы. Мне хотелось, чтобы, стремясь в своих рассуждениях к новым успехам и новым открытиям, наш ум был свободен от ига и вредного влияния таких предположений (3075, 3243). Вторая статья представляла собой рассуждение о возможной физической природе этой силы, которая имеет существование как вне магнита, так и внутри его и внутри всех так называемых магнитных тел; я намеренно подчеркивал там, что эта статья имеет вполне гипотетический характер (3243).

3301. В настоящее время существует две, вернее — три гипотезы относительно физической природы магнитного действия.

Первая — гипотеза эфира, влекущая за собой представление о потоках или течениях; ее изложил в своих Письмах<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Из Philosophical Magazine за февраль 1855.

<sup>2</sup> Phil. Trans., 1852, стр. 25.

<sup>3</sup> Phil. Mag., 1852, июнь, стр. 401.

<sup>4</sup> Письма Эйлера, англ. пер., 1802, I, стр. 214; II, стр. 240, 242, 244.

Эйлер простым языком — для ученого, не владеющего математикой. В этой гипотезе предполагается, что магнитная жидкость или эфир движется в виде потоков как через магниты, так и через пространство и тела, их окружающие. Затем имеется гипотеза двух магнитных жидкостей, которые, присутствуя во всех магнитных телах и сосредотачиваясь на полюсах магнита, действуют притягательно и отталкивающе на те же жидкости на расстоянии и таким образом вызывают притяжения и отталкивания между удаленными друг от друга телами, содержащими их. Наконец, есть гипотеза Ампера, которая предполагает существование электрических токов вокруг частиц магнита; эти токи, действуя на расстоянии на другие частицы с подобными же токами, располагают их известным образом в тех массах, которым они принадлежат, и тем самым делают эти массы подверженными магнитному действию. Каждое из этих представлений более или менее видоизменялось различными учеными, но и трех основных направлений, которые я только что изложил, будет достаточно для моей настоящей цели. Мои гипотезы и физические воззрения не идут в своих предположениях столь далеко, как вторая и третья из этих гипотез, ибо я не беру на себя высказываться по вопросу, каким именно путем магнитная сила возникает или поддерживается в магните; они скорее примыкают к первой точке зрения, но не делают всех тех допущений, как она.

Моя гипотеза принимает магнит за центр действия, окруженный силовыми линиями; эти последние правильно изображают действие, что ныне подтверждается и математическим анализом (3302); она рассматривает эти линии как *физические* линии силы, необходимые как для существования силы внутри магнита, так и для сообщения ее магнитным телам на расстоянии и для действия ее на эти тела. Те, кто в какой-нибудь мере придерживаются гипотезы эфира, могут рассматривать эти линии как потоки, или как распространяющиеся колебания, или как стационарные волнообразные движения, или как состояние напряжения. По многим соображениям необходимо их рассматривать

не только в случае, когда они исходят из магнитных полюсов, но и тогда, когда они окружают проволоку, по которой проходит ток.

3302. Мое предложение представлять магнитное действие линиями магнитной силы обратило на себя внимание двух выдающихся людей и крупных математиков, и меня очень радует и ободряет, что они подтверждают правильность и общность этого метода изображения. Профессор У. Томсон, упоминая о подобных же силовых линиях в применении к статическому электричеству (1295, 1304) и к закону Фурье о тепловых движениях, говорит, что силовые линии дают те же математические результаты, как теория Кулона, и притом более простым аналитическим процессом (если это возможно), чем эта последняя.<sup>1</sup> Далее, он указывает «строгое основание для аналогии, в силу которой можно говорить о проводимости магнитной среды по отношению к силовым линиям».<sup>2</sup> Ван Рис опубликовал на голландском языке<sup>3</sup> математическую статью о моих силовых линиях, которая была перепечатана в *Annalen* Поггендорфа<sup>4</sup> и с которой я мог ознакомиться лишь весьма несовершенным образом по переводным выдержкам. Насколько я понимаю, он возражает против того, что я могу назвать физической частью моей точки зрения, так как я не указываю происхождения линий и не даю общего закона, к которому приводит представление о магнитных жидкостях или электрических токах. Он говорит, что моя точка зрения не уничтожает старых теорий и не делает их излишними. Однако, вот в чем, кажется, я не ошибаюсь: если принять, что линии являются представлением действия, то ван Рис считает их правильным представлением и принимает соответствующую гипотезу во всей ее полноте как для магнитных жидкостей, так и для электрических токов. Мне всегда хотелось избежать подстановки какого-либо понятия на место

<sup>1</sup> *Phil. Mag.*, 1854, VIII, стр. 53.

<sup>2</sup> Там же, стр. 56.

<sup>3</sup> *Trans. Royal Acad. Sciences of Amsterdam*, 1854, стр. 17.

<sup>4</sup> *Annalen* Поггендорфа, 1853, XC, стр. 415.

этих жидкостей или токов, чтобы освободить ум от ига предвзятых представлений; но если кто желает иметь такое представление, на которое он мог бы опираться, то на это есть старый принцип эфира.

3303. Поддержка, которую оказывает мне оценка математиками моего способа изображать магнитное действие линиями, побуждает меня остановиться подробнее на дальнейших вопросах, относящихся к истинному, но неизвестному природному магнитному действию. То, в чем мы действительно нуждаемся, это не равнообразие всевозможных методов представления сил, а единственное правильное физическое истолкование того, что становится для нас явным в этих действиях, и управляющие ими законы. Из двух предположений, обычно ныне принимаемых, т. е. о магнитных жидкостях и об электрических токах, одно должно быть неверно; может быть, неверны оба; и я не думаю, чтобы математик, если даже он считает, что каждое из них основано на более правильном принципе, чем то, которое выдвигаю я, мог отличить правильное от ложного или сказать, что то или другое правильно. Ни та, ни другая из этих гипотез не привела бы нас к явлениям диамагнетизма, ни, я полагаю, к магнитному вращению светового луча. Я думаю даже, что если бы заранее был поставлен вопрос о возможности диамагнитных явлений, то математик, руководствуясь той или другой из упомянутых гипотез, должен был бы отрицать такую возможность. Понятие, которое ввожу я, еще больше осложняет дело, ибо оно несовместимо ни с одной из приведенных точек зрения, поскольку они исходят исключительно из действия на расстоянии без какого-либо посредства; но при помощи линий сил оно объясняет магнитные действия правильно во всем, что не связано с предположениями. Итак, мы имеем теперь три основных взгляда, и, по крайней мере, два из них должны быть невозможны, т. е. неверны.

3304. Итак, очевидно, наши физические теории весьма сомнительны; и, мне кажется, было бы очень полезно, если бы мы попытались отделаться от предвзятостей, которые в них имеются

и могли тогда рассматривать силу по возможности во всей ее чистоте. В настоящее время мы не можем представить себе полярности, не чувствуя, что мы склоняемся на сторону той или другой из двух гипотез о происхождении полярных сил; и так как математические соображения не могут дать здесь решения, вопрос оказывается в том же сомнительном положении, в каком, до исследований позднейшего времени, находились противоречившие друг другу теории света. Но там применение зеркала Уитстона наряду с решительным опытом, предложенным Араго и произведенным Леоном Фуко, по-видимому, окончательно разрешило этот вопрос; также и здесь мы можем надеяться, что соответствующая доля рассуждения в соединении с экспериментом дадут нам разрешение трудности и в отношении магнетизма.

3305. Если бы мы могли знать *распределение* силы магнита прежде всего в месте ее происхождения, а затем в окружающем пространстве, это было бы уже весьма существенным достижением в исследовании поставленного нами вопроса; и если бы нам удалось это сделать, исходя из немногих допущений или обходясь без них вовсе, то мы были бы в самых благоприятных условиях для продолжения этого исследования. Допустим, что магнит представляет собой нечто вроде Солнца (а мы имеем все основания предполагать, что Солнце — магнит), поляризованного, наделенного противоположными силами и наполняющего все пространство вокруг себя своими искривленными лучами, подобно тому, как (истинное) Солнце или свеча наполняют пространство световыми лучами. Положим далее, что такая точка зрения оказывается равноценной с каждым из предыдущих взглядов, т. е. правильно представляет распределение сил; положим, наконец, что математические соображения не могут решить в настоящее время, какую из трех точек зрения следует предпочесть или отбросить сравнительно с остальными, с ней соперничающими. Тогда, чтобы содействовать разрешению вопроса, бесспорно оказывается необходимым привлечь в самой широкой мере физические соображения. Ибо, если действительно существуют физические линии магнитной силы, которые

(в смысле реального существования) соответствуют световым лучам, то не представляется столь уже невозможным, чтобы опыт *из* ощутил; получить такой ответ на вопрос об их существовании весьма важно — тем более, что этот ответ будет скорее всего положительным. Поэтому я не буду делать дальнейших предположений о физической сущности магнита по сравнению с прежним (3299), но ставлю своей целью вновь привлечь, хотя несколько бессвязными соображениями, внимание экспериментаторов к этому предмету; меня будут интересовать, во-первых, неудовлетворительное состояние современных физических представлений, а затем возможное существование физических линий силы. Замечания, которые я хочу сделать, должны быть сосредоточены на некоторых отдельных вопросах: *полярности*, *двойственности* и т. п., как это окажется более подходящим. Следующие соображения побуждают меня сделать такую попытку:

1. То, что по мнению математиков изображение направления и величины магнитной силы посредством воображаемых силовых линий является правильным.

2. То, что сам я с успехом пользовался этими линиями во многих случаях (3174).

3. Тесная аналогия между магнитной силой и другими двойственными силами как в статическом, так и динамическом состоянии, и особенно между магнитом и гальванической батареей или другим постоянным источником электрического тока.

4. Идея Эйлера о магнитном эфире или циркулирующих жидкостях.

5. Твердое убеждение, высказанное сэром Исааком Ньютоном, что нельзя возложить и на тяготение передачу действия на расстоянии без всякого посредствующего агента,<sup>1</sup> удовлетворяющего условиям физической силовой линии.

<sup>1</sup> Ньютон говорит: «То, что тяжесть есть нечто врожденное, присущее материи и характерное для нее, так что одно тело может действовать на другое на расстоянии через *пустоту*, без посредства какой-либо среды, по которой или через которую их действие и сила передавались бы от од-

6. Пример конфликта между двумя теориями света и окончательное экспериментальное разрешение спора.

3306\*. Я думаю, что употребляемые мною слова «местонахождение силы» подали кое-кому повод к возражениям, поскольку это выражение как бы предвещает заключение о существовании физических силовых линий. Я попытаюсь применять его в случае необходимости так, чтобы оно не содержало такого утверждения. Все же я замечу, что мы пользуемся таким же выражением в применении к световому лучу даже в тех его частях, где он не подвергается уничтожению и где поэтому мы знаем о нем или о его существовании не больше, чем в подобных же случаях, относящихся к магнетизму. Мы пользуемся таким же выражением, когда говорим о тяготении для таких мест, где нет второго тела, на которое могло бы действовать тяготение; а если оно там и имеется, то, в соответствии с нашими современными взглядами, это тело не может вызывать силу тяготения со стороны первого тела и даже распространения ее к данному месту.

### Магнитная полярность

3307. Значение этого термина быстро теряет черты определенности. С обычной точки зрения полярность вряд ли должна стоять в неперемнной связи с представлением о физических линиях силы; но с точки зрения фактической истины, это представление либо должно быть существенно для полярности и даже быть ей тождественно, либо быть с ним абсолютно несовместимым и быть ему противоположным. Согласно теории Кулона, полярность зависит от равнодействующей в направлении действия двух раздельных и удаленных друг от друга частей двух

---

ного к другому, представляется мне столь большой нелепостью, что, по моему, ни один человек, обладающий способностью здравого мышления в научных вопросах, не может разделять этой нелепости. Причиной тяготения должно быть начало, постоянно действующее в соответствии с некоторыми законами; но материально или не материально это начало, я представляю судить моим читателям». См. третье письмо к Бентлею.

магнитных жидкостей на такие же разделенные друг от друга части. При этом последние могут или быть отдельными с самого начала, как в магните, или, как в мягком железе, разделяются под индуктивным действием основного магнита. Эта гипотеза необходимо предполагает, что полярная сила одного знака должна отталкивать одноименную полярную силу и притягивать разноименную. Согласно взгляду Ампера на полярность, магнитных жидкостей не существует, но вокруг частиц материи (или вокруг масс) могут обращаться замкнутые электрические токи; известное из опыта различие явлений на противоположных сторонах этих токов, обнаруживаемое притяжением и отталкиванием других токов, и составляет сущность полярности. В теорию Ампера были внесены различные изменения (главным образом дополнения) Вебером, Де ла Ривом, Маттеучи и другими. Мое воззрение на полярность основывается на характере направления самой силы, какова бы ни была ее причина; я рассуждаю так: пусть электропроводящее тело движется в постоянном направлении вблизи или между тел, которые оказывают магнитное действие сами на себя или друг на друга; если тогда в нем возбуждается ток в одном направлении, то магнитная полярность одинакова. Если же направление движения или тока изменяется на обратное, это указывает на противоположную полярность. Такое указание справедливо для пространства как вне, так и внутри магнитных тел при всяком возбуждении электрического тока, и зависит от неизвестной, но существенно двойственной природы или противоположности двух сил в явлении, которое мы называем магнетизмом (3154).

3308. Многочисленные значения, которые придаются слову «полярность», и различные истолкования проявлений полярности, употребительные в настоящее время, свидетельствуют о возрастающей неопределенности как этого понятия (полярности), так и самого слова. Некоторые считают, что уже одного только факта установки в определенном направлении или притяжения, или отталкивания, которые обнаруживаются телом под влиянием основного магнита, достаточно, чтобы говорить

о полярности; я (также) полагаю, что это столь же хороший признак, как и более сложные приспособления (2693), если рассматривается лишь старое понятие полярности. Другие требуют, чтобы два тела, находящиеся под влиянием основного магнита, проявили в своих действиях взаимоотношение друг с другом, и только в этом случае рассматривают их, как полярные. Тиндалл, не имея в виду высказывать какую-либо точку зрения на природу магнитной силы, берет за критерий мягкое железо: он считает, что, если тело обнаруживает под действием магнита те же или противоположные свойства по сравнению с теми, какие обнаружило бы мягкое железо, то оно находится соответственно в состоянии той же или противоположной полярности.<sup>1</sup> Томсон находит, что если два тела обнаруживают такие противоположные состояния или явления, то отсюда еще не следует, что их надо считать взаимно противоположными в отношении того, что можно назвать их полярными состояниями.<sup>2</sup> Он, мне кажется, более склоняется обращать внимание на дифференциальное действие, и в этом приближается к той точке зрения, которой вообще держится Э. Беккерель, а также и я. Маттеуччи полагает, что вся масса полярного тела должна испытывать всеми своими частицами такое же действие, как масса железа, и что раствор железа и некоторые соли железа не имеют полюсов в собственном смысле. Для них дело обстоит так, что в точках, ближайших к основному полюсу, имеется магнетизм, противоположный магнетизму полюса, а дальше его окружает тот же магнетизм, что и в полюсе; таким образом, два конца стержня из упомянутого вещества между двумя магнитными полюсами не связаны друг с другом.<sup>3</sup> Беккерель считает, что в некоторых случаях полярность может проявляться в поперечном направлении и давать таким образом результаты, которые кое-кто объясняет противоположной полярностью. Во взглядах многих авто-

<sup>1</sup> Athenaeum, № 1406, стр. 1203.

<sup>2</sup> То же, столб. 3, внизу.

<sup>3</sup> Cours spécial sur l'induction и т. д., стр. 201.

ров всегда заключается представление об источнике полярного действия; при этом одни предполагают скопление магнитных жидкостей на главных полюсах основного магнита, другие — действие электрических токов, движущихся в определенном направлении вокруг его молекул. Такие взгляды высказываются даже и тогда, когда индуцированная полярность противоположна полярности индуцирующего магнита, как в случае висмута и т. п. Другие, как Вебер, присоединяют к гипотезе Ампера представление об электричестве, оторванном от частиц, но нераздельно связанном с массой тела, подвергаемого индукции. Иные, мне кажется, считают, что полярность зависит не целиком от основного магнита, но от соседних или окружающих веществ. Если впоследствии существование физических силовых линий подтвердится, то я предлагаю связать, в отличие от истинной полярности (3307), то, что обычно называют полярностью, с кривизной силовых линий, которая зависит в свою очередь от лучшей или худшей магнитной проводимости веществ, обнаруживающих обычные явления полярности (2818).

3309. Взгляды на полярное действие и на самый магнетизм, которых держались ранее, претерпели значительное потрясение, когда произошло открытие диамагнетизма. Мне вскоре пришлось отказаться от предположения, что полюс  $N$  магнита индуцирует такую же или полярность  $N$  в ближайшей (к нему) части висмута или фосфора. Однако, поскольку этот взгляд поддерживают весьма видные ученые, которые связывают с ним существование магнитных жидкостей или замкнутых электрических токов как источников магнитного действия, его следует подвергнуть подробному рассмотрению; по-видимому, ему суждено послужить пробным камнем для распознавания и дальнейшего развития настоящей научной истины, чьи бы доказательства ни одержали верх. Для меня лично следствия, которые этот взгляд влечет за собой с точки зрения теории магнетизма, представляются если не совершенно невозможными, то во всяком случае связанными с серьезными противоречиями и многими недоразумениями; на некоторые из них я хочу в дальнейшем указать, но

единственно — руководясь желанием способствовать общему разъяснению вопроса.

3310. Предположим, что обыкновенный магнит  $M$  (рис. 1) действует на кусок железа или какого-нибудь другого парамагнитного тела  $I$  и делает его полярным, приводя его ближайший конец в противоположное состояние  $S$  в обычном понимании этого слова; пусть, действуя на подобный же кусок диамагнитного вещества, как например висмут  $B$ , он также делает его полярным, но ближайший конец принимает одинаковое (с ним) состояние.

Тогда  $B$  и  $I$  на время становятся двумя магнитами и должны в свою очередь действовать на магнит  $M$ ; или, если бы можно было сделать так, чтобы их состояния сохранились после удаления магнита  $M$  (а это как раз имеет место для  $I$ ), они действовали бы подобно магнитам на третье тело, состоящее из магнитного вещества, как  $C$ .

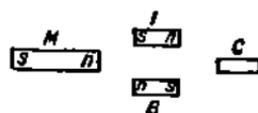


Рис. 1

Когда  $M$  действует на  $I$ , он распространяет свое влияние, согласно признанным теориям, на все его частицы, приводя их в то же полярное положение, как его собственные. В свою очередь эти частицы, в соответствии с простым предположением, действуют друг на друга, как совпадающие с этими частицами магнитики и усиливают полярность всей массы на двух концах. Таким же образом  $M$  будет действовать на  $B$ , поляризуя массу и все ее частицы; ибо действие должно распространяться на все частицы диамагнитного тела  $B$ , вплоть до самых малых; и нам известно из опыта, что трубка, наполненная порошком висмута, действует так же, как и брусок из того же металла. Но каково же будет в данном случае действие этих частиц висмута друг на друга? Правда, можно предположить, что все они обладают полярностью, противоположной  $M$ ; но тогда они не могут быть противоположны друг другу. Все они должны иметь одинаковую полярность, и в одной частицы должен быть обращен к  $s$  соседней частицы в направлении полярности. Действие этих частиц друг на друга

должно иметь место на самом деле, и данные Тиндалла по влиянию сжатия доказали это правильным путем, а именно — путем опыта. Если бы предположить, что они не оказывают друг на друга такого действия, это стояло бы в противоречии с основной природой магнитной силы, и мы не имели бы никаких причин предполагать, что сам магнит может проявлять действие на частицы, а частицы — обратно, противодействие на магнит. Если бы они действовали друг на друга так же, как, согласно предположению, на них действует магнит, т. е. индуцировали разноименные полюсы, то действие магнита уничтожилось бы, и тем вернее, чем ближе находились бы друг к другу частицы. Между тем Тиндалл показал, что магнитные свойства висмута возрастают при таком сближении частиц, и таким образом мы еще более вправе заключить, что их взаимодействие или влияние друг на друга вызывают усиление состояния (всей) массы. Но если северный магнетизм одной частицы соответствует южному магнетизму соседней частицы и содействует его сохранению и усилению, то и вся масса должна обладать такой же силой. Таким образом, у этой массы, как у магнита в целом, полярность будет такая же, как у отдельных частиц. В самом деле, мы можем тогда сделать любое предположение: или что частица висмута действует на соседнюю частицу, или что на удаленную частицу висмута, или же что вся масса, состоящая из частиц, действует на удаленную частицу — все равно, действие во всех случаях должно быть одинаково.

3311. Но почему поляризованная частица висмута, действуя на другую частицу висмута, должна вызывать в ней одноименную полярность, а на частице железа — разноименную полярность? И почему массы висмута и железа, когда они действуют как магниты (3310), должны вызывать столь различные явления? Если бы это было так, то полюс  $n$  парамагнитного тела должен бы индуцировать полюс  $s$  на ближайшем конце железного стержня, а полюс  $n$  диамагнитного тела индуцировал бы полюс, противоположный первому, т. е. полюс  $n$  на том же конце железного бруска, в том же месте и том же положении. Таким об-

разом, пришлось бы предположить два рода магнетизма, т. е. две северных жидкости (или электрических тока) и две южных; и северный магнетизм висмута отличался бы от северного магнетизма железа так же, как полюс от полюса. Мало того, оказалось бы, что северный магнетизм висмута и южный магнетизм железа имеют в точности одинаковые свойства во всех отношениях и различаются только по названию; а южный магнетизм висмута и северный магнетизм железа также оказались бы абсолютно одинаковыми. Не означает ли это, что они и на самом деле одинаковы? И почему бы нам не согласиться с тем подтверждением и бесспорным доказательством этого факта, какое нам дает опыт с движущейся проволокой (3307, 3356)?

3312. Возьмем магнит, как первоначально индуцирующее тело (3310), и будем держаться представления о двух магнитных жидкостях, сосредоточенных в полюсах; эти жидкости имеют способность действовать друг на друга притягательно, но отталкивательно на сходные с собою; тогда ясно выступит несостоятельность предположения о том, что северная жидкость данного полюса может притягивать к себе северную жидкость одного тела, но южную жидкость — другого. Точно так же несостоятельно и предположение, что северная и южная жидкости основного магнита могут притягивать одну и ту же жидкость в висмуте и в железе и т. п. Далее, возьмем вместо магнита соленоид или катушку из медной проволоки, по которой проходит ток; мы найдем, что при этом получают подобные же явления; должны ли мы тут же заключить, что этот электрический ток, действуя на предполагаемые электрические токи, циркулирующие вокруг частиц материи, притягивает их иногда с одной, а иногда с другой стороны? Или, если в такую катушку ввести такие вещества, как висмут и платина, должны ли мы допустить, что одна и та же индуцирующая причина вызывает в них токи различного направления? И это тем более трудно допустить, что все другие явления, — а их множество, — указывают, что действие в смысле направления всегда одинаково, а изменяется только его величина.

## Среды

3313. Обратимся теперь на некоторое время к рассмотрению действия различных сред и тех указаний, которые они дают по вопросу о полярности. Если слабый раствор протосульфата железа<sup>1</sup> *m* налить в отобранную тонкую стеклянную трубку около дюйма длиною, закрыть ее герметически (2279) и затем подвесить горизонтально в воздухе между двумя полюсами магнита, то она примет осевое направление и будет вести себя и в других отношениях подобно железу. Если заменить воздух между полюсами раствором *л* того же рода, что и *m*, но несколько более крепким, то раствор в трубке примет экваториальное положение, т. е. то же, что и висмут. Такой же раствор, несколько более слабый, чем *m*, назовем его *l*, заключенный в такую же трубку, будет вести себя в воздухе, как висмут, а в воде — как железо. Между тем это как раз те действия, которые приписывались полярности и которые считались доказательством предполагаемых противоположных полярностей парамагнитных и диамагнитных тел. Однако, если вникнуть хорошенько, то как применить понятие о полярности к этим случаям, или (свести) эти случаи к полярности? Раствор *l* устанавливается и действует как висмут в воде и как железо в воздухе; должны ли мы заключить отсюда, что он в этих случаях имеет противоположные полярности? И если да, то что служит основанием и причиной такого странного различия в явлениях, которые следует считать зависящими от его внутреннего или молекулярного состояния?

3314. Прежде всего переход явления в противоположное совершенно не может быть обусловлен отсутствием магнитной непрерывности, ибо предшествующие опыты показали с достаточной убедительностью,<sup>2</sup> что такие растворы обладают по своим свойствам такой же непрерывностью, как и само железо.

<sup>1</sup> Пусть, например, *l* содержит 4 грана, *m* — 8 гранов, *л* — 16 гранов и *о* — 32 грана кристаллического протосульфата железа на каждый кубический дюйм воды.

<sup>2</sup> Phil. Mag., 1848, XXIX, стр. 254.

3315. Во-вторых, с моей точки зрения невозможно утверждать, что среда, находящаяся между магнитом и подвешенным цилиндром с жидкостью, может уничтожить прямое действие первого на второй или изменить его так, чтобы изменилось направление его внутренней полярности. Пусть трубка наполнена раствором  $m$ ; тогда, будучи окружена раствором  $l$ , она установится так же, как железо; если ее будет окружать более крепкий раствор  $n$ , она установится как висмут; и при достаточном внимании можно подобрать последовательность жидкостей так, как изображено на рис. 2 и 3. Здесь кривые

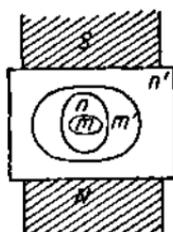


Рис. 2.

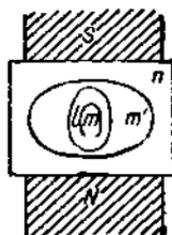


Рис. 3.

линии между полюсами представляют формы тонких стеклянных трубок, а буквы — заключенный в них раствор. На рис. 2 мы видим, что действие на  $m$  то же, что и на  $m'$ , и оба раствора устанавливаются одинаково, т. е. экваториально; действие на  $m$  не изменилось от того, что сила, исходящая из полюсов, пришлось пройти через  $n$ ,  $m'$  и  $n'$ . На рис. 3 мы видим, что, при тех же условиях в отношении силы,  $m'$  устанавливается как висмут, а  $m$  — как железо, хотя это — те же растворы как по отношению друг к другу, так и по отношению к прежним растворам  $mm'$ . Уничтожение действия влиянием среды не могло бы вызвать таких изменений: одинаковости положений в первом случае и замены их на противоположные — во втором. Единственное, что можно было ожидать от такого влияния среды, это, может быть, ослабления действия, но не перехода полярности в проти-

воположную; и все соображения указывают на то, что во всех участках растворов, одновременно находящихся в поле, имеется *одна и та же полярность*, т. е. одно и то же направление силы, проходящей через них, и одно и то же внутреннее состояние. Иными словами, каждый раствор в этой сложной совокупности испытывает совершенно такое же действие, в совершенно такой же степени, как если бы он один наполнял магнитное поле, хотя при различных расположениях он иногда устанавливается как железо, а иногда как висмут (2362, 2414).

3316. В этих движениях и установках одного и того же раствора или различных растворов заключены все действия и признаки, по которым, согласно предположению, можно различить друг от друга противоположные полярности парамагнитных и диамагнитных тел. Растворы *l* и *m* в воздухе в точности повторяют те явления, которые обнаруживают в воздухе фосфор и платина, представляющие собою соответственно диамагнитное и парамагнитное вещества. Но мы знаем, что эти явления обусловлены результатом дифференциального действия масс движущегося или устанавливающегося раствора и раствора (или воздуха), его окружающего. Для их объяснения вовсе нет необходимости в допущении структурной или внутренней полярности, имеющей противоположные направления (2361, 2757). Если, тем не менее, мы говорим, что раствор *m* имеет одну полярность в *l* и противоположную полярность в *n*, то это означало бы, что полярность обуславливается массой *m*, независимо от ее частиц; ибо трудно предположить, чтобы на частицы *m* сильнее влияло действие окружающей среды (которая сама находится под таким же индуктивным влиянием, а как магнит почти совсем бездеятельна), чем основного магнита.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Если полярность внутренней части раствора зависит от полярности внешней части и может быть изменена только через ее посредство, то почему не допустить, что воздух и пустота находятся в активном магнитном взаимодействии с телами, ими окруженными? Каким иным образом магнит мог бы действовать на удаленное тело, если он действует так на внутренний раствор сульфата железа? Или мы должны предположить два рода

Это означало бы также, что полярность (раствора)  $m$  в такой же степени обусловлена окружающей средой, как и самим магнитом или еще в большей степени; это означало бы, далее, что массы  $m$  и  $l$  и даже их форма являются определяющей причиной полярности. Таким образом из (понятия) полярности была бы совершенно исключена всякая зависимость от внутреннего молекулярного состояния, и, я полагаю, тем самым уничтожились бы последние остатки обычных представлений (о ней). Я со своей стороны не могу себе представить, чтобы, если маленькая сфера  $m$  в растворе  $l$  притягивается каким-либо данным магнитным полюсом и отталкивается под действием того же самого полюса, будучи помещена в раствор  $n$ , то ее частицы в этих двух случаях будут полярными в двух противоположных направлениях. Не могу себе представить также, чтобы для северного магнитного полюса южную полярность приобретала ближайшая сторона частиц  $m$  внутри раствора  $l$  и более отдаленная — при замене раствора  $l$  раствором  $n$ . Не допускаю и того, чтобы, если частицы  $m$  имеют одно и то же полярное состояние в обоих растворах, то чтобы целое, как масса, могло иметь противоположные состояния.

3317. Эти дифференциальные результаты составляют один непрерывный ряд от крайнего парамагнитного вещества до крайнего диамагнитного; и в этом ряду решительно каждое вещество, будучи взято вместе с двумя другими, находящимися по две разные стороны от него, обнаруживает те явления и действия, которые считаются признаками противоположных полярностей железа и висмута. Каким же образом отличить состояния, в которых они находятся, от предполагаемых состояний полярности, свойственных висмуту и железу? Я полагаю, это возможно только с помощью других предположений, которые иначе объясняют весь вопрос. В первую очередь нужно допустить, или и в самом деле допускается, что в пространстве

---

действия — посредством смежных масс или частиц в одном случае и действия на расстоянии — в другом?

вокруг магнита, если он находится в пустоте, не существует магнитной силы; утверждается, что действие не может проходить через те места в этом пространстве, где нет такого материального вещества как висмут или железо, и оно не может даже достигать таких мест. Предполагается, стало быть, что пустота находится в состоянии магнитной темноты (3305) — предположение чрезвычайно смелое, если принять во внимание наши знания о силах природы и в особенности о двойственных силах; можно сказать, что более смелого предположения не встречается ни в одной области науки о магнетизме или электричестве. Именно этот вопрос должен ранее всех других считаться неясным и подлежащим в самую первую очередь разрешению путем экспериментального исследования. Это все равно, как если бы кто сказал, что в пространстве между Солнцем и Землей нет никакого света или чего-нибудь вроде света, потому что это пространство невидимо для глаза. Сам Ньютон не решился сделать такое предположение даже в отношении тяготения (3305), а самым серьезным образом остерегается его сам и предостерегает от него других; и Эйлер,<sup>1</sup> по-видимому, следует ему в этом. Однако такое предположение дает его сторонникам возможность обойтись без рассмотрения дифференциальных действий для тел, находящихся в пустоте, и разделять все вещества на хорошо известный двойной ряд парамагнитных и диамагнитных. Кроме того, те, кто предполагает, что диамагнитные тела обладают противоположной полярностью, должны также предполагать, что состояние, приобретенное ими вследствие индукции, менее благоприятно для проявления или передачи магнитной силы, чем первоначальное не поляризованное состояние висмута. Но такое предположение, по-моему, противоречит естественному действию и окончательному устойчивому состоянию, в которое физические силы стремятся привести все тела, им подверженные. Я могу представить себе, что магнит, действующий на кусок железа, может так направить и расположить силы, что действия

<sup>1</sup> Письма, и т. д., англ. перевод. Письмо XVIII или стр. 260—262.

магнита и железа окажутся взаимно согласованными; но чтобы магнит мог привести висмут в такое состояние, в котором он стал бы отталкивать магнит, тогда как без этого воздействия он был бы в настолько благоприятном положении, что остался бы в крайнем случае безразличным, это не укладывается в моем представлении. Наконец, те, кто придерживается гипотезы о *магнитных жидкостях*, должны допустить, что во всех случаях диамагнетизма, и только в этих случаях, основное представление о их взаимодействии должно быть не только устранено, но заменено противоположным, так что гипотеза оказалась бы в противоречии сама с собой. Тем же, кто предполагает, что причиной магнитных явлений служат электрические токи, пришлось бы отказаться от закона об их индуктивном действии (насколько мы его знаем) во всех случаях диамагнетизма; а между тем, если бы они приблизили диамагнитный висмут в форме катушки к полюсу, они получили бы (в ней) ток, *соответствующий* этому закону.

### Время

3318. Я решаюсь высказать несколько мыслей относительно состояния, в которое приводятся диамагнитные тела действием индукции, в связи с вопросом о *времени*. Сколько я знаю, все силы природы, по-видимому, стремятся установить состояние покоя, за исключением случаев, когда дело идет о жизненных или органических силах. Если в *жизни* все действия направлены вперед и скорее относятся к будущему, чем к настоящему (Paget), то все *неорганические* проявления силы стремятся вызвать устойчивое и неизменное состояние, в результате которого достигается положение покоя, т. е. статическое состояние сил.

3319. Применим это соображение к случаю висмута в магнитном поле. Мне представляется более соответствующим естественной природе вещей, если состояние, в которое приходит висмут, оказывается более благоприятным для окончательного статического проявления действия на него со стороны основного

магнита, чем то состояние, в котором висмут был до того, как он претерпел или испытал действие индукции. Это — то же самое, что мы знаем относительно мягкого железа; прежде чем приобрести то состояние, которое может индуцировать в нем основной магнит, оно менее благоприятно для установления окончательного статического состояния сил, чем после того, как это произойдет. Но из самых различных опытов обнаружилось весьма явственно, что в обычные магнитные и магнитно-электрические действия входит, как один из элементов, *время*, и есть все основания ожидать того же и в отношении диамагнитных действий. Известно также, что мы можем с выгодой воспользоваться этим обстоятельством и исследовать состояние куска железа в магнитном поле как ранее, чем оно достигло своего окончательного индуцированного состояния, так и после этого. Мы можем, например, поместить его внутри катушки, ввести в электрическое поле и *затем* быстро соединить катушку с гальванометром; тогда мы получим ток такого направления, которое подтверждает истинность сделанного предположения. При других видоизменениях опыта и при значительных кусках железа время, которое можно таким образом выделить или уловить в продолжение постепенного установления индукции, может достигать минуты и более. Предположим, что то же можно в более или менее заметном виде произвести и для диамагнитных тел; тогда возникают следующие соображения. Можно считать, что те состояния, в которых находится шарик или стержень из висмута в магнитном поле до и после индукции, разделены друг от друга некоторым небольшим промежутком времени. Если индукция возбуждает (в нем) состояние полярности, противоположное состоянию магнита, то условия, которые висмут представляет для действия на него магнитной силы, более благоприятны *до* индукции, чем *после* нее. Если же, как считаю я, полярность не противоположна полярности магнита, а одинакова с ней, то металл должен быть более благоприятным для направления магнитной силы в него или через него *после* индукции, а не *до* нее. Я убежден, что этот опыт должен разре-

шить вопрос о противоположной полярности, а может быть, и о существовании или несуществовании физических линий магнитной силы. Поэтому я делал множество попыток, изменяя опыты на разные лады, чтобы получить некоторые результаты, зависящие от *времени*, которого требует индукция. В частности, я применял переменные движения висмутовых шариков и цилиндров между магнитными полюсами из мягкого железа; эти шарики и цилиндры были окружены катушками. Однако до сих пор мне не удалось добиться успеха. Я не сомневаюсь, что время играет здесь роль; но, по-видимому, его продолжительность столь мала, что его нельзя заметить теми средствами, которыми я располагал.

3320. Профессор Томсон поставил вопрос о времени и полярности в другой форме. Если висмутовый шарик поместить без трения посредине магнитного поля, то он не будет принимать какой-либо установки или перемещаться вследствие своей формы; но если у него будет противоположная полярность, он будет в состоянии неустойчивого равновесия. Предположим, что *время* играет здесь роль; если тогда шарик дать поворот вокруг его оси хотя бы на самый малый угол, полярность, которую он приобретет, будет наклонна к магнитной оси, и шарик будет продолжать вращаться безостановочно, осуществляя тем самым вечное движение. Я не могу представить себе, каким образом можно избежать этого вывода, а потому не могу допустить принципов, на которых он основан. Понятие о вечном движении, получаемом с помощью статической силы, противно научной логике и невозможно. Я считаю, что столь же невозможно противоположное или обратное по своей полярности статическое состояние, о котором я говорил выше.

3321. Я не считаю необходимым говорить здесь о том, как именно эти явления объясняются с моей точки зрения магнитных силовых линий, это уже было сделано в более ранних статьях (2797 и т. п.). Однако я обращаю внимание тех, кто пожелает продолжить эти исследования, на истинный случай противоположной полярности в магнитном поле (Экспериментальные

Исследования, 3238, табл. V, 15). Отсюда для них будет наглядно и понятно, как начинается вращение висмутового шарика (в опыте) профессора Томсона и как оно продолжалось бы, если бы, как это предположено, полярное состояние, изображенное на чертеже, постоянно возобновлялось.

3322. Мы видим, что северный полюс магнита отталкивает в пустоте кусок висмута или заставляет висмутовый стержень устаивавливаться экваториально. Известно, что магнит действует таким же образом на многие парамагнитные тела, когда они окружены средой, несколько более парамагнитной, чем они сами, и на столь же многие диамагнитные тела, окруженные средой, немного менее диамагнитной, чем они. Ввиду всего этого было бы осторожней выяснить в первую очередь, как именно происходят эти движения и как получается, что участки, которые у парамагнитных тел, несомненно, приняли бы южную полярность под действием северного конца (магнита), удаляются от него. Полученные при этом результаты следовало бы применить прежде всего к явлениям, которые обнаруживает висмут в пустоте. Без этого мы не вправе вносить коренные принципиальные изменения (и только для отдельных веществ) в общий закон магнитной полярности; а пока для этого нет другой причины, кроме описываемого эффекта и других фактов в подтверждение таких выводов.

### Искривленные линии магнитной силы — зависимость от двойственности

3323. Описательный прием магнитных силовых линий, предлагаемый мною, заключает в себе понятие о кривизне этих линий не только как некоторое условное изображение, благодарн которому представление об этих линиях становится более наглядным, а как нечто, вытекающее из самих явлений и ими подсказываемое, если не доказываемое. С этой точки зрения я и продолжаю их здесь рассматривать. Доказательством их кривизны служит в области теории — существенная и не-

обходимая зависимость двух свойств или частей двойственной силы друг от друга (3324 и далее) и в области *эксперимента* — многочисленные результаты, которые проявляются во взаимодействиях магнитов и магнитных веществ, а также в явлениях движущихся проводников (3337 и далее). Поэтому я займусь рассмотрением всех этих вопросов одного за другим.

3324. До сих пор не известен случай, чтобы какая-либо форма или часть двойственной силы существовала иначе, как одновременно с другой или в зависимости от нее; это другая присутствует одновременно с ней в эквивалентной, т. е. равной мере. В статическом электричестве, где предполагаемые электрические жидкости рассматриваются как разобщенные друг от друга, они бывают в одинаковом количестве (1177) всегда связаны друг с другом (1681), часто кривыми силовыми линиями (1215), и существование одного электричества без другого или избыток или недостаток одного по сравнению с другим, хотя бы в самой слабой степени, абсолютно невозможны (1174). В гальванической батарее или в электрическом токе, возбужденном каким-либо иным образом, например, с помощью термо-батарей или путем индукции, ток в одной части контура абсолютно тот же по силе и по двойственному характеру, что и в другой. В изолированной, но замкнутой гальванической батарее, где возбуждающая сила действует внутри, не может получиться ни малейшего признака сил, или одной из них, пока контур не замкнут или у полюсов не допускается индукция. Ибо, если нет замкнутого контура, а индукция предотвращена, то не может получиться ни в малейшей степени не только самого тока, но и такого накопления электричества на полюсах батареи, которое способно дать начало току. Точно так же я совершенно убежден, что северный и южный магнетизм (в чем бы они, по предположению, ни состояли) не могут существовать поодиночке, без точного равенства друг другу, без обоюдной зависимости друг от друга, и что они связаны взаимным родством и зависимостью, как все двойственные силы.

3325. Рассмотрим твердый неизменный магнит в пустоте (рис. 4). Если к нему поднести кусок мягкого железа  $I$ , то конец магнита  $N$  вызовет южный магнетизм в ближайшем конце железного бруска и северный — в отдаленном конце. Это будет продолжаться, пока железо не будет удалено, причем южный и северный магнетизм двух концов магнита останутся все время неизменными по величине и равными друг другу (3223, 3224). Если мы теперь скажем, что сила, исходящая из  $N$ , может действовать на железо, вызывая равную и противоположную силы, а затем, по удалении железа, уже не будет действовать ни в нем и *нигде*; а затем опять будет действовать



Рис. 4.

на железо, если его подносить, или на что-либо другое, и опять перестанет действовать, и так далее, то это, по-моему, будет отрицанием (закона) *сохранения силы*. Ведь нам известно, что

внутри магнита не происходит никакого эквивалентного действия, а потому нет возможности объяснить предполагаемое проявление и исчезновение его силы в различное время попеременным возбуждением и затуханием его двойственных начал.

В самом деле, если вплотную намотать во время опыта на среднюю часть магнита катушку, то она не даст тока и тем самым покажет, что в то самое время, как внешнее проявление действия, согласно предположению, якобы изменится, превращаясь из активного в инертное, в это время внутри не происходит никакого эквивалентного ему возмущения сил.

3326. Предположим, что действие такого магнита обусловлено магнитными жидкостями  $N$  и  $S$ ; можно ли представить себе, что частички  $N$  иногда притягивают частички  $S$ , а иногда нет? Разве это не было бы равносильно предположению об исчезновении, т. е. уничтожении силы? — А это безусловно невозможно. Невероятнее этого могло бы быть разве только предположение, что жидкость  $N$  может иногда притягивать  $S$  и отталкивать  $N$ , а в других случаях отталкивать  $S$  и притягивать  $N$  (3311, 3312, 3317).

3327. Что касается мягкого железа, подвергаемого индукции (3325), то его двойственные магнитные силы возвращаются в свое прежнее взаимно зависимое и взаимно уравновешенное состояние. Но предположим, что железо заменено сталью и что два возбужденных в последней магнетизма не воссоединяются и не исчезают при удалении основного магнита; на что же в конце концов обратится их действие, как не друг на друга (3257, 3324)? На что пойдет сила  $S$  стали, когда мы отделим ее от связи с силой  $N$  магнита, ее вызвавшей? На эти вопросы можно ответить только, если предположить независимое существование этих двух сил (3329), или если допустить возможность исчезновения силы или которой-нибудь из этих сил отдельно от другой (3330), или если признать взаимную независимость двух полярностей магнита (3331).

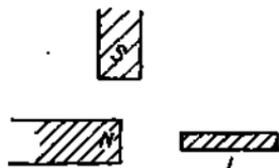


Рис. 5.

3328. Если полюс  $N$  магнита (рис. 5) действует в пустоте, то его действие обнаруживается в известной степени вокруг него (114). Если к нему поднести кусок мягкого железа  $I$ , то значительная часть его силы сосредоточивается на этом железе, но общее количество силы на полюсе  $N$  и вокруг него остается без изменения. Если приблизить полюс  $S$  другого магнита или того же самого (ибо эффект будет в точности одинаков), то значительная часть силы, действующей на железо, удалится от него и перейдет на полюс  $S$ , но количество силы у полюса  $N$  останется прежним. Все это можно доказать на опыте при помощи катушки, навитой на мягкое железо, и петли, передвигаемой мимо полюса  $N$  (3218, 3223). Впрочем, то, каким образом действие одного из полюсов на железо или висмут уменьшается или вообще изменяется при приближении с той же стороны противоположного полюса, очень хорошо известно. Есть тысячи способов изменять на разные лады направление магнитной силы, но при этом сумма ее действий у источника не претерпевает ни малейшего изменения. Все это до-

называет свойства противоположности и нераздельности двух форм силы.

3329. Если допустить независимое существование этих двух сил (3327), то как же объяснить, что они никогда не проявляются в отдельности? Хотя бы в той мере, в которой это, можно сказать, обнаруживается в статическом электричестве? Ни в одном из бесчисленных явлений магнетизма нет ничего, что можно было бы уподобить заряду северного или южного магнетизма (3341). Два магнетизма связаны так же тесно, как два электричества гальванической батареи, все равно, в каком виде она находится: в замкнутом состоянии, когда она возбуждает ток, или в незамкнутом, когда она вызывает индукцию на своих полюсах. Затруднение состоит именно в том, чтобы найти факты, могущие служить хотя бы в малейшей степени доказательством мысли, что две магнитные силы можно отделить друг от друга или рассматривать их отдельно друг от друга.

3330. Что касается уничтожения силы (3327), то я считаю, что создание, уничтожение и подавление силы, и тем более одной только формы двойственной силы, столь же невозможно, как и материи. Все, что допускается общими законами природы, это — ее перемещение, удаление и иное ее потребление; и это относится в одинаковой мере и к малейшему уничтожению силы или части силы и к уничтожению всей силы в целом. Я спрашиваю дальше: если невозможно уничтожить или заставить исчезнуть силу *физически*, то не является ли это также и *математически* невозможным, если не парушать закон сохранения силы?

3331. Если мы говорим, что силы в случае удаления (магнита) (3327) могут распределяться иногда в одном, а иногда в другом направлении, но так, что они полностью сохраняют свою величину и остаются эквивалентными, то как мы должны представить себе их распределение в случае цилиндрического или шарообразного магнита, находящегося в воздухе или *пустоте*, так, чтобы они всецело зависели сами от себя? Или, в случае

намагниченной сферы, приведенной в магнитном поле в положение, ему противоположное, так, что ее всю окружают и окутывают магнитные силы, направление которых противоположно направлению ее собственных сил (3321, 3238)?

3332. Если мы говорим, что два заряда такого магнита связаны друг с другом [это третий случай (3327)], то нам нужно уяснить себе, каким образом это возможно, при сохранении соответствия с взаимодействием на расстоянии или магнитных жидкостей, или электрических токов, действующих только по прямым линиям. Такое действие должно тогда передаваться через массу самого магнита (3260). Рассмотрим сначала только магнитные жидкости. Направление действий одной из них по направлению к другой — действий, проходящих через магнит, когда он один, должно быть таково же, как и направление к приближаемому железу, в котором они, согласно предположению, индуцируют скопления противоположных жидкостей. Оно должно быть таково же, как направление к жидкостям в противоположных полюсах приближаемых к ним магнитов одинаковой или большей силы. Иными словами, два полюса магнита следует представлять себе как центры силы, оказывающие свое действие друг на друга иногда через толщу магнита в данном направлении, а иногда — наружу к внешним полюсам — в точности противоположном. Но токи, возбуждаемые вращением магнита или соединенных с ним металлических дисков (3119, 3163), показывают, что направление силы (которое и есть ее полярность) не является в этих двух случаях противоположным, а остается одинаковым внутри магнита и в его продолжении через полюс и далее. Они показывают также, что во всех случаях: когда магнит один и, следовательно, полярные силы, согласно предположению, действуют друг на друга через него, и когда он связан с другими магнитами, а потому никакого действия силы внутри него не будет, во всех этих случаях магнит останется одинаковым: сохранит те же свойства, направление и величину силы (3116).

3333. Предположим теперь, что заряженное и полярное состояние магнита зависит от молекулярных электрических токов, которые, благодаря известным внутренним условиям, остаются в параллельном положении. Они не могут действовать друг на друга по прямым линиям назад через магнит, связывая северный и южный магнетизм полюса взаимной зависимостью, так как, согласно предположению, связаны с внешними полюсами. Это делается возможно только в том случае, если сами токи будут *сдвигаться с места и поворачиваться*, пока весь магнит не нейтрализуется и не возвратится обратно в немагнитное состояние, как возвращается кусок мягкого железа. Когда такой возврат имеет место в мягком железе или, в какой-либо степени, в стали, обвитая вокруг них катушка обнаруживает индуцированные точки, вызываемые этим изменением; петля (3133, 3217) тоже показывает известное различие в случаях, когда железо или магнит полярны наружу и когда это состояние прекратилось. Для твердого магнита, если он попеременно предоставляется самому себе и приводится в соотношение с внешними полюсами других магнитов, такие явления не имеют места. И самое вещество магнита, и силы, через него проходящие, оказываются неизменными и при исследовании его с помощью петли (3223), и при наблюдении движения как его самого, так и связанных с ним дисков и проволок (3116 и др.). Его сила всегда остается одной и той же по величине и общему направлению.

3334. Хорошо известен случай стального кольцеобразного магнита (3283) и то, каким образом этот магнит, не проявляющий никакого внешнего действия, развивает сильные полюсы, если его разломать. Эти явления, с моей точки зрения, убеждают нас в том, что появляющиеся при разламывании северный и южный магнетизм не могут направиться друг к другу назад через магнит, когда два куска лежат отдельно: для такого предположения нет достаточных оснований. Далее, то же доказывается и взаимным разрушением сильно намагнитенных линейных магнитов, как например стальных иголок, если большое

их число соединить в толстый, короткий пучок. В самом деле, положим, что когда такая игла одна, то полярные силы оказываются не внешними, а действуют друг на друга через посредство каждого отдельного магнита; но в таком случае они могут с одинаковым удобством располагаться таким образом и тогда, когда магниты связаны, и тогда, когда они разъединены. Таким образом, не остается никакой причины ожидать, чтобы они оказывали преобладающее действие друг на друга более сильное, чем действие каждого из них на самого себя.

3335. Не следует думать, что то изменение силы, которое происходит тогда, когда магнит, первоначально действующий внешним образом, принужден действовать внутренним образом или через себя, будет мало и незаметно. Оно должно достигать той же величины, как общая величина силы, которую магнит может проявить при самых благоприятных обстоятельствах. Есть множество способов наглядно показать это при помощи подвижных проводников и дисков во всех тех случаях, которые могут иметь место при прохождении силы через магнит или ее удалении из магнита. Таким образом, в этом отношении не может возникнуть никакого затруднения, и, с моей точки зрения, здесь остается только два возможных предположения. Или полярная сила  $N$  магнита, будучи отделена от внешней компенсирующей полярной силы  $S$ , уже не проявляется нигде в виде магнитной силы, или она устремляется наружу и соединяется с полярной силой  $S$  того же магнита и таким образом остается и поддерживается на время в своем естественном, эквивалентном и существенном состоянии. Если она превращается в новую форму силы, то какова эта форма? где она расположена? какими действиями обнаруживается? каковы доказательства ее существования? На эти вопросы ответа нет. Но если она направляется вне магнита к его противоположному полюсу  $S$ , то выдвигаются вперед все следствия и основания моих гипотез о магнитной силе и ее полярности. Я склонен даже думать, что мы имеем в этом случае свободное от противоречий и удовлетворительное объяснение всех явлений магне-

тизма, за исключением только представлений о природе самой магнитной силы.

3336. Действительно, если двойственные силы магнитных полюсов в свободном пространстве связаны друг с другом и зависят друг от друга, но не через магнит (3331), то это должно осуществляться через окружающее пространство. Это пространство тогда должно находиться в реальном физическом взаимоотношении с проходящей через него силой подобно тому, как оно находится во взаимоотношении с лучом света, проходящим от освещающего тела к освещенному. Направления, по которым две силы действуют друг на друга, не могут быть в этом случае прямолинейными, ибо если бы эти прямые линии существовали, то они необходимо проходили бы через магнит. Эти направления должны быть криволинейными, ибо очевидно, что только кривые линии могут осуществлять взаимную связь между полюсами через окружающее пространство (3297). Если же это — кривые линии, то я не могу представить себе, чтобы они были чем-либо другим, кроме как физическими силовыми линиями; линиями, которые способны переносить действие наружу в соответствии с его необходимо двойственными свойствами и в согласии с тем направлением, которое, по моему мнению, следовало бы по праву называть *полярностью*. Далее, мне кажется, что если мы только допустим магнитные свойства вакуума, то все явления, относящиеся к парамагнитным и диамагнитным телам, к дифференциальной и индивидуальной полярности, к растворам, углам, кристаллам и движущимся проводникам, представляется нам в простой взаимной связи, без каких-либо противоречий с фактами или гипотезами и в совершенном согласии друг с другом.

3337. Я не хочу удлинять эту статью повторением соображений и доводов, которые я уже приводил ранее по другим случаям. Поэтому я только напомню в общих чертах проводимый мною взгляд, что в пространстве вокруг магнита существуют такие силовые линии, что таким образом поддерживается взаимная зависимость двух различных сил, которая суще-

ственна для изолированного магнита, и что тела в этом пространстве обнаруживают парамагнитные или диамагнитные явления, смотря по тому, благоприятствуют они или противодействуют той степени поддерживающей силы, какой обладает пустое пространство. Нетрудно показать многочисленными опытами, что эти тела, или среды, как их можно назвать, имеют такие же магнитные свойства, что и пустота. Но при этом между ними существуют некоторые взаимоотношения, зависящие от их относительной электропроводности; поэтому я считаю полезным употребить некоторое время на рассмотрение вопроса о том, в какой мере нижеследующие результаты иллюстрируют вероятное состояние пространства, в котором таких тел нет. Рассмотрим магнитный полюс  $N$  (рис. 6), помещенный против равного ему магнитного полюса  $S$ ; тогда их действия взаимно связаны и взаимно поддерживают друг друга; пусть далее пространство между ними  $a, a, a$  занято пустотой, азотом или каким-либо другим газом при магнитном нуле (2770 и т. д.). Силу, с которой  $N$  действует на  $S$ , или наоборот, легко определить с помощью катушек и т. д., поскольку дело идет о ее изменении по направлению или по величине. Представим себе теперь, что это пространство  $a, a, a$  целиком состоит из меди или ртути; силы останутся теми же самыми; представим себе, далее, что оно отчасти наполнено медью или ртутью, а отчасти представляет вакуум или наполнено стеклом, а линия раздела проходит от  $S$  к  $N$  или через  $a, a, a$ , или еще как-нибудь; силы все же остаются без изменения. Каждая из этих сред действует в точности, или почти так же, как пустота, так что мы вряд ли можем обнаружить различие. Пусть теперь движется металл или в виде потока, разделенного на отдельные участки в  $a, a, a$ , или в виде сплошного (медного) шара  $C$  (рис. 7), быстро вращающегося вокруг прямой, соединяющей  $N$  и  $S$ . И тут мы получим тот же результат, что в случае пустоты или безразличного газа или стекла, и мы не знаем пока ни одного явления, на основании которого мы могли бы отличить материальную среду от пустого пространства. Но заменим поток

металлических частиц сплошной пластинкой и мы увидим, что по ней проходит множество электрических токов. Точно так же, если мы приложим провода гальванометра к вращающемуся медному шару около его оси и около его экватора, тогда мы заставим его развивать (давая возможность токам проходить) новый эффект, и токи будут в весьма большом количестве исходить из приложенных (к нему) проводов. Если быстро вращать медный шар  $C$  вокруг оси, перпендикулярной прямой  $SN$ , то с магнитной точки зрения он представит собой такую сильную и действственную среду, что полюсы  $N$  и  $S$ ,



Рис. 6.



Рис. 7.

если только они могут свободно двигаться, пойдут в том же направлении, что и ближайшие к ним участки шара. При этом они будут неудержимо удаляться друг от друга, несмотря на силу взаимного притяжения, которая непременно стремится их сблизить. Теперь я спрашиваю, можно ли представить себе, чтобы медь или ртуть проявляли такое действие в состоянии движения, если бы они ничем не были связаны с магнитной силой в состоянии покоя? Или чтобы они обладали таким действием в сплошном виде, если они не были ни в каком соотношении с магнитной силой, когда двигались в размельченном виде? Одно только добавление движения не могло бы ничего сделать, если бы не имела места первоначальная статическая взаимная зависимость магнита и металла. Мы хорошо знаем, что при движении взаимодействие вызывает или стремится вызвать электрические токи; но этот факт является дальнейшим доказательством того, что металлы уже ранее (чем дви-

гаться) связаны с магнитом. И поскольку в различных телах, вплоть до водных растворов, при тех же условиях развиваются электрические токи, мы имеем все основания утверждать, что все тела, помещенные в магнитном поле, находятся в таком же статическом состоянии как медь, когда они еще не приведены в движение. А если к этому добавить движение, они все должны были бы развивать электрические токи, если бы только не их плохая электропроводность.

3338. Как известно, эти действия движения тождественны с эффектами, наблюдаемыми в движущемся проводе (36, 55), или с эффектами гальванической индукции (6 и след.). Их напряжение и силу можно весьма наглядно показать на действующем магнито-электрическом приборе Элькингтона и индукционной катушке Румкорфа. Их возбуждение требует *времени*, и профессор Генри до известной степени доказал нам, что, если ток проходит по катушке, его поперечное магнитное действие временно прекращается или отклоняется (1730). Эти действия во всех случаях просты, т. е. силовая линия в данном полярном направлении вызывает или стремится вызвать в теле, движущемся поперек нее, ток *одинакового* направления, независимо от того, каково это тело: парамагнитное, нейтральное или диамагнитное (3146, 3162). Этот ток (одинакового направления), я полагаю, должен порождаться существующим заранее одинаковым *статическим* состоянием. Никогда в этих явлениях не было обнаружено чего-либо, хоть в малейшей степени похожего на существующие якобы противоположно-полярные состояния парамагнитных и диамагнитных тел. Поскольку я знаю, никто никогда не утверждал и не предполагал, чтобы эти два действия, т. е. магнитное и магнито-электрическое, были различны по своей основной природе, никто не отрицал, что они представляют собой два совместимых и согласных друг с другом и, я должен добавить, два взаимных действия одной и той же силы.

3339. То, что медь и т. д., находясь в магнитном поле, является действительной магнитной средой, можно доказать сле-

дующим образом. Пусть  $N$  (рис. 8)—магнитный полюс, а  $C$  — толстый диск или короткий цилиндр из меди. Как бы быстро медь ни вращалась вокруг своей оси, в ней не возникает электрических токов; и магнитное действие  $N$  на другие магниты будет совершенно такое же, как если бы металл был в покое или если бы его не было совсем. Если  $N$  удалять от  $C$ , то в  $C$  появляются токи, хотя он и не движется; и хотя действие  $N$  на другие магниты, насколько они нам известны, не меняется, однако между  $C$  и северным полюсом обнаруживается слабое притяжение. Если  $N$  приближать к  $C$ , получают

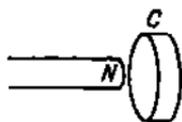


Рис. 8.

обратные токи и обратные действия. Если  $N$  приближать быстрее или медленнее, возбуждаемые токи и связанное с ним временное магнитное состояние оказываются сильнее (или слабее). Эти явления хорошо обнаруживаются цилиндрическим электро-

магнитом. Медь все время оставалась в покое, ей намеренно не сообщалось никакого движения; действие на нее оказывалось приближением и удалением полюса, и она переходила из одного состояния в другое, а состояния эти оставались неизменными, пока полюсы были неподвижны; медь обнаруживала все свойства среды, на которую действует магнитная сила. При помощи соответствующих приемов можно пропускать токи через медь и предотвращать их; но все равно, допустить их появление или нет—состояние, в которое приходит медная среда, будет одинаково. Если не допускать тока, в то время как магнит приближается, но допускать его при его удалении, тогда ток, вызываемый последним изменением, действительно возникает. Этот эффект легко показать с помощью магнита и катушки. Все это, как мне кажется, служит весьма убедительным доказательством того, что, когда медь находится под постоянным влиянием магнита, она сохраняет неизменное, статическое магнитное состояние; она является, значит, магнитной средой, через которую проходят силовые линии. Если бы  $C$  было из висмута, а не из меди, то имели бы место те же са-

мые токи и в том же самом направлении, только гораздо более слабые — как следует думать — только вследствие его малой проводимости.

3340. Нет сомнения, что в этих явлениях есть еще много такого, что остается совершенно неизвестно или известно очень мало; и результаты, полученные Маттеуччи, вероятно, поведут к весьма важным исследованиям и открытиям. Он утверждает,<sup>1</sup> что медь, при крайнем размельчении, дает весьма устойчивые явления, которые показывают, что мы вправе считать ее диамагнитным телом; но если взять ее в компактном виде, то все или почти все ее диамагнитные свойства исчезают. До сих пор мы ничего не знаем о том, каким именно образом простое различие состояния — сцепление или измельчение — может в такой степени влиять на диамагнитные свойства. Он находит также, что и в других случаях, как например при вращении Араго, частицы материи действуют не так, как это можно было бы предвидеть, руководствуясь нашим знанием о них, как о массах. Нужно надеяться и ожидать, что, когда эти опыты получат дальнейшее продолжение и развитие, мы составим себе лучшее суждение об истинной физической природе магнитного действия, чем можем это сделать в настоящее время.

### Места, где нет магнитного действия

3341. Существенная связь и зависимость двух магнитных сил проявляется, мне кажется, весьма поразительным образом, когда мы пытаемся отделить северный или южный магнетизм и для этого концентрируем который-нибудь из них в одной (части) пространства или на одной порции вещества, а затем пробуем обнаружить их присутствие посредством каких-либо их действий — напряжения или чего-нибудь другого, что связано или не связано с полярностью. Вокруг стержня из многого железа, имеющего один квадратный дюйм в сече-

<sup>1</sup> Cours spécial sur l'induction etc., 1854, стр. 165, 269.

нии, 3—4 дюйма в длину, и закругленного на ребрах, было навито тридцать два оборота обмотанной медной проволоки, диаметром в 0.05 дюйма. Эта обмотка покрывала главным образом среднюю часть стержня; впрочем, в случае надобности ее можно было немного сдвигать к тому или другому концу стержня. Пропуская электрический ток по проволоке, можно было намагнитить такой стержень; передвигая железный стержень в его катушке, можно было в некоторой степени регулировать силу оконечностей  $N$  и  $S$ . Имея в распоряжении шесть

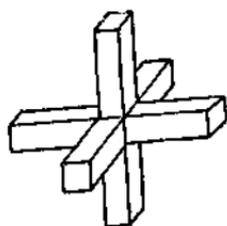


Рис. 9.

таких стержней, легко было уставить их одноименными полюсами друг к другу, так что получилось кубическое пространство или камера (рис. 9); в этом пространстве я производил опыты всеми средствами, которые были в моем распоряжении; чтобы в него можно было иметь доступ, у стержней на тех телесных углах, которые должны были быть обращены друг к другу, часть железа стачивалась; или же электромагниты несколько отодвигались друг от друга. Тогда в это пространство или через него можно было пропустить луч света; в нем можно было подвесить магнитные стрелки или кристаллы висмута; в нем можно было поместить и вращать кольцеобразную катушку; и все движения, происходящие внутри, можно было наблюдать (простым) глазом снаружи.

3342. Небольшая магнитная стрелка, подвешенная посреди такого пространства, не обнаруживала никакой магнитной силы; правда, вблизи сточенных краев и углов замечались колебания, но они были ничтожны сравнительно с теми сильными колебаниями, которые наблюдались вне камеры, даже если стрелка находилась на расстоянии во много дюймов. Кристалл висмута оставался совершенно безразличным. Кусок мягкого железа, подвешенный на припаянной к нему медной проволоке внутри камеры, не обнаруживал ни следа магнитной силы — ни при исследовании посредством маленькой стрелки, ни при

каком другом способе исследования. Железные опилки, насыпанные на картоне, помещенном поперек камеры, в середине камеры не испытывали никакого действия, а только вблизи частью сточенных углов. Кольцеобразная катушка из многих оборотов, окончания которой выходили из противоположных углов, была соединена с весьма чувствительным гальванометром и приведена во вращение; она не обнаружила ни следа индуктивного действия. Было произведено много других опытов, но всегда с отрицательными результатами. Были сделаны попытки (хотя и безнадежные) выяснить, не получаются ли здесь какие-нибудь электрохимические явления, но безуспешно. Были поставлены всевозможные исследования, какие только я мог придумать; я производил испытания не только полярного характера, но и всякие другие, и все они давали те же отрицательные результаты.

3343. Конечно, нельзя было ожидать, чтобы в этом месте могло происходить какое-либо полярное действие, т. е. действие, связанное с двумя различными полюсами; но если бы полярности могли существовать без взаимной связи, то мы, несомненно, могли бы ожидать некоторых особых свойств, некоторого напряженного или статического состояния в камере, построенной таким образом и окруженной магнитной силой большой интенсивности, которая действует в большой концентрации в одном определенном месте или на одно определенное вещество. Однако это не так; камера представляет собою место, лишенное магнитного действия и свободное, в данных обстоятельствах, от магнитного влияния. Мы имеем здесь полную аналогию с пространством внутри глубокого металлического сосуда или шара,<sup>1</sup> заряженных электричеством (1174). Там внутри не может быть электричества, ибо отсутствует та необходимая связь и зависимость двух различных электрических сил, которая неотъемлемо присуща их природе. Точно так же не может быть и проявлений магнитной

<sup>1</sup> Phil. Mag., октябрь 1846, XXIX, стр. 257, примечание.

силы в кубической камере, ибо здесь не присутствуют одновременно две различные силы, а они не могут существовать одна без другой.

3344. Есть много способов исследовать более или менее безукоризненно эти нейтральные и в высокой степени поучительные магнитные пространства. Углубление в конце электромагнитного сердечника или постоянного магнита представляет пример подобных же явлений; в некоторых отношениях они здесь обнаруживаются даже в более совершенном виде. Правда, на дне углубления может появиться слабый след силы, но если сравнить сумму или общую величину с общим количеством силы на конце магнита, можно сразу убедиться, насколько велика аналогия между этим пространством и внутренней полостью металлического сосуда, заряженного положительным или отрицательным электричеством. В цилиндре из мягкого железа, в 9 дюймов длины и 1.6 диаметром, была на одном из концов сделана камера, концентричная с цилиндром в 0.9 диаметром и в 1 дюйм глубины; будучи помещен в мощную катушку из толстой медной проволоки и соединен с батареей Грова из десяти пар пластинок, он был готов к опытам. Можно изготовить такой магнит с камерой, если приложить к концу любого электромагнита или обыкновенного магнита соответствующей величины железное кольцо; он обнаружит все описываемые ниже явления. Если прикрепить к концу медной проволоки кусок мягкого железа не более чем в 0.3 дюйма в длину и толщину и поднести его к наружному краю возбужденного магнитного полюса, то он очень сильно притянется; но если приблизить его к дну камеры, он не обнаружит такого действия вовсе, а останется вполне безразличным. Если приблизить его к боковым стенкам камеры, он не обнаружит ни малейшего действия, пока не подойдет к наружному отверстию. Поставим магнит горизонтально и вырежем такой кусок картона, чтобы он входил в камеру и мог установиться по горизонтальному сечению полости; затем пошлем этот картон чистыми железными опилками; поставим его в указанное по-

ложение и на короткое время возбудим магнит, чтобы он мог распространить свое действие на камеру и опилки и придать им их характерное положение; тогда мы увидим, что только вблизи отверстия опилки примут новое положение (вокруг внешних углов полюса); четыре пятых опилок, находящихся на поверхности картона внутри камеры, по подиоргнутся влиянию магнита и останутся неподвижными. Наполним камеру железными опилками, закроем ее куском картона, поставим магнит вертикально, отверстием камеры вниз; ватом приведем магнит в действие и отнимем картон; тогда опилки высыплются наружу; но при падении они будут отнесены в сторону и образуют тонкую бахрому вокруг внешних углов полюса. Ни малейшей доли их не останется ни на дно камеры, ни вообще где-либо внутри ее, кроме как вблизи ее внешнего края. Но возьмем кусок железа такой длины, чтобы он выступал из камеры, например гвоздь, длиною в 2, 3 или 4 дюйма. Если он касается концом *дна* камеры, то он с силою притягивается и удерживается там и может поднять груз в несколько унций, если даже ему не давать касаться камеры ни в каком другом месте, например куском картона с отверстием, закрывающим выход из камеры.

3345. Если подносить к такому возбужденному магниту небольшую магнитную стрелку длиною около 0.1 дюйма, то действие на нее оказывается столь сильным, что с ней почти невозможно справиться. Но как только мы внесем ее в камеру, действие быстро уменьшается, и на дне (камеры) стрелка не испытывает никакого или почти никакого влияния.

3346. Вместо описанных сердечника и камеры можно взять железную трубку с достаточно толстыми стенками (например, часть ружейного ствола); при этом получают такие же явления. Если ввести в эту трубку магнитную стрелку, то действие на нее прекращается, когда она войдет вовнутрь дюйма на 1.5. Если некоторую часть трубки наполнить железными опилками, а затем намагнитить ее и привести в вертикальное положение, то все опилки высыплются наружу, кроме тех.

которые удержатся на внешних краях. Однако, если ввести (в трубку) длинный гвоздь или железный стержень так, чтобы он частью своей выступал из цилиндра, то он будет сильно притягиваться к внутренней точке, в которой он касается железа.

3347. Чрезвычайно интересные результаты получаются, когда мы добиваемся таких же действий, прикладывая друг к другу полюсы обыкновенных магнитов. У меня было четыре весьма твердых стальных магнита, каждый в 6 дюймов длины, 1 дюйм ширины и около 0.4 толщины. Когда четыре одноименных полюса сложены вместе (рис. 10), они образуют плоскую квадратную камеру в той же плоскости, в которой лежат магниты. Если взять кусок жесткой бумаги по размеру камеры, положить его на подставку толщиной в 0.2 дюйма, посыпать его железными опилками и затем равномерно сближать магниты, пока не образуется квадратная камера, то при легком постукивании по картону опилки расположатся по прямым, идущим от сторон квадратной камеры и к ее центру. Опилки тем самым обнаруживают направление силовых линий в этой срединной плоскости; при этом их больше у середины каждого из полюсов и меньше у внутренних углов; и если затем удалить опилки и проследить ход линий при помощи небольшой магнитной стрелки, то мы найдем, что линии поднимаются с этой плоскости вверх и спускаются с нее вниз, а затем поворачивают на своем пути в свободное пространство сверху и снизу всей этой системой к южным полюсам каждого из магнитов. Все это легко понять, если представить себе силовые сфендилоиды, принадлежащие отдельным магнитам (3271), и то, как они расположатся при сближении четырех одноименных полюсов.

3348. Если повернуть магниты краями вверх, то они образуют вертикальную камеру в 1 дюйм высоты и всего около 0.4 дюйма ширины (рис. 11); и в этом случае будут иметь место явления, подобные только что описанным, но только у входов в камеру. По мере того как небольшая стрелка продвигается

вглубь пространства, окруженного магнитами, действие последних становится все меньше и меньше, и в середине камеры от него не останется почти и следа. Это место, как и замкнутая камера, образуемая шестью полюсами (3341), или как дно камеры, сделанной в конце магнитного полюса, является нейтральным местом, или местом, где магнитного действия нет вовсе.

3349. Постепенный переход от заостренного конического полюса к замкнутой камере вполне очевиден из описанных результатов; очевидна и их связь с случаями, когда при обыч-

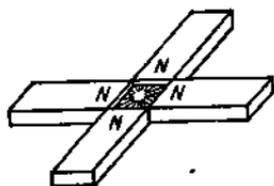


Рис. 10.

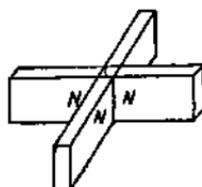


Рис. 11.

ных обстоятельствах наблюдаются многочисленные нейтральные места (3238, табл. V, 6, 10, 11, 15). Не возникает ни малейшего затруднения или неясности, когда мы изучаем и истолковываем эти результаты посредством изображающих их силовых линий; все изменения в величине и направлении магнитной силы выявляются сразу. Но самое главное заключается в том, что из них усматривается, как все эти результаты согласно приводят к необходимости полного и эквивалентного соотношения двух магнитных сил. Если что-нибудь его хоть немного нарушает или уменьшает, то в той же мере уменьшается действие в целом. И, наконец, оно полностью исчезает из данного места, хотя энергия самого мощного рода направляет, казалось бы, силу в это место, если только забыть, что один из двух видов силы может хоть до некоторой степени существовать без другого или независимо от него.

3350. Когда я ранее работал с висмутом и магнитами, я описал более или менее подробно некоторые результаты (2298, 2487, 2491), обусловленные принципом нейтральных магнитных мест. Если шарик или кубик из висмута подвешен на чувствительной вертикальной нити или на крутильных весах и к нему подносить полюс  $N$  (рис. 12), то висмут отталкивается и подвес отклоняется. Если поднести еще и второй полюс  $N'$ , как показано на чертеже, то висмут будет отклоняться (полюсом)  $N$  слабее, чем ранее, вновь подойдет к нему ближе, и все будет иметь такой вид, будто  $N'$  также его притягивает, ибо, приближаясь, висмут будет стремиться войти в угол, образуемый  $N$  и  $N'$ . Если поднести с противоположной стороны третий

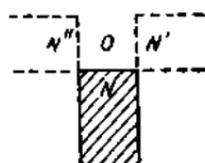


Рис. 12.

полюс  $N''$ , то будет казаться, что висмут притягивается как им, так и первым полюсом; в действительности он вернется почти в то же положение, какое занимал бы, если бы все три магнита отсутствовали. Одно время я думал, что магнитная структура, возбуждаемая в висмуте вторым северным полюсом  $N'$ , может заставить его приближаться к  $N$ ; если это так, то он

должен был бы нейтрализоваться одноименным полюсом  $N''$  с другой стороны; таким образом приближению висмута (если бы оно действительно было обусловлено этой причиной) было бы поставлено препятствие. Однако на деле оказалось что такой полюс, наоборот, не ослабляет, а усиливает притяжение; и если мы немного подумаем, то поймем, что такие полюсы образуют камеру ослабленного действия или отсутствия действия (3341, 3347); и нам станет ясно, что так и должно быть. Все движения висмута являются результатом свойственного ему стремления перейти из места более сильного магнитного действия в место более слабого действия (2418); и в настоящем случае они и указывают, где находится *это* слабое место; последнее при дальнейшем развитии окажется местом без всякого магнитного действия.

### Движущийся проводник

3351. Я хочу сделать еще несколько замечаний (3336, 3337) относительно ценности подвижного проводника как средства исследования в учении о магнетизме. Чтобы напомнить его принципы, его могущество и надежность его показаний, достаточно сослаться на более ранние работы (3156, 3172, 3176, 3270). В настоящий момент я воспользуюсь им для прямого опыта по вопросу о предполагаемых противоположных полярностях в железе и висмуте (3309).

3352. Было изготовлено четыре металлических шарика: из меди, висмута, мягкого железа и твердой стали, диаметром в 0.8 дюйма; у каждого из них имеется медная ось, на которой насажен небольшой деревянный шкив, и, когда шарик установлен в своей раме, ему с помощью ремня и передач можно придавать более или менее быстрое вращение. На каждый из шариков надето по экватору плотно прилегающее к нему тонкое медное кольцо; на кольце сделан паз; в пазу к кольцу при вращении шара прижимается провод гальванометра; в то же время другой провод прижат к медной оси. Эти шарики в их рамке помещались по одному в магнитном поле сильного постоянного магнита Лоджмена и таким образом подвергались действию магнитной силы (рис. 13); затем они приводились во вращение, и индуцированные в них электрические токи передавались гальванометрам. Гальванометров было два: один — Румкорфа, с тонкой проволокой (2654), второй — с толстой проволокой, всего в четыре витка (3178). Последний был лучше, но оба давали хорошие показания. Расположение всех существенных частей установки не изменялось во все время опыта, а поэтому достаточно будет описать одно действие, которое и будет служить образцом; с ним можно будет сравнивать остальные действия. За этот образец можно принять ток, обнаруживаемый,

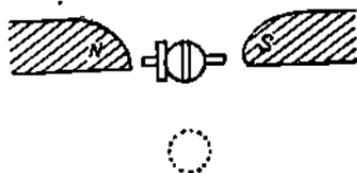


Рис. 13.

когда в магнитном поле находится *медный шарик*. Когда при этом токе верхняя часть шарика движется к западу, то южные концы стрелок гальванометра также отклоняются к западу; восемь или десять оборотов шарика заставили бы стрелки перейти за  $80^\circ$  или  $90^\circ$ .

3353. В магнитном поле помещался шарик из *мягкого железа*; он был настолько хорош по своим качествам, что, будучи удален из поля, сохранял лишь слабые следы магнетизма. При вращении он давал электрический ток того же направления, что и образцовый, т. е. медный шарик. Легко понять, что если шарик будет перемещаться параллельно самому себе, удаляясь от магнита по прямой, перпендикулярной магнитной оси (в положение, изображенное пунктиром, 3352, рис. 13), то он пройдет по местам более слабого магнитного действия. При таких перемещениях индуцированный ток оказывался слабее или сильнее, в зависимости от расстояния, но всегда был одного и того же направления. Если предположить, что вращающийся металл дает правильное указание на полярность или направление магнитной силы (3077), то этот результат показывает, что полярность силы, которая индуцирует эти токи и которая является магнитной силой действующего магнита, одинакова в меди и в железе. Относительно других случаев тока, возбуждаемого вращающимся железом, можно сослаться на Экспериментальные Исследования (3162).

3354. В магнитном поле был помещен *висмутный шарик*. Если его вращать долгое время и при этом прижимать проволоку гальванометра к медному экватору (3352), то последний нагревается от трения и возникает постоянный термоток; об этом упоминалось при другом случае (3168). Действие термотока легко исключается, если вращать шарик одно и то же число раз в двух противоположных направлениях; наблюдают отклонения в том и другом случае, их складывают и полусумму принимают за силу индуцированного тока в каждом из двух направлений; ибо если термоток прибавляется с одной стороны и вычитается с другой, то таким путем получается истинная

величина индуцированного тока. Если однако висмутовый шарик обращается всего пять или десять раз, то термоэффект оказывается настолько слабым, что отклонение гальванометра в одну сторону лишь очень немного превышает отклонение в другую. При достаточной тщательности (опыта) ток, индуцируемый вращением висмутового шарика, был совершенно того же направления, какое получалось для меди и железа; и таким образом направление полярности магнитной силы, которое обнаруживал шарик, было одинаковое — и для силы, действующей на шарик, и для силы, действующей внутри его.

3355. В магнитном поле был помещен шарик из *твердой стали*, причем он был предварительно исследован с помощью небольшой стрелки, и было найдено, что он не намагничен. Затем он был приведен во вращение и дал индуцированный ток *того же* направления, как при предыдущих токах. Он был удален (из поля) и вновь исследован магнитной стрелкой; оказалось, что он не получил заметного заряда магнетизма.

3356. Итак, все четыре металлических шарика указывают на одинаковую полярность магнитной силы, действующей на них и внутри них, когда их исследуют посредством электрического тока, порождаемого движением поперек силовых линий. На основании опытов, описанных в другом месте, известно, что все металлы и все тела, обладающие достаточной электропроводностью, вплоть до содержащих воду жидкостей, дают одно и то же направление магнитно-электрического тока: оно никогда не изменяется на противоположное без такого же изменения полярности; а при изменении полярности на противоположную всегда меняется и направление индуцируемого тока.

3357. Теперь шарик из твердой стали был *намагничен*, и хотя такая форма и не благоприятствует сохранению магнетизма, однако вследствие своей твердости он был способен его удерживать, будучи помещен в магнитном поле в таком положении, что его полярность была противоположна полярности поля. При этом он все же сохранил свою собственную полярность,

ибо, когда я выводил его из поля и исследовал с помощью магнитной стрелки, его полярность оказывалась прежнего направления. Раз это так, я подумал, что этот магнит может служить моделью и *железа*, и *висмута*, если стать на точку зрения тех, кто полагает, что железо и висмут поляризуются в магнитном поле в двух противоположных направлениях. В самом деле, его ведь можно было поместить в поле в том полярном состоянии, какое, по предположению, соответственно должны были приобрести железо и висмут. Итак, шаровой магнит был помещен в магнитном поле в положение, согласное с положением действующего магнита, т. е. так, что его полюс *N* был обращен к полюсу *S* магнита, и т. д.; при вращении он давал индуцированный магнито-электрический ток, подобный току, какой получался от шарика, взятого за образец, и от железа (3352, 3353). Затем действующий магнит был удален на некоторое расстояние (3353), и шарик вращался в его отсутствии; он дал, как и должен был дать, тот же ток, что и раньше, ибо, благодаря своей коэрцитивной силе, он мог все время сохранять то полярное состояние, которое железо могло приобрести лишь временно, пока находилось в магнитном поле. Когда затем шаровой магнит был повернут на  $180^\circ$  в горизонтальном направлении, он принял противоположное положение по отношению к действующему магниту (хотя последний по-прежнему находился на расстоянии), и теперь шаровой магнит дал ток, *противоположный* прежнему, или тому, который получался в шарике-образце. Однако это был ток, который вполне соответствовал его собственной полярности.

3358. Теперь я начал постепенно приближать действующий магнит и наблюдать его действие на перевернутый шаровой магнит. Ток от последнего становился все слабее и слабее и в конце концов изменился на противоположный, т. е. принял то же направление, что и ток в шарике-образце. Этому не приходится удивляться, если мы примем во внимание, что главный магнит был самым большим из доставленных Лоджменом на Большую выставку и мог удерживать груза в 430 фунтов, а ша-

ровой магнит имел всего 0.8 дюйма в диаметре и был весьма несовершенно закален внутри. Но, когда основной магнит был удален на небольшое расстояние, вскоре можно было найти такое место, где вращение шарового магнита ни в том, ни в другом направлении не возбуждало никакого электрического тока. Вне этого места вращающийся шарик давал ток, противоположный принятому за образец; между тем железный и висмутовый шарик, будучи помещены в то же самое место, давали токи одинакового направления, и притом того же, что и для шарика-образца. Но эта область ничем не отличается от всего магнитного поля многих меньших, но все же весьма сильных магнитов. И вот что отсюда следует: если мы представим висмут магнитом с противоположной полярностью (так это и предполагается для висмута), то мы получим магнитно-электрические токи не того направления как в висмуте, а противоположные. Если же мы перевернем наш исследуемый магнит кругом, т. е. придадим ему положение, в котором вызываемые им токи одинаковы с токами висмута, то его полярность будет противоречить, т. е. будет противоположна той, которая предполагается у висмута.

3359. Но полярность или направление магнитной силы, которая определяет направление индуцируемых магнитно-электрических токов, возникающих по всяком движущемся проводнике, необходимо строго отличать от той полярности, или направления, которое связано с движением тел, находящихся под действием той же самой силы; пока этого не сделано, каким образом предположение, что висмутовый шарик находится в том же самом полярном состоянии, что и перевернутый шаровой магнит, может помочь объяснению явлений? Перевернутый магнит фактически представляет *противоположность* висмуту и железу; тогда висмут и железо должны быть одинаковы. Прямой магнит — то же, что висмут, если иметь в виду ту полярность, которая индуцирует токи; но тогда висмут и магнит одинаковы. Как легко представить все эти результаты в полном согласии друг с другом, если рассматривать их с точки

зрения принципа, представляющего явления помощью силовых линий! Перевернутый шаровой магнит, помещенный на некотором расстоянии от основного, обнаруживает при вращении действие силовых линий внутри него (3116); когда магнит приближается, его внешний силовой сфендилоид сжимается внутрь (3238, табл. V, 15), и, наконец, магнит уходит в себя, его собственные силы уравниваются, а отсюда — отсутствие внутри него всякого действия главного магнита. Поэтому он не дает индуцированных токов даже и в том месте, где висмут и железо свободно их дали бы. В пределах этого расстояния сказывается влияние превышающей и перевешивающей силы большого магнита (3358); хотя последний и может временно подчинить себе шаровой магнитик, но когда мы удаляем его от магнитика, он позволяет последнему вновь развить свою силу и обнаружить тот же ряд явлений, что и ранее.

3360. Ван Рис допускает, как мне кажется, что движущаяся проволока дает правильное представление о наличии, направлении и природе магнитной силы или магнитных сил; и весьма важно знать, что как установка магнитной стрелки или кристалла висмута, так и возбуждение электрического тока в движущемся проводнике суть взаимосвязанные и необходимые действия магнитной силы. Действия, производящие то или другое из этих явлений, в точности одинаковы. Ученые должны или согласиться, или определенно разойтись в этом пункте; если они разойдутся, то они должны резко разделить с физической точки зрения эти явления, и если разделение будет установлено, то это должно повести к многим важным открытиям. Независимо от того, каков движущийся проводник сам по себе: парамагнитен или диамагнитен, или он — только проводник, который движется среди таких тел, отдельно или вместе с ними, направление полярности, обнаруживаемое этим проводником, *всегда одно и то же*. Возбуждаемый при этом электрический ток никогда не указывает изменения в направлении полярности сравнительно с направлением, зависящим от *первого* источника или очага силы, все равно магнит это

или соленоид, или источник еще какой-либо другой природы. Единственное различие заключается в силе возбуждаемого электрического тока, а это различие непосредственно зависит от электропроводности (3143, 3152, 3163). Если такова истинная природа, то каким образом два способа представления могут дать противоположные результаты? Если нам кажется, что результаты противоположны, притом лишь в некоторых случаях, то в чем мы должны сомневаться: в методе индукции, который один дает согласные результаты, или в методе, который представляется внутренне несовместимым? В особенности, если мы анаем, что тела, обладающие одинаковой полярностью, производят во множестве подобные противоречивые явления (3316); и если для их объяснения сами собой напрашиваются физические соображения, основанные на дифференциальном действии. Есть достаточно причин для того, чтобы не считать магнитную стрелку способной давать всегда правильные и прямые указания величины и направления магнитного действия (2868, 2870, 3156, 3293). Не следует ли нам поэтому для данного момента сделать относительно описанных явлений заключение, что простые и единообразные результаты, получаемые при действии по одному способу, являются правильными; и что там, где при другом способе явления оказываются то одного, то другого направления и идут то так, то иначе, часть из них является по своей природе сложными? В заключение я хочу заметить, что явления движения и явления, обнаруживающиеся в действии магнетизма на свет, ни в каком случае не переходят в противоположные, какова бы ни была среда, в которой они наблюдаются; направление полярности, которое указывают и те и другие, одно и то же, а именно, направление главного источника магнетизма.

3361. Я закончу эти весьма несовершенные рассуждения кратким изложением того, что, согласно моим предположениям, является для магнита существенным; а также заявлением, что многие пункты дальнейшего я вовсе не рассматриваю как выражение твердого убеждения в справедливости сделанного

мною предположения, которое должно лишь послужить толчком к исследованию. Рассматривая стержневой магнит как таковой, я вижу в нем источник двойственной силы. Я считаю, что его две силы необходимо связаны друг с другом и могут существовать только благодаря этой связи. Я полагаю, что хотя они и связаны через магнит поддерживающей силой, они не связаны таким же образом силой разряда или индукции — силой, которая равна по величине коэрцитивной или поддерживающей силе. Внешне, как мне представляется, эта связь осуществляется через пространство вокруг магнита, в котором имеется силовой сфендилоид, состоящий из замкнутых кривых линий магнитной силы. Что пространство не является темным в отношении магнетизма (3305), вытекает, по-моему, из следующего: когда это пространство занимают такие тела, как медь, ртуть и т. п., которые, согласно известным нам явлениям, стоят в том же отношении к силе, что и это пустое пространство, то при движении они производят магнитно-электрические токи. Если тела (среды) занимают пространство вокруг магнита, то они изменяют его способность передавать и связывать двойственные силы магнита, и в зависимости от того, увеличивают они или уменьшают эту способность, они являются парамагнитными или диамагнитными по своей природе; они дают начало тем явлениям, которые входят в понятие магнитной проводимости (2797). Один и тот же магнит может нести на себе различные заряды, если изменяется среда, соединяющая его полюсы; таким образом, магнит, полностью заряженный, когда между его полюсами находится благопринтная среда, как например железо, уменьшается в силе, если заменить железо воздухом, или (пустым) пространством, или висмутом. Соответствующие явления наблюдаются и для более длинных и более коротких магнитов (3290) и для магнитов, которым мы придали большую толщину, прикладывая несколько магнитов друг к другу сторонами (3287). Среда, окружающая магнит, может быть смешанной по природе, и тогда большая часть двойственного действия проходит

через лучший проводник, а меньшая — через худший, но общая величина силы остается без изменения. Сила и выгодные качества среды и самой пустоты исчезают, если прекращается двойственная сила или полярное действие. Магнит не мог бы существовать без окружающей среды или пустоты; его магнетизм уничтожился бы, если бы их не было; он уничтожается также и тогда, когда окружающее пространство начинает занимать противоположно направленная двойственная сила достаточно сильного основного магнита. Полярность каждой силовой линии сохраняет одно и то же направление на протяжении всего ее замкнутого пути. То, что стрелка устанавливается в том или другом направлении, есть проявление дифференциального действия, зависящего от схождения или расхождения силовых линий у вещества, смотря по тому, что оно представляет собой: лучший или худший проводник магнитной силы.

3362. Но, хотя такова моя точка зрения, я высказываю ее со всеми оговорками, сделанными мною ранее (3244, 3299). Я не претендую на то, чтобы разъяснить все трудности. У меня нет ясного представления о физических условиях, которые создают состояние магнитного заряда, т. е. состояние источника магнитного действия; ни о коэрцитивной силе, которая или затрудняет достижение этого состояния, или поддерживает его постоянным; ибо предложенные до сих пор гипотезы не дают моему уму должного удовлетворения. Моя цель состоит в том, чтобы выявить трудности, на которые наталкиваются различные взгляды, порою слишком легко принимаемые сейчас, и поколебать у ученых привычную веру в них. Ибо, наряду с расширением и углублением нашего знания, это представляется мне наиболее полезным и эффективным способом действительно подвинуть его вперед: лучше отдавать себе отчет или даже подозревать, что мы неправы, чем бессознательно или легкомысленно принимать заблуждение за истину.

*Королевский институт.*

*20 декабря 1854 г.*

49 М. Фарадей. т. III

### О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ УЧЕНИЯ О МАГНЕТИЗМЕ<sup>1</sup> И О ПРИРОДЕ СИЛ<sup>1</sup>

Магнитная и электрическая формы силы, двойственные по своим свойствам и способные действовать на расстоянии, будут, вероятно, в значительной мере содействовать выяснению физических сил природы вообще. Всегда необходимо, как я предполагаю, одновременное существование двух сил, всегда равных и эквивалентных друг другу и связанных такой взаимной зависимостью, что ни одна из них не может проявиться и даже существовать без другой; но если это так, то доказательство истинности этих положений пришло бы ко многим выводам величайшей важности для учения о силе вообще. Несколько простых опытов с электрической силой дают мыслящему уму ряд примеров такой двойственности. Пусть металлический сосуд, например мороженница, изолирован и соединен с чувствительным электрометром с золотыми листочками или с другим подобным прибором. Возьмем изолированный металлический шар с диаметром, равным половине диаметра мороженницы, зарядим его положительным электричеством и введем в середину мороженницы. Если мы на момент нарушим изоляцию последней, прикоснувшись к ней снаружи, а затем вновь ее изолируем, то вся система не будет обнаруживать вне сосуда никаких признаков электричества, и электрометр также останется в покое. Однако, если мы поднесем пробный шарик к шарiku внутри сосуда, он снимет с него положительное электричество, обнаруживая тем самым определенный вид его заряда; если же мы поднесем его к нижней внутренней поверхности сосуда, то он снимет отрицательное электричество, доказывая тем самым, что эта поверхность обладает противоположным зарядом. Двойственность может быть доказана также, если мы вынем из сосуда шар: тогда электрометр покажет, что сосуд имеет отрицательный заряд, а шар

<sup>1</sup> Proceedings of the Royal Institution, 19 января 1855.

окажется заряженным положительно. Можно показать, далее, что эти парные заряды одинаковы; для этого вновь введем шар в сосуд, посмотрим на электрометр, приведем шарик и сосуд в соприкосновение и опять посмотрим на электрометр, который останется в том же положении; наконец, вынем шар; он выйдет наружу без всякого заряда, а сосуд останется с внешней стороны в неизменном первоначальном состоянии. Итак, две парные электрические силы равны, эквивалентны и взаимно поддерживают друг друга. Чтобы показать, что ни одна из них не может существовать отдельно, изолируем металлический сосуд, дадим ему сильный заряд, прикоснувшись им к машине или Лейденской банке, и опустим в него изолированный шар; затем, коснувшись шаром дна сосуда, вынем его, не дотрагиваясь до стенок; он окажется совершенно лишенным заряда, каково бы ни было его первоначальное состояние; ибо на дне такого металлического сосуда могло бы существовать только какое-нибудь одно состояние, а такое одиночное состояние, т. е. сила, не связанная со своей парной, существовать не может.

Соответствующие две части магнитной силы, т. е. северный и южный магнетизм, хорошо известны. Было произведено много опытов с целью, если возможно, изолировать один из них или хоть в какой-нибудь степени отделить один от другого. Так, шесть одинаковых электромагнитов, изготовленных из шести квадратных брусков, были сложены вместе по направлению трех взаимно перпендикулярных прямых, так что их внутренние концы, имевшие все одинаковую полярность, образовали кубическое пространство, которое и служило экспериментальной камерой. Когда эти магниты были возбуждены, они сильно действовали в направлении наружу, что можно было установить посредством гвоздей, опилок, катушек и стрелок; но в самой камере, внутренность которой была отгорожена со всех сторон сильными северными полюсами, не было никакой силы: опилки не принимали определенного расположения; яебольшие стрелки не испытывали на себе ни-

какого действия, и только их собственная индуцирующая сила вызвала определенное распределение силы внутри; во вращающихся проволочных катушках не возникало токов; камера была местом без магнитного действия. Обыкновенные магнитные одноименные полюсы давали соответствующие результаты. Отдельный полюс обнаруживал свои обычные свойства: притягивал железо, отталкивал висмут. Одноименный полюс под прямым углом к нему образовал входящий угол, и там получалось место слабого магнитного действия; железо притягивалось из этого места к выступающим углам; висмут втягивался в него; от присоединения третьего-такого же полюса с противоположной стороны место слабого действия стало еще слабее и больше; прибавление еще полюса или двух делали его совсем слабым; при шести полюсах оно приводилось в состояние, описанное выше. Даже четыре полюса, сложенные вместе своими более длинными ребрами, образовали удлинненную камеру с двумя входами; и небольшая стрелка, внесенная в нее через который-нибудь из этих входов, быстро проходила через области все более и более слабого действия и, наконец, попадала в такое место в середине, где магнитное действие было совершенно неощутимо.

Другие, весьма интересные результаты можно было получить, устраивая камеру в полюсных оконечностях электромагнитов. В оконечности цилиндрического магнита, сердечник которого имел 1.5 дюйма в диаметре, была сделана концентрическая камера диаметром в 0.7 дюйма и глубиной в 1.3 дюйма. Когда этот полюс был возбужден и к нему были поднесены железные опилки, они повисли кругом с наружной стороны, но совершенно не входили в полость, за исключением весьма небольшого количества у ее наружного края. Когда я нарочно ввел их внутрь на куске картона, они проявили полное безразличие к возбужденному полюсу, и только несколько из них, ближайших к отверстию камеры, выпли из нее и притянулись к наружным краям. Кусок мягкого железа на конце медной проволоки сильно притягивался к внешним частям полюса, но

не испытывал никакого действия внутри ее полости. Я возбуждал магнит, наполнял камеру жолозными опилками и опрокинул ее; тогда все опилки, находившиеся на дне камеры и внутри ее, выпали из нее; правда, некоторые из них при этом были уловлены внешними частями полюса. Затем я приводил в соприкосновение с той же точкой на дне опрокидываемой камеры куски железа, величина которых постепенно возрастали от размера опилок до гвоздя и т. д. до длинного бруска. Опилки не удерживались там силой притяжения так же, как и было мелкие куски железа; но когда были взяты такие куски, которые доходили до отверстия камеры или даже выступали из него, притяжение дало себя знать, а для кусков больших размеров оно возросло настолько, что брусок весом в несколько фунтов оставался на весу в том же месте, где действие было недостаточно для того, чтоб удержать железные опилки.

Эти и многие другие результаты доказывают на опыте, что две магнитные силы не могут проявляться по одиночке и что когда они возникают, то возникают в одинаковых количествах и в существенной связи друг с другом. Ибо, если бы они не были существенным образом связаны, как мог бы магнит существовать один? Его сила, которая проявляется с очевидностью тогда, когда вблизи него находятся другие магниты или железа или висмут, должна при их удалении принять какую-либо *новую форму* или *существовать без действия*. Первое никогда не было доказано и даже не предполагалось; второе невозможно, ибо несовместимо с принципом сохранения силы. Но если две силы отдельного магнита устремляются одна на другую и таким образом оказываются взаимно связанными, то, как осуществляется эта связь: по прямым линиям через магнит или по кривым — через окружающее пространство? Что это происходит не по прямым линиям через магнит (все равно, прямой, стержневый или шаровой), доказывается с помощью катушки, навитой на магнит: *внутреннее* распределение силы (коэрцитивной или иной) остается неизменным, независимо от того, обращено действие магнита на другие магниты, или он остается

один (Экспериментальные исследования 3119, 3121, 3215 и т. д.). Те же способы показывают, что *внешнее* распределение силы при этом меняется. Таким образом, сила, направленная по прямым линиям через магнит, не подвергается изменениям при этих обстоятельствах, тогда как сила, направленная по внешним (и обязательно) кривым линиям — подвергается.

Полярность висмута или фосфора в магнитном поле представляет собою явление, которое в числе многих других существенно зависит от магнитной силы и весьма показательно для ее природы. Предположение, что полярность, которой они обладают, противоположна полярности парамагнитных тел, влечет за собою следствие, что северный магнетизм не всегда отталкивает северный или притягивает южный. Иными словами, оно приводит к предположению, что существует два северных и два южных магнетизма, и они сочетаются попарно иногда одним образом, а иногда противоположным. Но оставим область предположений и обратимся к опыту; можно надеяться, что если искусственно воспроизвести воображаемое состояние висмута в магнитном поле, то это поможет нам выяснить его действительное состояние; для этой цели я прибег к указаниям, которыми нас снабжает движущийся проводник. Было изготовлено четыре шарика из меди, железа, висмута и твердой стали; они приводились в вращение вокруг оси, совпадающей с осью сильного подковообразного магнита. На экваторе каждого из шариков было приделано медное кольцо, и концы проводов гальванометра были соединены с осью и с экватором вращающегося шарика. При таком расположении электрический ток, возбуждаемый во вращающемся шарике, сообщался гальванометру и служил показателем магнитной полярности каждого из шариков; направление вращения и полюсы магнита были во всех случаях одни и те же. Когда вращался медный шарик, принятый за образец для сравнения, отклонение гальванометра происходило в некотором определенном направлении. Когда медный шарик был заменен железным и последний был приве-

ден во вращение, отклонение гальванометра было то же самое. Когда был взят висмутовый шарик, отклонение было все то же; и оно осталось таким же, когда в магнитном поле приводился в вращение стальной шарик. Итак, судя по этому действию, которое, по моему убеждению, является надежным и неизменным показателем полярности, состоянием всех шариков было одно и то же, а следовательно, и полярность магнитной силы в железе, меди, висмуте во всех случаях одинакова (Экспериментальные исследования 3164 и т. д.). Затем стальной шарик был намагничен в направлении своей оси, и сталь оказалась настолько твердой, что сохранила свое магнитное состояние, когда шарик был помещен в противоположном положении между полюсами основного магнита; после того, как он был вынут оттуда, его магнетизм оказался неизменным. Далее, были произведены опыты при разных положениях (шарика), когда действующая магнитная сила была не слишком велика (был взят магнит, способный поднять 430 ф.); и оказалось, что когда стальной магнит был установлен одинаково с основным магнитом, т. е. так, что его северный полюс стоял лицом к южному полюсу основного магнита, то отклонение (гальванометра) происходило в ту же сторону, как для висмутового шарика; когда же положение стального шарика было изменено так, что он оказался в том магнитном состоянии, которое некоторые приписывают висмуту (т. е. так, что были обращены в противоположную сторону); то он обнаружил отличие от висмута и давал противоположное отклонение. Для получения более подробных сведений об этих соображениях и исследованиях я могу указать на статью, которая имеет появиться в *Philosophical Magazine*.<sup>1</sup>

Мне кажется весьма важным, чтобы наша мысль в настоящее время была направлена на пересмотр теорий, относящихся к общей физической природе силы, и особенно тех ее форм, которые замешаны в действии на расстоянии. Они, благодаря двойственности действия, очень тесно связаны с силами, кото-

<sup>1</sup> См. выше, стр. 719, или *Philosophical Magazine*, 1855, IX, стр. 81.

рые проявляются на ничтожно малых расстояниях; и можно ожидать, что успехи физики за последнее время позволят нам подойти к этому глубокому и трудному вопросу с большими возможностями, чем те, которые были в распоряжении ученых в прежнее время. Теперь мы привыкли допускать действия на значительных расстояниях, как действие одного магнита на другой, или Солнца на Землю, как будто бы такое допущение само по себе уже является исчерпывающим ответом на любую попытку проникнуть в природу физических средств, которыми удаленные тела действуют друг на друга. Тот, кто колеблется признать удовлетворительность этого ответа или допущения, на котором он основан, и ищет более удовлетворительного объяснения, до известной степени рискует прослыть смешным или невежественным в глазах ученого мира. Однако Ньютон, который сделал более чем кто-либо для доказательства закона взаимодействия удаленных тел, включая Солнце и Сатурн, отстоящие друг от друга на 900 миллионов миль, нашел нужным заключить свои соображения по этому вопросу зрело обдуманном суждением, что простое притяжение отдаленных друг от друга частей материи еще не является для ученого достаточным или удовлетворительным объяснением. Чтобы тяготение было чем-то врожденным, присущим материи и существенно необходимым для нее, и чтобы вследствие этого одно тело могло действовать на другое на расстоянии через пустоту, без какой-либо промежуточной среды, посредством которой и через которую их действие и сила могли бы передаваться от одного к другому — это, говорит он, представляется ему величайшей нелепостью. Причиной тяготения должен быть некоторый агент, действующий постоянно, согласно определенным законам; но материала или не материален этот агент, он предоставляет судить своим читателям. Это — глубокое провидение человека, который, благодаря своему знанию и высокому уму, усмотрел в алмазе сгустившееся маслянистое вещество, тогда как до него его считали просто прозрачным камнем, и предсказал присутствие в воде горючего вещества

за столетие до разложения воды и открытия водорода. И не могу не верить, что совсем близко время, когда его мысль о тяготении принесет свои плоды; и под этим впечатлением я решаюсь высказать кое-какие соображения по поводу того, что я считаю неудовлетворительным в обычно принимаемых представлениях о тяготении и вообще о тех силах, которые, как предполагается, действуют на расстоянии. Эти соображения находятся в связи с современным научным представлением о сохранении и неуничтожаемости силы.

Для тех, кто принимает Ньютоновский закон тяготения, но не идет за ним, понятие тяготения заключается в том, что материя притягивает материю с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния. Рассмотрим какую-нибудь массу материи (или частицу); пусть, для примера это будет Солнце; рассмотрим шар вроде одной из планет, скажем — нашу Землю; пусть она там, где она сейчас находится или взята из отдаленной части пространства и перенесена сюда ближе к Солнцу. Тогда начинает действовать притяжение, обусловленное тяготением, и мы говорим, что Солнце притягивает Землю, а Земля также притягивает Солнце. Но если Солнце притягивает Землю, эта сила притяжения должна или возникнуть *вследствие* присутствия Земли близ Солнца, или она должна была *первоначально существовать* в Солнце, когда Земли близ него еще не было. Если мы примем первое положение, то, мне кажется, будет чрезвычайно трудно представить себе, чтобы внезапное появление Земли на расстоянии 95 миллионов миль от Солнца, причем Земля не имела с ним никакой физической связи ранее и никакой физической связи, обусловленной только их сближением, могло вызвать в Солнце силу, прежде не существовавшую. В отношении тяготения Землю нужно рассматривать как первоначально инертную, так же как и Солнце; она может оказывать на Солнце какое-либо влияющее или возбуждающее действие не в большей степени, чем Солнце на нее. Предполагается, что они оба *лишены* действия в начале рассматриваемого примера; так каким же образом это действие может воз-

никнуть только благодаря их сближению или сосуществованию? Крайне трудно представить себе, чтобы тело, лишенное силы, могло вызвать эту силу в теле, находящемся на расстоянии от него; но еще труднее, если только это вообще возможно, допустить такое представление, если мы отдадим себе отчет, что оно заключает в себе *создание силы*. Сила может противодействовать силе, может ее отклонить, изменить ее направление отчасти или полностью, может, насколько мы способны судить об этом, видоизменить ее, так что она исчезнет в одной форме, чтобы возродиться в другой. Но сила не может быть создана или уничтожена или по настоящему приостановлена, т. е. оставлена существующей, но без действия или без эквивалентного ей действия. Сохранение силы, это — представление, глубоко вошедшее в мысль ученых; и мне кажется, что они все единодушно считают создание и уничтожение силы столь же невозможным, как и создание и уничтожение материи. Но если мы предполагаем, что Солнце существует одно в пространстве, совсем не проявляя воле силы тяготения, что в пространстве существует, далее, второй шар, находящийся в таких же условиях, и что оба они затем сближены друг с другом; если мы допускаем, что одно только их обоюдное присутствие заставляет каждый из этих шаров действовать на другой, то это значит допускать не только создание силы, а *двойное создание*, ибо тем самым мы предполагаем, что они оба перешли из первоначального инертного в действительное состояние. При их сближении они, согласно предположению, вновь переходят в бездейственное состояние, а это равносильно *уничтожению* силы. Легко понять, что случай Солнца или Земли или любых двух или нескольких действующих тел соединен с взаимностью, а также, что изменение притяжения при каком угодно сближении или удалении тел влечет за собою тот же результат создания или уничтожения силы, а это равносильно созданию или уничтожению (причем последнее является полным исчезновением) обоих действующих тел.

Таково, по-моему, должно быть наше заключение, если предположить, что притяжение Земли Солнцем возникает *вследствие* присутствия Земли, а притяжение Солнца Землей вследствие присутствия Солнца. Остается вторая возможность — что действие, или активный источник действия, существовал первично в Солнце (или и Землю) *ранее* присутствия Земли (или Солнца). Мне кажется, что в этом случае, в соответствии с законом сохранения силы, нужно различать три возможности. Первая: когда сила тяготения от Солнца направляется на Землю, то она в той же мере отнимается от других тел, а если она отнимается от Земли (вследствие ее исчезновения), то она должна распределиться на другие тела; вторая: переставая быть тяготением, она должна принять какую-либо *новую* форму силы, а развиваясь, как тяготение, должна поглотить какую-либо иную форму силы; третья: она должна *всегда* существовать вокруг Солнца во всем бесконечном пространстве. Первая возможность не предполагается обычной гипотезой тяготения, да вряд ли и можно считать ее правдоподобной; ибо, если бы она соответствовала действительности, вряд ли возможно, чтобы ее следствия не наблюдались астрономами при изучении движения планет в различных положениях одной относительно другой и относительно Солнца. Кроме того, тяготение не считается двойственной силой, а до сих пор только для этих сил подобные неременции наблюдались на опыте или преследовались мысленно. Вторая возможность, появление некоторой новой или иной формы действия, также никогда не возникала в чем-либо воображении в связи с теорией тяготения. Я сделал несколько попыток связать экспериментально тяготение и электричество, имея в виду именно этот вопрос (Phil. Trans., 1851, стр. 1); но результаты получились решительно отрицательные. Если бы хоть на минуту встать на эту точку зрения, то нужно было бы признать, что не только в Солнце, но и во всякой материи, каково бы ни было ее состояние, должны возникать особые силы, если они в какой-либо мере изымаются из действия тяготения. Характер

частиц кометы в перигелии заменился бы вследствие перехода некоторого количества их молекулярной силы в избыток силы тяготения, которую они тогда оказывали бы; а в афелии этот избыток силы тяготения перешел бы опять в молекулярную силу какого-либо иного рода, обладающую либо прежними, либо новыми свойствами; и то и другое превращение должны были бы быть вполне эквивалентны. Нельзя было бы даже представить себе рассеяние облака пыли, или его концентрацию в камень, не предполагая при этом явлений подобного же рода; а я думаю, что никто не счел бы такое предположение возможным. Остается третья возможность, а именно, что действие всегда существует вокруг Солнца и во всем бесконечном пространстве, независимо от того, имеются там вторичные тела, на которые действует тяготение, или нет; и не только вокруг Солнца, но и вокруг любой существующей частицы материи. При этом постоянное состояние необходимости действия в пространстве имеется и тогда, когда Земли *нет* на ее месте (по отношению к Солнцу); это существующее заранее состояние имеет результатом притягательное действие, когда Земля там *находится*.

Вот это третье представление я могу допустить, и, как мне кажется, оно совместимо с законом сохранения силы. Я полагаю, что Ньютон имел в виду именно это представление, когда рассматривал тяготение; что, в научном смысле, мы все допускаем именно его по отношению к свету, теплу и явлениям излучения; и (в смысле еще более широком и общем) именно это представление с особой настоятельностью и ясностью останавливает на себе наше внимание благодаря явлениям электричества и магнетизма с их двойственными формами силы.

22 января 1855 г.

ДАЛЬНЕЙШИЕ СООБРАЖЕНИЯ ОБ ОДНОВРЕМЕННЫХ  
ДИНАМИЧЕСКИХ И СТАТИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЯХ  
В ЯВЛЕНИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ<sup>1</sup>

Меллони, утрату которого должна глубоко переживать наука, был занят в последнее время своей жизни исследованиями по вопросам статического электричества, в частности индукции, проводимости и т. п. В связи с этим и с теми работами, которые я опубликовал относительно заряда подземных и подводных изолированных проводов<sup>2</sup> и их проводимости, он пожелал знать, имеется ли какая-либо разница во времени при передаче по таким проводам токов большего или меньшего напряжения, т. е. токов от батарей с различным числом пластинок. Я обратился по этому поводу к м-ру Латимору Кларку, и он с той же серьезностью, как и в предшествующих случаях, стал искать возможности произвести подобные опыты; он произвел их и сообщил мне результаты, которые я послал Меллони. Последний опубликовал их, с несколькими замечаниями, в одном из итальянских журналов (его названия нет в оттиске, который он мне прислал), и вскоре после этого смерть внезапно похитила его у нас. Поскольку результаты м-ра Кларка в Англии еще неизвестны, я полагаю, что краткий отчет о них мог бы представить интерес. Его метод заключается в записи, посредством печатающего телеграфа Бэна, результатов, полученных с 768 милями медной проволоки, покрытой гуттаперчей и проложенной под землей в виде четырех линий между Лондоном и Манчестером. При этом соединение было сделано так, что начало и конец всей проводки находились в Лондоне. Приводим его собственные слова, датированные 31 мая 1854:

<sup>1</sup> Из *Philosophical Magazine* за март, 1855.

<sup>2</sup> См. выше, стр. 695; также *Royal Institution Proceedings*, I, 345; или *Phil. Mag.*, 1854, VII, стр. 197.

«Я попытался произвести несколько опытов по относительной скорости передачи токов различного напряжения и посылаю Вам несколько полосок бумаги, содержащих их результаты. Мне не удалось уравнять отклонения гальванометра при токах (большого) напряжения от малых пластинок с отклонениями при токах от нескольких больших пластинок, ибо никакие размеры пластинок не могли перевесить недостаточность напряжения. Я имею здесь в виду форму опыта, предложенную Меллони; но я думаю, что эти результаты будут для него интересны.

«Опыты были произведены на 768-мильном, покрытом гуттаперчей проводе, т. е. на проводе, проходящем дважды от Лондона до Манчестера и дважды назад, с нашими обыкновенными батареями из медного купороса, пластинки которых были площадью в 3 дюйма в квадрате, а напряжение колебалось от 31 элемента до  $31 \times 16$  элементов, т. е. 500 элементов.

«На прилагаемых полосах верхняя линия обозначает время, в течение которого (через провод) пропускался ток, замыкание которого производилось при помощи некоторого приспособления тут же на месте.

«Вторая линия (из точек) обозначает время в секундах, отмечаемое маятником, с периодом колебания в одну секунду; он ударяется о легкую пружину в середине дуги, описываемой им при колебании.

«Третья линия показывает время, когда ток появляется на (так называемом) отдаленном конце провода, на расстоянии 768 миль.

«Четвертая линия представляет просто остаточный разряд от ближнего конца проволоки, которая соединялась с землей, как только батареи были выключены; она не имеет отношения к предмету наших исследований.

«По третьей линии можно видеть, что в каждом случае проходило около двух третей секунды, пока ток обнаруживался на расстоянии 768 миль, что дает скорость около 1000 миль

в секунду; но интереснее всего то, что эта скорость *в основном одинакова для всех напряжений от 31 элемента до 500*».

Меллони дал затем копию записей, сделанных для 31 пары и для 500 пар. К сожалению, его отпечаток не точен, так как на нем четвертая линия начинается у окончания третьей, тогда как она должна начинаться у окончания первой; кроме того, и третья линия должна кончаться не там, где она кончается на отпечатке. Ниже дан отпечаток с других полос, записанных на печатающем телеграфе Бэна. Опыты с 62, 125 и 250 элементами дали те же результаты, как опыты с 31 и 500.

31 элемент



После некоторых замечаний, относящихся главным образом к методике опытов и к тому, как избежать некоторых практических трудностей, Меллони говорит: «Итак, по-видимому, если электрический ток обладает достаточной силой для преодоления суммы сопротивлений, представляемых данным проводником, какова бы ни была его длина, то увеличение его напряжения в десять или двадцать раз не влияет на скорость его распространения. Этот факт явно противоречит тому смыслу, который вообще приписывается терминам *количество* и *напряжение*, ибо первое сраенивает массу электричества с массой жидкости, а второе выражает его упругость или стремление к движению. Одинаковая скорость токов различного напряжения является, наоборот, веским аргументом в пользу мнения тех, кто считает электрический ток аналогичным колебаниям воздуха под влиянием звучащих тел. Подобно тому, как звук, более высокого или более низкого тона, проходит в воздухе одинаковое пространство за одинаковое время, какова бы ни была длина или интенсивность воздушной волны, образуемой колебаниями звучащего тела, так и более или менее быстрые

или более или менее мощные колебания электрической жидкости, возбужденные действием батареи из большего или меньшего числа пластинок, распространяются в проводниках с одинаковой скоростью. Каждый может видеть, как гипотезы, придуманные нами для объяснения естественных явлений, приводят нас к определенным экспериментальным исследованиям, результатами которых проверяется правильность или несостоятельность этих гипотез».

Меллон говорит далее, что вскоре он будет иметь случай опубликовать факты, которые ясно обнаружат ошибочность некоторых принятых до сих пор взглядов на электростатическую индукцию; и я знаю из моей переписки с ним, что он считал результаты, полученные Кулоном, Пуассоном и другими позднейшими исследователями, не соответствующими фактической истине.<sup>1</sup> Но за это время он умер, и я не знаю, были ли его исследования доведены до той законченности, чтоб их можно было обнаружить.

Одинаковость времени, за которое токи различного напряжения появляются на другом конце того же провода в одном и том же индуктивном состоянии, это — весьма замечательный результат. С первого взгляда можно думать, что он противоречит взглядам на индукцию и проводимость, высказанным мною некоторое время назад, и моим более недавним утверждениям относительно *времени*. Но мне кажется, что это не так,

---

<sup>1</sup> Он говорит: «Или я глубоко заблуждаюсь, или основная теорема электрической индукции, как она обычно формулируется, должна быть изменена, чтобы не получалось смешения двух совершенно различных действий — электрического состояния во время индукции и (состояния) после соприкосновения или разъединения с индуцирующим телом. Мы вполне хорошо знаем, что происходит во втором случае, но не в первом», и т. д. И далее: «В моем последнем письме я выразил сомнение в отношении следствий, которые выводились до настоящего времени из опытов, служащих основой для фундаментальной теоремы электростатической индукции. Эти сомнения укрепилась в моем уме до состояния уверенности..., и в настоящее время я вполне убежден, что формулировка этой теоремы должна быть коренным образом изменена» (июль 1854).

на что, вероятно, могут указать два-три соображения по поводу новейших опытов м-ра Кларка. Когда мы пользуемся меньшей батареей, то в проволоку за данное время проходит вначительнее меньше электричества, чем если взята большая. Предположим, что различие между этими батареями настолько велико, что количества (электричества) относятся как 1 к 10; если даже сигнал от каждой из батарей потребовал одинакового времени для передачи через проволоку, то все же очевидно, что проволока для слабого тока была в десять раз лучшим проводником, чем для сильного. Иными словами, для более слабого тока нужно было бы взять проволоку с массой, равной всего одной десятой той массы, которая берется для более сильного тока, если мы имеем в виду уравнивать сопротивления для *равных количеств* электричества при различных напряжениях последнего.

Мои воззрения связывают запаздывание при передаче тока с мгновенной индукцией, которая устремляется вбок от изолированной и имеющей наружную обкладку проволоки. Индукция будет пропорциональна напряжению, и поэтому ее характерное влияние на время запаздывания будет пропорционально уменьшаться при менее сильных токах — действие, в результате которого время запаздывания двух токов делается одинаковым.

Различие *во времени*, наблюдавшееся в предыдущих опытах для воздушных проводов (с одной стороны) и подземных или подводных (с другой), вполне очевидно зависит от разности направленной вбок индукции; запаздывание, обнаруживаемое в воздушном проводе еле заметно, в подземном проводе доходит почти до двух секунд. Если бы можно было уменьшить изолирующий слой гуттаперчи с 0.1 до 0.01 дюйма в толщину и окружить провод не водой или землей, а ртутью, то я не сомневаюсь, что время еще возросло бы. Тем не менее есть все основания предполагать, что в каждом из этих различных случаев электрические токи высокого и низкого напряжения дошли бы до конца одной и той же длинной проволоки через одинаковые промежутки времени.

Результаты м-ра Кларка можно формулировать так: данное количество электричества при высоком напряжении и меньшее количество при соответственно более низком напряжении достигают отдаленного конца одной и той же проволоки по прошествии одного и того же периода времени. В моей формулировке имелся в виду разряд через *одну и ту же* проволоку *одного и того же* количества при различном напряжении, а количества в опытах, относящихся к этому явлению, измерялись посредством Лейденской банки. При изучении и дальнейшем развитии этих результатов нужно помнить, что дело идет здесь не о различии во времени, скорости или условиях передачи для *постоянного* тока, ибо они одни и те же в случае как воздушного, так и подземного провода. Здесь подразумевается различие только в *первом появлении* того же самого тока, если мы рассматриваем такие провода, находящиеся в различных условиях. После этого первого появления действие в обоих проводах одинаково вплоть до исчезновения тока, а в этот момент вновь появляется различие, которое оказывается дополнительным к первому.

Для желающих по возможности произвести такие опыты имеется много их видоизменений, и, вероятно, эта возможность постепенно представится или будут произведены равнозначные опыты в других формах. Вероятно, при замене цилиндрических проводов плоскими лентами, имеющими тот же вес, или несколькими небольшими проволоками, одинаково покрытыми гуттаперчей и погруженными в воду, должны получиться различия во времени запаздывания для одного и того же тока. Я полагаю, что для ленты, у которой поверхность индукции больше, чем у цилиндра, будет больше и запаздывание; но, вероятно, эти провода и различные их видоизменения дали бы *одинаковое* запаздывание для токов различного напряжения. С другой стороны, вряд ли можно сомневаться в том, что в случае различных проводящих веществ, как железо и медь, (время) запаздывания изменилось бы, как это имеет место при передаче звука и света. Можно, как и ранее, ожидать, что и в этих слу-

чаях для одной и той же проволоки запаздывание токов высокого и низкого напряжения будет одинаково; но было бы весьма интересно *знать*, будет ли это действительно так.

Если мы пожелаем проследить эти результаты и обуславливающие их причины в тех различных формах, в каких они проявляются в связи с изменениями как проводников, так и токов, то, как заметил Меллони, перед нами откроется обширное и интересное поле исследования. Оно охватывает даже свойство тока индуцировать ток в соседних проволоках и проводниках, а также и многие явления и законы магнитно-электрической индукции.

*Королевский институт.*

*7 февраля 1855 г.*

# П Р И Л О Ж Е Н И Я



## О ТРЕТЬЕМ ТОМЕ «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ» М. ФАРАДЕЯ



Комментатором и редактором настоящего тома, как и двух предыдущих томов, являлся ныне покойный член-корреспондент АН СССР Торичан Павлович Кравец.

Им был составлен план этого тома, отредактирован весь текст перевода и написаны примечания к сериям с XIX по XXVI включительно.

Неожиданная смерть оборвала эту работу.

Мы взяли на себя задачу подготовки рукописи этого тома к печати. Нами написан краткий обзор его содержания. Мы ограничились самыми необходимыми примечаниями, начиная с XXVII серии до конца тома.

Третий том «Экспериментальных исследований» содержит «серии» от XIX до XXIX включительно и ряд самостоятельных статей. В этом томе содержится материал, имеющий очень крупное научное и историческое значение, относящийся к периоду с ноября 1845 г. по февраль 1855 г.

### *А. СЕРИЯ ДЕВЯТНАДЦАТАЯ*

Девятнадцатая серия посвящена, как сказано в заглавии, «намагничиванию света и освещению магнитных силовых линий». Из подстрочного примечания автора следует, что «освещение силовых линий» надо понимать как своего рода проявление линий.

Здесь сначала рассматривается «действие магнитов на свет». При этом Фарадей формулирует свое понятие «диамагнитного» тела. «Диамагнитным» он здесь называет тело, через которое магнитная сила проходит, не вызывая в нем обычной намагниченности, подобной намагниченности железа. Иными словами, диамагнетизм еще не отличается от парамагнетизма. Далее описываются опыты по вращению плоскости поляризации под действием магнитного поля в «диамагнитных» (в указанном смысле этого слова) веществах. Поле в этих опытах создается электромагнитами различного вида с железным сердечником. Затем примерно те же опыты проводятся с безжелезными соленоидами. «Вданном опыте — по мнению Фарадея — луч света электризуется и электрические силы освещаются» (п. 2195). «Таким образом, впервые, как я полагаю, — говорит Фарадей, — установлена подлинная непосредственная связь и зависимость между светом и магнитными и электрическими силами, и, таким образом, сделано большое добавление к фактам и соображениям, служащим для доказательства того, что все естественные силы связаны друг с другом и имеют одно общее происхождение» (п. 2221). **В** Анализируя это явление, Фарадей приходит к выводу, что магнитное поле должно действовать на все изученные им тела, приводя их в «новое магнитное состояние», «отличное от намагниченности железа».

#### *В. СЕРИИ ДВАДЦАТАЯ — ДВАДЦАТЬ СЕДЬМАЯ*

Исследования, описанные в «сериях» с XX по XXVII, посвящены непосредственному изучению этого нового магнитного состояния, отличного от ферромагнетизма, и выяснению вопроса о магнетизме всей материи. Здесь впервые описываются методы исследования магнетизма слабомагнитных тел, ставшие впоследствии классическими (п.п. 2245—2252). Фарадей впервые обнаруживает, что есть большое число веществ, которые не притягиваются магнитом, а отталкиваются от него. Особое внимание уделяет Фарадей металлам, полагая, что их

особые электрические свойства должны быть связаны с особыми магнитными свойствами. Однако это предположение не оправдалось. Фарадей обнаруживает значительный диамагнетизм висмута. Впоследствии он узнает, что диамагнетизм был уже открыт за 16 лет до того (в 1829 г.) французским физиком Ла Байи, но это открытие не привлекло к себе внимания.

В серии двадцать первой продолжают исследования различных веществ и они распространяются на газы. Попутно опыты опровергают одно предположение Фарадея, высказанное им во II томе. Он полагал, что все металлы становятся ферромагнитными, если их достаточно охладить. Однако исследование показало, что никель, нагретый выше (как мы бы теперь сказали) точки Кюри, сохраняет некоторую слабую долю своих ферромагнитных свойств и тем решительно отличается от многих других металлов.

В результате многочисленных измерений Фарадей формулирует свои замечательные выводы о том, что «всякое вещество, по-видимому, подвержено действию магнитной силы; это столь же универсальное явление, как то, что оно подвержено тяготению, силам электрической, химической и сцеплению» (п. 2420). Впрочем, в этих опытах Фарадея газы (кроме воздуха) не дали заметного магнитного эффекта.

Рассматривая магнитные свойства с точки зрения теории Амперовых токов, Фарадей впервые пришел к выводу, что в диамагнитных телах эти токи соответствуют по направлению индуцированным токам, возникающим при включении поля.

Двадцать вторая серия посвящена обширному исследованию магнитной анизотропии, впервые открытой Фарадеем. В двадцать третьей серии описываются исследования, выясняющие полярность диамагнитных тел. В двадцать четвертой серии сообщается о неудачной попытке Фарадея найти связь между тяготением и электричеством.

Двадцать пятая серия посвящена новым попыткам выяснения магнитных свойств газов; однако Фарадею удается обна-

ружить лишь магнетизм газообразного кислорода. Здесь впервые Фарадей вводит новую классификацию магнитных свойств. Он предлагает называть все тела, намагничивающиеся подобно железу, никелю или кислороду — «парамагнитными» (ранее он их именовал просто «магнитными»), а тела, намагничивающиеся противоположно (подобно висмуту), Фарадей называет «диамагнитными».

В двадцать шестой серии рассматривается прежде всего вопрос о способности различных тел «проводить» магнитные силовые линии, и Фарадей впервые показывает, что парамагнитные тела сгущают в себе магнитные силовые линии, а диамагнитные тела, напротив, их разрежают. Большая работа Фарадея, охватывающая конец двадцать шестой и двадцать седьмую серии, озаглавлена «Атмосферный магнетизм». В этой работе Фарадей пытается объяснить суточные и другие вариации земного магнитного поля влиянием магнетизма атмосферы, изменением ее пропускной способности для линий магнитного поля земного шара. Поскольку Фарадей не подвергал этих соображений математической обработке, он не смог заметить глубокой ошибочности всей этой теории. Как известно, современная теория земного магнетизма считает, что суточные вариации земного поля обусловлены ионными токами в верхних слоях атмосферы. Таким образом, Фарадей справедливо искал источник вариаций в атмосфере.

Двадцать восьмая серия посвящена опытному изучению распределения магнитных силовых линий снаружи и внутри постоянного магнита. В двадцать девятой серии исследуется применимость индукционных токов для измерения магнитных сил. Здесь также подробно изучаются конфигурации различных магнитных полей с помощью опилок. Здесь также (п. 3241) описывается важный опыт, из которого следует, что магнитные свойства как никеля, так и кислорода падают с ростом температуры.

На этом кончаются серии. Далее идут 15 статей на различные темы.

Три первые статьи рассматривают природу магнитных силовых линий. Фарадею обычно приписывают гипотезу о том, что силовые линии представляют собою линии натяжения эфира. Однако Фарадей отнюдь не считал эту гипотезу единственно возможной. В п. 3263 он говорит следующее: «Если же допустить действие по кривым линиям, то, по-моему, это значит признать тем самым, что линии имеют физическое существование. Может быть это — колебания воображаемого эфира или состояние натяжения этого эфира, отвечающее динамическим или статическим условиям; или это еще какое-нибудь другое *состояние*, которое трудно себе представить, но которое может быть в равной мере отлично и от предполагаемого несуществования силовой линии тяготения и от самостоятельного и отдельного существования силовой линии излучения». «Каково это состояние и от чего оно зависит, мы сейчас еще не можем сказать — пишет Фарадей в статье „Физические линии магнитной силы“, — может быть оно обусловлено эфиром, подобно световому лучу. . . Необходимо ли для поддержания этого состояния присутствие материи, зависит от того, что понимать под словом „материя“. Если понятие о материи ограничить восточными или тяготеющими веществами, тогда присутствие материи столь же мало существенно для физических линий магнитной силы, как и для лучей света и теплоты. Но если, допуская эфир, мы примем, что это — род материи, тогда силовые линии могут зависеть от каких-либо ее действий. С экспериментальной точки зрения пустое пространство магнитно; но ведь представление о пустом пространстве должно заключать в себе представление об эфире, если исходить из этой точки зрения. Если впоследствии возникнут какие-либо другие взгляды на состояние или свойства пространства, то их нужно будет увязать со свойствами того, что мы называем пустым пространством сейчас в соответствии с данными опыта».

Мы видим, таким образом, что Фарадей в своих воззрениях и предположениях о природе поля был гораздо более глубоким мыслителем, чем его однобокие сторонники и продолжатели.

Эти идеи развиты Фарадеем в его статье под заглавием «Мысли о лучевых колебаниях» (стр. 618).

Исследования в области магнетизма, изложенные в этом томе, заканчиваются тремя статьями: «Гипотезы о магнетизме», «О некоторых вопросах учения о магнетизме», «О некоторых вопросах учения о магнетизме и о природе силы», содержащими критику различных гипотез о строении и природе магнитов и магнитного поля. Фарадей указывает, что в этих статьях он хотел главным образом (п. 3362) выявить трудности, на которые наталкиваются различные взгляды, порою слишком легко принимаемые сейчас, и поколебать у ученых привычную веру в них. «Ибо наряду с расширением и углублением нашего знания, — говорит Фарадей, — это представляется мне наиболее полезным и эффективным способом действительно подвинуть его вперед: лучше отдавать себе отчет, или даже подозревать, что мы неправы, чем бессознательно и легкомысленно принимать заблуждение за истину».

Наконец, в данном томе рассматриваются некоторые вопросы, связанные с запаздыванием электрического тока в телеграфном кабеле.

*Я. Г. Дорфман.*

---

---

## ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРОВ



### ПРЕДИСЛОВИЕ

Тиндаль (Tyndall John, 1820—1893) — знаменитый популяризатор. Преемник Фарадея после 1853 г. по Королевскому институту.

Кноблаух (Knoblauch Karl Herman, 1820—1895) — профессор в Марбурге и Галле; много трудов по лучистой теплоте.

Маршан (Marchand Richard Felix, 1813—1850) — профессор в Галле (1843—1850).

Щеерер (Scheerer Karl Johan August Theodor, 1813—1875) — с 1848 г. профессор Горной Академии во Фрейбурге.

Томсон (Thomson William, Лорд Кельвин, 1824—1903) — знаменитый физик (механика, молекулярная физика, 2-й закон термодинамики, явление Джоуля—Томсона, «формула Томсона», распространение электричества по кабелю и др.).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

#### *Деятнадцатая серия*

2147.<sup>1</sup> Вартман (Wartmann Elie François, род. 1817) — профессор в Лозанне, академик в Женеве; работы главным образом по атмосферной оптике. Цитируемая работа относится к 1842 г.

2148. Назлектризовать луч света — подвергнуть его магнитному действию электрического тока.

---

<sup>1</sup> Число, стоящее перед каждым примечанием к сериям XIX—XXIX, указывает параграф (сокращенно: п.) «Исследований», к которому оно сделано.

2149. Здесь «диамагнитными» Фарадей называет покуда все тела, не имеющие ферромагнитных свойств.

2150. Аргандова лампа (1783) — лампа с поддувалом и стеклянным цилиндром для тяги. Арганд (Argand Aimé, 1755—1803) — соучастник изобретения гидравлического тарана.

Николев окуляр — призма Ниволя (1828). Николь (Nichol William, 1768—1851) — учитель физики в Эдинбурге.

2153. Гров (Groves William Robert, 1811—1896) — сослуживец Фарадея по Лондонскому королевскому институту; известна его книга «О соотношении физических сил». Элемент Грова (1839) — платина в азотной кислоте (+) и цинк в серной (—) отделены друг от друга пористым сосудом; цинк обертывает сосуд с двух сторон.

2154. Диамагнитное — не ферромагнитное, см. прим. ред. к п. 2149.

2155. Полюс с меткой — северный.

2156. Диамагнитное — см. прим. ред. к п. 2149.

2157. Диамагнитное — см. прим. ред. к п. 2149.

2160. В той мере, в какой они ему параллельны — пропорционально той слагающей магнитной напряженности, которая параллельна лучу. Диамагнитные тела — см. прим. ред. к п. 2149.

2161. Диамагнитное тело — см. прим. ред. к п. 2149.

2163. Диамагнитное тело — см. прим. ред. к п. 2149.

2170. Указываемые в конце этого п. явления зависят, конечно, от увеличения коэффициента самоиндукции при внесении железа в катушку.

2175. Аномальная дисперсия вращательной способности открыта значительно позже (в 1858 г.).

2177. Диамагнитные вещества — см. прим. ред. к п. 2149. Теннант Чарльз — владелец химической фабрики; изобрел способ белины с помощью хлорной извести.

2186. Маслородный газ — этилен.

2189. Диамагнитных тел — см. прим. ред. к п. 2149.

2192. Сэбайн — о нем неоднократно будет речь в сер. XXVI и XXVII.

2193. Гров — см. прим. ред. к п. 2153.

2195. Мы бы теперь никак не сказали, что в опыте с катушками (без железного сердечника) мы имеем дело с электрическими линиями силы.

2201. Диамагнитного тела — см. прим. ред. к п. 2149.

2203. Как известно, впоследствии Клаузаус показал, что внутри достаточно длинной (по сравнению с диаметром витков) катушки магнитное поле вполне равномерно.

2219, 2220. Фарадей показывает здесь, что ток, как таковой, не производит вдоль своего направления добавочного вращения плоскости поляризации света.

2221. Дэйви (Гэмфри) — учитель Фарадея. См. о нем прим. ред. к п. 265 (т. I «Эксп. иссл.»). Морикиви Доменико Пяти (1773—1813). Его мнимое открытие магнитного действия ультрафиолетовых лучей относится к 1812 г. Кристи — см. прим. ред. к п. 44 (т. I «Эксп. иссл.»). Электрическими силами — см. прим. ред. к п. 2195. Фарадей ссылается здесь на свои неоднократные высказывания о «единстве сил». Однако именно в настоящем случае современная физика не усматривает превращения, скажем, магнитной энергии в световую: магнитное поле создает в *телез* дополнительную силу — силу Лорентца, причем энергии не затрачивается.

2224. Магнитные силы... действуют на световой луч... при посредстве вещества — это совершенно правильное утверждение; магнитные силы действуют на *движущиеся заряды* (ионы, электроны), которых в пустоте нет. Магнитная сила действует одинаковым образом — см. прим. ред. к п. 2175.

2225. Фарадей ссылается на последнюю статью II тома «Эксп. иссл.», где он становится на путь отрицания атомов или признания атома Босковича — исключительно «центра сил». См. также статью ред. II т., стр. 421, 422.

2226. Диамагнитного тела — см. прим. ред. к п. 2149.

2227. Вращающее плоскость поляризации вещество находится, по Фарадею, в особом «магнитном состоянии». Мы теперь этого не думаем.

2229. Это «состояние» есть состояние электрического напряжения, стремящегося перейти в электрический ток, подобно тому, как в магнитах, согласно теории Ампера, это... состояние тока. Мы думаем, что замкнутые токи электронов в атомах под влиянием магнитного поля при равных направлениях вращения либо замедляются, либо ускоряются. Диамагнитное тело — см. прим. ред. к п. 2149. Ампер — см. прим. ред. к п. 2.

2237. Новое магнитное состояние. См. прим. ред. к п. 2227.

2240. Диамагнитное тело — см. прим. ред. к п. 2149.

2241. Действие магнитных и *электрических* сил на обыкновенные (т. е. не поляризованные) лучи — см. прим. ред. к п. 2195; до сих пор таких опытов не произведено.

#### Двадцатая серия

2243. Новое магнитное состояние — см. прим. ред. к предыдущей серии, п.п. 2227, 2229, 2237. Магнитных и электрических сил — см. прим. ред. к п.п. 2195, 2221, 2241. Уитстон — см. прим. ред. к п. 853; Беккерель — см. прим. ред. к п. 2349; Кулон (Coulomb Charles Augustin, 1736—1806) — знаменитый механик и физик; знамениты работы по трению; «закон Кулона».

2246. Гров — см. прим. ред. к п. 2153.

2270, 2272. Диамагнитные кривые, диамагнитные вещества — см. прим. ред. к п. 2149.

2274. Кобальт здесь упоминается как магнитное тело, в противоположность утверждениям во II т. (стр. 306, 314). — Диамагнетизм тяжелого стекла здесь сближается, как в дальнейшем выясняется, неправильно — с его свойством магнитного вращения плоскости поляризации.

2275. Магнитных или электрических сил — см. прим. ред. к п. 2195.

2280. Рвотный камень — сурьмяноислый калий; белый мышьяк — мышьяковистый ангидрид ( $As_2O_3$ ); кислый пиродинхонин — алкалоид, сопровождающий хинин; хим. состав  $C_{19}H_{22}N_2O$ ; гагат — твердый уголь, поддающийся шлифовке.

2281. Дюфе (Du Fay Charles François, 1698—1739) — знаменитый автор гипотезы о двух электричествах.

2285, 2290, 2293. Неожиданное высказывание, заставляющее предполагать, что диамагнетизм, по Фарадею, сосуществует в магнитных телах рядом с их магнетизмом.

2308. Прим. Де ла Рив Огюст Артур — см. прим. ред. к п. 77 (т. I); Ла Байи — данных не имеется.

2309, 2331. Здесь речь пойдет об индукционных явлениях, задерживающих движение *хороших* проводников в магнитном поле.

2329. Южно-магнитное состояние и т. п. — южный магнетизм.

2332. Как и в п. 2170, на который ссылается Фарадей, правильное объяснение заключается в учете «времени релаксации» тока в катушке при его замыкании и размыкании; при этом магнетизм следует изменениям тока мгновенно. См. об этом превосходную работу нашего соотечественника Э. Х. Левца (Избранные труды. Изд. АН СССР, М.—Л., 1950, стр. 159—239).

2333. Сообщают полярность... поверхности медного стержня — наводят токи в стержне, производящие магнитный полюс.

2335. Полярности — полюсы.

2341. Араго — см. прим. ред. к п. 2 (I т. «Эксп. иссл.»). Араго ранее открытия электромагнитной индукции Фарадеем открыл явление увлечения диска вращающимся около него магнитным полем. Много времени Фарадей отдал выяснению этого явления (т. I, п.п. 81 и сл.), а также полемике с неправильными взглядами на тот же предмет итальянских ученых Нобили и Антиворы (т. II, стр. 235—281). Там же (т. I, п. 80 и в прим. ред. к нему) находятся данные о Дж. Гершеле и о Баббедже; об Ампере см. прим. ред. к п. 2; упоминаемые там его сочинения с тех пор вышли на русском языке в серии «Классики наук» под ред. проф. Я. Г. Дорфмана (А.-М. Ампер. Электродинамика. Изд. АН СССР, М.—Л., 1954).

*Двадцать первая серия*

2343. Диамагнитных тел — см. прим. ред. к п. 2149.

2348. Диамагнитное состояние — то же.

2349. Беккерель — здесь речь идет о двух представителях этой научной «династии»; о первом, Антуане-Созаре, см. прим. ред. к п. 477 (т. I «Эксп. иссл.»); второй, его сын Эдмонд (1820—1891), физик с большими заслугами в области люминесценции, вел с Фарадеом полемичку по вопросу о приоритете своего отца в открытии диамагнетизма; (см. вторую часть помещенной в этом томе статьи Фарадея (сент. 1846) «О влиянии магнетизма на свет и о различиях между ферромагнитным и диамагнитным состояниями материи», стр. 626—644). Внук — Анри Беккерель — открыл радиоактивность.

2352, 2353. Протосульфат железа — железный купорос.

Протохлорид —  $\text{FeCl}_2$

Перхлорид  $\text{FeCl}_4$

Персульфат —  $\text{FeSO}_4$

Протофосфат — вероятно  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Перфосфат —  $\text{FePO}_4$

Бурый железняк —  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с содержанием кристаллизационной воды

Гематит —  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Хромат железа —  $\text{FeOCr}_2\text{O}_7$

Железный колчедан —  $\text{FeS}_2$

Мышьяковый колчедан  $\text{FeSAs}$

Медный колчедан —  $\text{FeCuS}_2$

2356. Муриат — солинокислая соль.

2358. Аскин — данных не имеется.

2363, 2366, 2368, 2370. Диамагнитные среды — см. прим. ред. к п. 2149.

2371. Волластон — см. прим. ред. к п. 76 «Эксп. иссл.» (т. I). Джовансон упоминался уже в п.п. 1547 и 1632 (т. I), но данных о нем в распоряжении ред. не оказалось. См. также т. II, стр. 510.

2372. О Бертье и магнетизме марганца см. прим. ред. к стр. 311 и 312 II тома «Эксп. иссл.».

2374. Уаррингтон (Warrington Robert) — химик Фармац. об-ва в Лондоне. Во II томе «Эксп. иссл.» Фарадей считает хром не магнитным (см. стр. 306, 313).

2378. Неполные соли — у Фарадея собственно «подсоли» (subsalts). Диамагнитность свинца — см. прим. ред. к п. 2149.

2379. Д-р Джонсон впервые упоминается в п. 1547 (т. I «дисс. иссл.»).

2380. Платина также фигурирует в более ранних работах Фарадея по магнетизму (стр. 306 и 313, т. II).

2381. Здесь Фарадей под «диамагнитными» свойствами разумеет то самое, что и мы ныне.

2382. Джонсон — см. прим. ред. к п. 2379. Волластон — см. прим. ред. к п. 76 (т. I). Палладий в упомянутых выше (прим. ред. к п. 2380) более ранних работах Фарадея (т. II, стр. 306, 313) также фигурирует, как не магнитный металл.

2383. Белый мышьяк —  $As_2O_3$ .

2385, 2386, 2387. Джонсон — см. прим. ред. к п. 2379, 2382.

2387. Волластон — см. прим. ред. к п. 76 (т. I).

2400. В этом и следующих параграфах (включительно по 2416) Фарадей стоит на точке зрения, что газы лишены магнитных свойств. Ср. соответственные его высказывания о диэлектрических свойствах газов (т. I, п.п. 1283—1294, с некоторой оговоркой в п. 1293).

2402—2404. Ныне принимается, что  $\mu = 1 + 4\pi\kappa$ , причем  $\kappa$  для всех тел, кроме ферромагнитных, весьма мало по сравнению с 1; поэтому там, где измеряется  $\mu$ , а не  $(\mu - 1)$ , никакого различия  $\mu$  установить невозможно. В особенности это относится к газам.

2416. Газы и пары неизменно занимают положение, среднее между магнитным и диамагнитным разрядами вещества. . . и, видимо, не отличаются от совершенного вакуума. От этого утверждения Фарадей в одной из следующих серий решительно отказывается (см. сер. XXV).

2420. Если только материя находится в это время в твердом или жидком состоянии — см., однако, предыдущее прим. ред. к сер. XXV.

2427. Хотим мы или не хотим — атомист Фарадей неохотно пользуется молекулярными представлениями.

2432. Обратим внимание на то, что здесь Фарадей не противопоставляет друг другу азот и кислород. См., однако, сер. XXVI и XXVII об атмосферном магнетизме. В отношении остального содержания этого и следующих параграфов (п.п. 2432—2434) см. прим. ред. к п. 2416.

2435. Связаны ли отрицательные результаты . . . с меньшим количеством вещества — изумительно правильное предвидение Фарадея. Каньер де ла Тур — его опыты по критическому состоянию произвели большое впечатление на Фарадея (см. т. I, п.п. 441, 1336; т. II, стр. 401, 436). О самом авторе см. прим. ред. к п. 441 (т. I).

2437. Здесь в первой фразе ударение стоит на слове «безусловно» что видно из начала п. 2438.

2439. Главное затруднение при правильном объяснении диамагнитных явлений, даваемом в предыдущем параграфе, оказывается в мепра-

важном заключении из опыта, что магнитность воздуха не зависит от его плотности. См. 2435 и прим. ред. к нему же.

2443. Относительно «действия смежных частей» и ссылки Фарадея на п. 1161 (т. I) см. в том же томе сер. XIV, особенно п.п. 1680, 1683; в сер. XI прим. к 1164; см. также статью ред. т. I, стр. 762, последний раздел.

Добавление после п. 2453. Бругманс (Brugmans Ant., 1732—1789) — профессор в Гронингене (Голландия); Сэжей (Saigeu Jacques Frederick, 1797—1871) — фабрикант физических приборов (Париж); Зеебен — см. прим. ред. к п. 349.

### *Двадцать вторая серия*

К заглавию, прим. Памяти Бэкера — см. прим. ред. к стр. 241, т. II. Это — вторая лекция памяти Бэкера, прочитанная Фарадеем; первая — см. т. I, серия 2-я.

2456. Здесь Фарадей, очевидно, противопоставляет монокристаллические палочки висмута; во всем последующем «правильно кристаллизованный» означает «монокристаллический».

2464. Здесь и во всем последующем изложении мы пользуемся термином самого Фарадея «магнесталлический». См. об этом ниже, п. 2585.

2467. Силу магнитного поля Фарадей правильно оценивает по периоду колебания в нем магнитной системы; тем же принципом мы пользуемся при магнитометрических измерениях по способу Гаусса.

2469. Плюккер (Pflücker Julius, 1801—1868) — профессор в Галле и Бонне. Его работы по отталкиванию кристаллов относятся к 1847 и сл. годам.

2497. Рейх (Reich Ferdinand, 1799—1882) — одно время профессор в Фрейберге, ранее и позднее — горный администратор, магнитолог.

2503. Позднее Фарадей возвратился к этому опыту и показал, что никакого положительного результата и нельзя было ожидать (см. ниже п. 2572), так как потеря диамагнитных свойств висмутом происходит при температуре, лежащей ниже точки плавления.

2504. Мы бы теперь сказали, что не существует магнито-кристаллического остаточного действия.

2507. Здесь мы видим отголосок некоторого недоверия к единству магнитных явлений, чем бы они ни обуславливались.

2530. Ритчи — см. прим. ред. к п. 265 (т. I). См. там же подстр. прим. к п. 367 и п. 1180. Стекланная нить, как впоследствии выяснилось, обладает некоторым, хотя и слабым, упругим последствием и была в конце XIX века заменена кварцовой по Бойсу.

2532. По поводу поведения висмута и значения отверстий и поверхности полюсов см. п. 2463.

2536. Подстр. прим. Де ла Бич сэр Генри Томас (1796--1855) — геолог, начальник геологической службы в Англии.

2543. Ссылка на п. 2457 ошибочна — там нет речи о легкоплавном металле.

2545. Гален — серпигное железо; лейцит — силикат состава  $KAlSi_3O_8$ ; борацит — минерал сложного состава, с содержанием борной кислоты, магнезии и хлористого магния.

2549. В п. 2290 у некоторых веществ были обнаружены диамагнитные установки, появление которых Фарадей теперь относит к магнесталлическим свойствам этих веществ; в п. 2383 диамагнитные свойства — тоже, может быть, неправильно — приписывались мышьяку.

2550. Мы теперь не говорим ни о магнитных, ни о диамагнитных, ни о магнесталлических *силах*, а о соответствующих *свойствах*.

2558. С меткой — метка часто делалась во время Фарадея на северном полюсе магнита. См. в I т. прим. ред. к п.п. 38, 41 и др. и в особенности собственное примечание Фарадея к п. 44.

2563. Диаметрально — мы бы сказали некоторое определенное или диаметрально ему противоположное. — В кристалле молекулы обращены друг к другу полюсами одинаковой природы — здесь Фарадей, по-видимому, хочет сказать, что кристаллы вообще имеют не ионный, а молекулярный характер.

2568. Можно не согласиться с окончательным заключением этого параграфа.

2577—2582. Магнесталлические свойства могут, с современной точки зрения, обуславливаться либо а) однообразной ориентацией частиц, которые должны в различных направлениях иметь различные свойства, либо б) различной плотностью расположения частиц в разных направлениях. О «силах» мы при этом не говорим.

2582. Конечно, магнесталлические свойства проявляются в виде ориентационных движений только в магнитном поле. Сами они не дают начала какому-либо магнитному полю.

2586, 2587. Поляризация в направлении магнесталлической оси, конечно, имеется, и притом более сильная, чем в других направлениях; однако и ее величина настолько мала, что не вызывает заметного притяжения. См. 2588, 2591.

2590. Силы магнитные и электрические — по поводу последних см. прим. ред. к п. 2195.

2591. Здесь предлагается совершенно правильное, с современной точки зрения, объяснение магнесталлической ориентации. Аналогии со светом не точна; впоследствии Фарадей охотно пользуется термином «магнитная проводимость», которая была бы уместна и в данном

случае. — Инерция и количество движения; Фарадей совершенно правильно указывает, что электромагнитные силы («сила Лорентца») не имеют характера центральных и потому не удовлетворяют по своему направлению 2-му закону Ньютона.

2594. Ставролит — минерал, содержащий железо.

2609. Или электрических — см. прим. ред. к п. 2195.

2614. Даже с тяготением — см. ниже; сер. XXIV.

2624. Полярность частиц, находящихся на концах, усиливается — увеличивается магнитный момент всего тела. Относительно полярности вдоль магнетинокристаллической оси см. прим. ред. к п.п. 2586, 2587.

2625. Опыты этого параграфа внушают сомнение: в совершенно равномерном поле и железный стержень не должен поворачиваться; поскольку он поворачивается, так же должен себя вести и висмутовый стержень — в другом направлении и с гораздо меньшей силой.

2626, 2627. См. прим. ред. к п. 2624 (в начале). — Висмут также влияет на расположение силовых линий, но во много раз слабее. Впоследствии Фарадей пришел к тому же заключению (см., напр., п. 2831 и особенно рис. 202).

#### *Двадцать третья серия*

2640. Вебер (Weber Wilhelm Eduard, 1804—1891) — профессор в Геттингене, большой специалист по электрическим измерениям.

2650. Времени — см. прим. ред. к п. 2332.

2651. Румкорф (собственно Ромкорф) (Ruhmkorff, 1812—1877) — известный механик и фабрикант физических приборов («катушка Румкорфа»).

2658—2663. Подробное исследование влияния подразделения сердечника на возникающие в нем индукционные токи — первое указание на столь обыкновенно применяемый теперь прием в альтернаторах, трансформаторах и т. п.

2662. Дове (Dove Heinrich Wilhelm, 1803—1879) — физик и метеоролог в Берлине, директор Прусской метеорологической сети. Цитируемая работа относится к 1841 году.

2669. Несомненное предвидение установленного значительно позже факта, что в течение первых альтернаций тока вокруг железного сердечника кривая гистерезиса постепенно изменяется до некоторой оковчателной формы.

2672 и сл. Вопросу о правильном положении коммутатора и о том, что мы ныне называем реакцией якоря, посвящено обстоятельное исследование Э. Х. Ленца (см. его «Избранные труды». Изд. АН СССР, М.—Л., 1950, стр. 159).

*Двадцать четвертая серия*

2703. Двойственной, или антитетической природы — Фарадей имеет в виду существование в электричестве и магнетизме двух противоположных полярностей. — Более отчетливо основное предположение Фарадея изложено в п. 2704.

2705. Способ. . . не содержал в себе, по-видимому, никакого источника ошибки — можно было представить себе, что при малости ожидаемого эффекта уже могло бы проявиться изменение магнитного поля от точки к точке.

*Двадцать пятая серия*

2720. Банкалари (Bancalari Michele Alberto, род. 1805) — профессор в Генуе. — См. упоминание о нем и о диамагнетизме газов в более ранней статье Фарадея (дек. 1847 г.) о диамагнитных свойствах пламени и газов (наст. том, стр. 644) и в статье Дзантедески (наст. том, стр. 674), относящейся к октябрю 1847 г.

2722. Что такое истинная нулевая точка — напоминаем, что в XXI серии Фарадей очень беспоконила мысль о том, какому веществу следует приписать полное отсутствие магнитных свойств. Догадка о том, что им должна отличаться пустота, казалась ему недостаточно обоснованной. См., однако, п. 2435 и прим. ред. к нему.

2723. Саут (South James, 1785—1867) — хирург; занимался наукой как частный человек.

2724. Вследствие отклонения — по всей вероятности, Фарадей имеет в виду диффракцию.

2738. Пламя, дым, висмут и другие диамагнитные вещества — Фарадей прежде отрицал наличие магнитных свойств у газов, но после работ Банкалари, Дзантедески и своих дополнительных исследований изменил свое мнение (см. прим. ред. к п. 2722).

2739. Ключи. . . были сделаны из дерева — чтобы при прикосновении к ним рук теплота последних не передавалась теплопроводностью камере.

2747. Рэдвуд (Redwood Theophilus, род. 1808) — химик при Великобританском фармацевтическом об-ве. Судя по описанию, магнитная цепь у этого прибора была устроена, с современной точки зрения, более рационально. Полезно вспомнить, что само понятие о магнитной цепи было создано только через 40 лет после трудов Фарадея; первые научные изыскания в этом направлении принадлежат нашим соотечественникам Э. Х. Ленцу и Б. С. Якоби (см. Э. Ленц. Избран-

ные труды. Изд. АН СССР, М.—Л., 1950). — 72 кв. дюйма — пластинка действует обеими своими сторонами.

2753. Стационарных потоков в описанных условиях возникнуть не может, хотя бы за отсутствием источника энергии для их поддержания. См. также п. 2755

2759. Новейшие рецепты жидкости для мыльных пузырей — см., напр., в книге Ч. Бойса «Мыльные пузыри». Научн. книгоиздат., Птг., 1919. Прочие предосторожности, указываемые Фарадеем, сохраняют значение и ныне.

2778. Магнитные свойства должны ослабляться. . . в соответствии с тем, насколько оно разряжено — см. более раннее упоминание об этом в п. 2435 (см. также прим. ред. к этому п.).

2781. Стремление внутрь. . . пропорционально плотности — ныне точно установленное правило.

2784. Азот оказывается . . . не магнитным и не диамагнитным — по современным точным измерениям азот диамагнитен.

2789. Здесь, едва ли не в последний раз, Фарадей делит все вещества на два разряда: магнитных и диамагнитных. См. следующий параграф.

2792. Приведем здесь табличку магнитных проницаемостей тех паров и газов, которые здесь перечисляет Фарадей, по приняемым ныне величинам ( $\delta$  — плотность,  $\mu$  — проницаемость)  $\frac{\mu - 1}{4\pi\delta} = \chi$  — восприимчивость, отнесенная к 1 г.

Газ	$\chi \cdot 10^6$	Газ	$\chi \cdot 10^6$
Хлор	-0.59	Маслородный газ (этилен)	-1.6
Бром	-0.40—0.46	Закись азота	-0.43
Циан	-0.415	Окись азота при 19°C	+49.07
Азот	-0.342	Пары азотной кислоты	-0.47
Водород	-1.98	Соляная кислота	-0.66
Углекислота	-0.46	Серная кислота	-0.44
Окись углерода	-0.35	Сероуглерод	-0.54
Аммиак	-1.1		

2796. Намечаемая здесь задача об исследовании атмосферного магнетизма решается Фарадеем в сериях XXVI и XXVII. Предварительное сообщение см. в настоящем томе, стр. 118.

*Двадцать шестая серия*

2797. То, что Фарадей называет здесь и далее «способностью проводить магнетизм» или еще «магнитной проводимостью», полностью сохраняет свое значение и ныне под именем «магнитной проницаемости». Напомним,

что в законах магнитной цепи эта величина выступает аналогом электропроводности в цепи тока.

2803. Здесь Фарадей стоит еще на той точке зрения, что молекулярные токи в пара- и диамагнитных телах имеют противоположные направления. Впоследствии он склонился ко второй из предложенных здесь гипотез; они различаются не направлением, а только силой.

2809. По представлению Фарадея, вполне принятому и в современной науке, силовой поток, проходящий через какое-нибудь сечение некоторой силовой трубки, остается постоянным по всей длине последней. Изумительно, как все эти представления выработаны Фарадеем без помощи какого бы то ни было математического аппарата. — Железо, кобальт и никель Фарадей относит к классу парамагнитных тел. Термин «ферромагнитных тел» был создан значительно позже.

2811, 2812. Вносимое в равномерное поле тело с *слабо* выраженными пара- и диамагнитными свойствами нарушает равномерность, чем объясняются ориентационные явления в поле, ранее бывшем равномерным.

2814. Рассуждение этого параграфа сродни воззрению Фарадея, что силовые линии растянуты в продольном и сжаты в поперечном направлении.

2815. Напомним, что ранее Фарадей отрицал наличие таких сил между диамагнитными телами и магнитном поле.

2818. Так как «полярность проводимости» Фарадей связывает здесь и в дальнейшем с полпризацией тел в магнитном поле, то это понятие очень близко к современной «восприимчивости».

2819. Существует ли полярное притяжение. . . это еще неизвестно — нам представляется, что это утверждение находится в противоречии с данными п. 2815.

2832. Здесь Фарадей впервые дает объяснение, с точки зрения теории поля, тому различию, которое проявляется между постоянным магнитом и намагничиваемым мягким железом, т. е. дает некоторое истолкование явлению остаточного магнетизма.

2833. Мы теперь пишем уравнение для магнитной цепи в предположении полной пропорциональности между магнитным потоком, с одной стороны, и магнитодвижущей силой — с другой, что не соответствует утверждениям Фарадея в этом параграфе. Нам неизвестно, откуда Фарадей взял фактическое обоснование для этих утверждений.

2837. Даваемое здесь определение магнетокристаллических свойств далеко превосходит по точности все предыдущие.

2846. Один из важнейших пунктов учения Фарадея о магнетизме, лежащий в основе параллельной трактовки электростатической и магнитной индукции.

2847. Зеебек — см. прим. ред. к п. 349. Любопытно, что сам он давал своему открытию неправильное толкование и упорно называл откры-

тое им явление термомагнетизмом. — Кэмминг (Cumming James, 1777—1861) — химик и магнитолог (Кембридж); много работ по термоэлектричеству. — Гумбольдт — см. прим. ред. к п. 358 (т. I). — Ганстен (Hansteen Christopher, 1784—1873) — норвежский магнитолог; путешествовал по Сибири. — Гаусс (Gauss Carl Friedrich, 1777—1855) — один из величайших математиков всех времен; здесь Фарадей имеет в виду его магнитологические работы (кроме теоретических — еще «способ Гаусса»).

2848. Многие... непроводниками электрического тока — для вопроса о магнетизме Земли эта сторона дела не имеет значения, если только не приписывать этот магнетизм круговым токам по параллелям.

2850. Гей-Люссак — см. прим. ред. к п. 741 (т. I). Бю — см. прим. ред. к п. 486 (т. I). В истории воздухоплавания знаменит подъем атих выдающихся ученых в 1804 г.

2851. Подозреваемая Фарадеем зависимость магнитной проницаемости вакуума от температуры неизвестна и вряд ли возможна.

2852. На дне этой-то атмосферы — выражение, впервые употребленное Торичелли.

2858. После 1894 г. (Рэлей и Рэмсей) мы знаем, что это была смесь азота с аргоном.

2864. Прюгт (Prout William, 1786—1850) — автор знаменитой гипотезы о составе атомов из водорода. Цитируемая работа относится, по всей вероятности, к 1818 г.

2865. О рис. 203 см. ниже, прим. ред. к п. 2866.

2866. Количество силы — силовой поток (поток индукции). Рис. 203 изображает ход силового потока не так, как мы вычисляем его в настоящее время, а именно: внутри резко ограниченного шара с однородными магнитными свойствами, внесенного в равномерное (до внесения) неограниченное поле, поток должен быть равномерен, что несколько изменяет последующие рассуждения как этого, так и последующего параграфа. Впрочем, в газовом шаре, не равномерном по свойствам и с неравными границами, дело опять изменяется.

2870, 2871. Как отмечалось уже в комментариях к I тому, во времена Фарадея экспериментаторы плохо представляли себе различие между количеством (=зарядом) и напряжением (=потенциалом). См., напр., т. I, стр. 734 и п.п. 360 (прим. 1) и 1370; в последнем напряжении мыслится, по-видимому, как поляризация частиц. С современной точки зрения, в п.п. 2870 и 2871 сказываются различия между напряженностью, с одной стороны, и индукцией — с другой.

2872. Кажущееся уменьшение интенсивности здесь будет... больше — как было отмечено в прим. ред. к п. 2866, оно будет, по всей вероятности, почти одинаково во всем объеме шара другой плотности.

2874. Как известно, шар, магнитной проницаемостью отличающийся от окружающей среды, в равномерном поле эквивалентен некоторому диполю в центре шара — для всех точек, внешних по отношению к шару. Соответственно этому легко по расположению силовых линий диполя составить себе понятие об отклоняющем действии поляризованного шара.

2877. К рис. 204 и 205 относятся те же замечания, которые были сделаны и рис. 203 (см. прим. ред. к п. 2866): поле внутри двух шаров должно быть равномерным; на модели рис. 204 силовые линии должны быть гуще, а на рис. 205 — реже, чем во внешнем невозмущенном поле. — В известной мере действие шаров можно изобразить с помощью магнита — см. прим. ред. к п. 2874. Последующее ограничение связано с колебаниями Фарадея в признании полярности у тел, пронизываемых магнитным потоком.

2886. При охлаждении кислорода его парамагнитные свойства увеличиваются быстрее, чем изменяется температура — теперь этого предположения не делают.

2891. Сэбайн (Sæbain Edward, 1788—1883) — выдающийся исследователь, главным образом по вопросам земного магнетизма, а также ускорения силы тяжести и др.

2894. Здесь опять некотороа произвольное предположение о температурной зависимости проницаемости кислорода. По теории Клаузиуса—Моссотти эта зависимость имеет вид

$$\frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 2} \sim p,$$

а при малом  $\mu$ ,  $\mu - 1 \sim p$ , независимо от того, чем вызываются изменения  $p$ . Как известно, теория для газов удовлетворительно изображает результаты опыта. Коэффициент пропорциональности в формуле Клаузиуса—Моссотти, зависящий от восприимчивости, от температуры не зависит.

2896. Гобартон — на острове Тасмания, к югу от Австралии.

2897. *Здесь и во всех последующих параграфах, где это особо не оговорено, время ведется по астрономическому счету: ноль в полдень. Для перевода на наш обычный час к цифрам Ф. следует прибавить 12 час.*

2901. Свобода подвешенной — могущей совершать любое движение вокруг своего центра.

2905. Торонто — в Канаде, на северном берегу оз. Онтарио.

2913. Оз. Атабаска — в сев.-вост. части Канады.

2914. Форт Симпсон — там же, на р. Макензи.

2921. Стрелка, способная двигаться в любом направлении — см. прим. ред. к п. 2901.

2933. Напоминаем, что во всем произведении Фарадея мы при переводе сохранили предложенный им термин «удельная индуктивная способность»

вместо принимаемой ныне «диэлектрической проницаемости» или «диэлектрической постоянной».

2937. Изменения происходят в таком температурном интервале, который, вероятно, является более активным — мы сейчас по видимому типу интервала.

2941. Броун (Brown John Allen, 1817—1879) — директор Магнитной обсерватории в Мейкерстоуне (Австралия) (1842—1851), Индии (1851—1879); чл. Лоял. кор. об-ва. Упоминаемая здесь работа (Пер. Brit. Ass.) относится к 1847 г.

2946. Все неправильности... поддаются исключению, если брать (многолетние) средние — и ныне при наблюдаемых малых вариациях мы пользуемся тем же приемом.

2954. Приливы и отливы в воздухе... должны оказывать влияние... слишком незначительное —; это подтверждено позднейшими исследованиями.

2957. Будет установлена связь между сиянием и атмосферными (магнитными) изменениями — как известно, такая связь установлена теорией, отождествляющей полярное сияние со свечением газов атмосферы под влиянием вторгающихся в последнюю потоков электронов; объяснен и поставленный здесь вопрос о причине сияний главным образом в приполярных странах.

2958. Возмущения в одном месте будут в то же мгновение опущаться на всем земном шаре — конечно, с запазданием на время распространения ( $\tau = \frac{c}{x}$ ). Оно не превосходит однако на земле  $\frac{1}{15}$  сек.

2961. О полете Био и Гей-Люссака уже упоминалось в п. 2850. См. прим. ред. к этому параграфу. — Купфер Адольф Теодор (1799—1865) — выдающийся русский метролог, метеоролог, магнитолог, академик. — Форбс (Forbes James David, 1809—1868) — профессор в Эдинбурге, физик и магнитолог; упоминаемая здесь работа относится к 1840 г.

2962. Бессель (Bessel Friedrich Wilhelm, 1784—1846) — профессор в Кенигсберге, академик в Берлине, выдающийся астроном, геодезист, гравиметрист, громадное количество работ по всем этим отраслям.

*Двадцать седьмая—двадцать девятая серии*

Стр. 451. Магнитное поле земного шара приблизительно таково, как если бы в центре его был расположен весьма малый диполь с моментом  $3.06 \cdot 10^{25}$  CGSM.

3189. Кристи — см. «Эксп. иссл.», т. I, прим. ред. к п. 44.

3238. Д-р Роже (Roget Peter Mark, 1779—1869) — английский врач.

## СТАТЬЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

*Мысли о лучевых колебаниях*

Стр. 618. Филлипс (Phillips Richard) — см. «Эксп. иссл.», т. II, прим. ред. к стр. 288.

*О диаманитных свойствах пламени и газов*

Стр. 644. Дзантедески (Зантедески) (Zantedeschi, 1797—1873) — физик в Падуе. Бавкалари — см. прим. к п. 2720.

Стр. 675. Вунзен (Wunzen Robert Wilhelm, 1811—1899) — немецкий химик.

*Соображения о магнитной силе*

Стр. 683. Лоджеман (Logeman Willem Martinus, род. 1821) — голландский мастер, изготовлявший физические приборы.

*Об электрической индукции — случаи одновременного влияния токов и зарядов*

Стр. 708. Печатающий телеграф Бэна — электрохимический телеграф.

*Гипотезы о магнетизме*

Стр. 715. Д-р Франкленд (Frankland, род. 1825) — английский химик.

*О некоторых вопросах учения о магнетизме и о природе сил*

Стр. 751, п. 3338. Элкингтон (Elkington, 1801—1865) — английский промышленник.

## ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Амлер* 2200, 2229, 2239, 2341, 2430, 2788, 3266, 3269, 3273, 3301, 3304, 3307, 3308, стр. 618, 715—717, 726
- Андерсон* 2151 сноска
- Араго* 2341, 2847, 3174, 3304, 3340, стр. 682, 719
- Аскин* 2358, стр. 615
- Банжалари* 2720, стр. 644, 647, 671, 672, 674, 678
- Беккерель* 2349, 3308, стр. 45 сноска, 46, 302 сноска, 303 сноска, 632, 633, 635, 640—643
- Белли* стр. 674, 675
- Бентлей* 3305 сноска, стр. 695, 718
- Вертье* 2372
- Верцелиус* стр. 715
- Вессель* 2962
- Вино* 2850, 2961, 2962
- Воскович* стр. 620
- Браун* 2941
- Бругманс* стр. 118
- Бунзен* стр. 675
- Бабедж* 2341
- Вэн* стр. 708, 781, 783
- Ван Рис* 3302, 3360
- Вартман* 2147
- Вебер* 2640, 2641, 2646, 2654, 2689, 2693, 2694, 2718, 3307, 3308, стр. 716, 717
- Воластон* 2371, 2379, 2382, 2387
- Вольта* стр. 713, 714
- Ганстен* 2847
- Гаррис* 3075
- Гаусс* 2847, стр. 451
- Гаццанига* стр. 678
- Гей-Люссаж* 2850, 2961, 2962
- Генри* 3338
- Гершель* 2341
- Гонкель* стр. 706
- Гров* стр. 669
- Гумбольдт* 2847, 2958, 2962
- Де ла Бич* 2536 сноска
- Де ла Рив* 2308 сноска, 3045, 3307, стр. 301 сноска, 672, 716—718
- Джест* стр. 675, 677 сноска
- Джонсон* 2371, 2379, 2382, 2385, 2386, 2387
- Двантедески* стр. 644, 645, 647, 672, 674
- Дог* 2662, 2880, 2949, 3032, 3003
- Дэви* 2221 сноска, 3286, стр. 715
- Дюфе* 2281
- Зеебек* стр. 118, 302 сноска

- Каньяр де ла Тур* 2435  
*Кларк* стр. 696, 708, 712, 781, 785, 786  
*Кноблауз* стр. 7, 296 сноска  
*Копь* стр. 705 сноска  
*Корбе* стр. 675  
*Кристи* 2221, 2963, 3189 сноска, 3203 сноска, стр. 301 сноска  
*Кулон* 3075, 3302, 3307, стр. 45 сноска, 633, 643 сноска, 710, 715, 784  
*Купфер* 2961  
*Камминг* стр. 302 сноска  
*Ла Байи* 2308 сноска, стр. 118, 793  
*Либиз* стр. 705 сноска, 706  
*Лоджмен* 3352, 3358, стр. 683, 686, 690  
*Маршан* стр. 7  
*Маттеучи* 3307, 3308, 3340  
*Меллони* стр. 781—784, 787  
*Моррикини* 2221 сноска  
*Моссотти* стр. 623  
*Нобили* стр. 523 сноска  
*Ньютон* 3305, 3317, стр. 718  
*О'Митчелль* стр. 706  
*Пельтье* стр. 642 сноска  
*Перси* 3240, стр. 615  
*Плаоккер* 2469, 2497, 2560, 2592, 2594, 2605, 2607—2610, 2633, 2640, 2691, 2718, 2722, 2730, 2755, 2836, 3253, стр. 296 сноска, 689, 690, 693, 694  
*Прют* 2864  
*Пуассон* 715, 784  
*Рейх* 2497, 2640, 2654, 2689, 2693, 2718  
*Риттер* стр. 713  
*Ритчи* 2530  
*Роже* 3238  
*Румкорф* 2651, 3086, 3123, 3207, 3338, 3352, стр. 708  
*Роведуд* 2747  
*Саут* 2723  
*Сименс* стр. 712  
*Скоресби* 3223, 3224  
*Статсман* стр. 696, 698  
*Сабайн* 2192, 2847, 2891, 2896, 2905, 2909, 2947, 2949, 2963, 3007, 3027—3030, 3045, 3049, 3055, стр. 378  
*Сэжей* стр. 118  
*Тейлор* стр. 644, 674  
*Теннант* 2177, 2536 сноска<sup>1</sup>  
*Тиндаль* 3308, 3310, стр. 7, 296 сноска<sup>1</sup>  
*Томсон У.* 3302, 3308, 3320, 3321, стр. 8  
*Уаррингтон* 2374  
*Уитстон* стр. 45, 618, 704, 705, 723  
*Уокер* стр. 705  
*Фиво* стр. 706, 708  
*Филлипс* стр. 618, 625, 626, 678, 681  
*Форбе* 2961  
*Франкленд* стр. 715  
*Фуко* 3304  
*Фурье* 3302  
*Цамбр* стр. 675  
*Шеерер* стр. 7  
*Эйлер* 3263 сноска, 3301 сноска, 3305, 3317  
*Элиас* стр. 683  
*Эллиот* 3058 сноска  
*Элькинотон* 3338  
*Эрстед* 3269, стр. 715

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Азот**, магнитные свойства его  
2770, 2783, 2854, 2858
- Аксальное и экваториальное**  
направления 2252
- Атмосфера**, вероятные действия  
ее 2864, 2917, 2920, 2934,  
2997
- магнитные свойства ее 2853,  
2863, 2963
- Атмосферный магнетизм** 2453,  
2796, 2847, 2997, стр. 450
- влияние нагретого воздуха  
2877, 2939, 3240
- влиянию охлажденного воз-  
духа 2864, 2917, 3003, 3240
- годовал вариация 2882,  
2947, 3001
- законы его действия 2969
- *изменения* благодаря ветру  
2954
- — по высоте 2878, 2941
- — от давления 2952
- — от дождя или снега 2955
- общие принципы 2997, 2917,  
2878
- *суточная вариация* 2892,  
2920, 3000
- — ночью 3002
- экспериментальные аналогии  
2969, 2997
- Бурь магнитные** 2958
- Вакуум**, в трубе, помещенной  
в воду 2412
- магнитные свойства его 2770,  
2786, 3277
- нулевая точка магнетизма  
стр. 642, 672
- Вариация** годовая 2882, 2920
- суточная 2892, 2920
- Вечное движение**, если висмут  
полярзуется обратно 3320
- Взаимные магнитные действия**  
тел 2814
- Взрывы с помощью электри-**  
чества — фитиль, стр. 711
- Висмут**, движение его около  
магнита 2297, 2308
- диамагнитное вещество 2295
- *жидкий*, подверженный дей-  
ствию магнетизма 2502, 2572
- магнекристаллическое дейст-  
вие его 2454
- *около магнита*, в виде порошка  
2302, 2304
- — в различных средах 2301
- — два куска, *невзаимодей-*  
*ствуют* 2303
- — окружен железом 2301
- статическое магнитное его со-  
стояние 3319

- Висмут, магнитная полярность его* 3309
- *предполагаемая обратной железу* 3310
  - — приводить к заключению о четырех родах магнетизма 3311
  - — — приводить к противоречивым заключениям 3311
  - — — приводить к идее о вечном движении 3320
  - такая же, как железа и меди 3164, 3168
  - такая же, как обыкновенного магнита 3358
- Висмутые кристаллы действие их на магнит* 2567
- и магнитная сила Земли 2581
  - не магнекристалличны, когда нагреты 2570
  - не удерживают магнитные силы 2504
  - не обнаруживают взаимного влияния 2582
  - *положение их в магнитном поле* 2475, 2480, 2574, 2840
  - — *влияние железа* 2487
  - — — магнитов 2491
  - форма и скалывание 2475
- Висмутовый шарик вращающийся* 3354, стр. 774
- Воздух, действие на него магнитов* 2400, 2432
- неразделимость посредством магнетизма стр. 667
  - притягиваемый в воде 2406
- Воздух, его магнитный характер* 2791, 2853, стр. 656, 667
- подвергаемый нагреванию 2855, 2859, стр. 651, 667
- Вопросы теории магнетизма* 3300, стр. 770
- Вращение луча света магнетизмом* 2154
- Время, влияние его в магнитной индукции* 2170, 2650, 2688
- в магнитном вращении света стр. 643
  - в случаях железа и висмута 3319
- Время, необходимое для развития магнетизма* 2332, 3319, стр. 643
- Газы, азот* стр. 656, 663, 665, 667
- аммиак, стр. 659, 667
  - брома пары стр. 660
  - влияние нагревания на их магнитные свойства 2855, стр. 667
  - водород стр. 657, 663, 664, 668
  - — нагретый стр. 668
  - газообразная азотистая [кислота стр. 659
  - газ сернистой кислоты стр. 659
  - действие магнитов на них 2400, 2432
  - закись азота стр. 658, 661, 663
  - код стр. 660
  - подистоводородная кислота стр. 659
  - кислород стр. 656, 663, 665, 668
  - — нагретый стр. 668
  - магнитное поведение их 2785, 2792, стр. 644
  - магнитные свойства их стр. 653, 661
  - маслородный газ стр. 659, 667
  - не расширяются под влиянием магнетизма 2718, 2750, 2756
  - окись азота стр. 658
  - окись углерода стр. 658, 663
  - отсутствие в них магнитного вращення света 2186
  - светильный газ стр. 659, 665

- — нагретый стр. 669
- соляная кислота стр. 659, 668
- улекислота стр. 657, 663
- — нагретая 667
- хлор стр. 660
- циан стр. 660
- Газы испытанные в магнитном поле* 2723, 2728, 2734, 2770
- в закрытом сосуде 2730, 2737, 2743, 2749
- водород в воздухе 2740
- в мыльных пузырях 2758, 2765
- никаких потоков 2754
- с помощью световых лучей 2723
- Гальванометр с толстой проволокой* 3123, 3137, 3178
- влияние на него некоторых обстоятельств 3124, 3179
- контакты 3126
- цена его показаний 3184
- Гипотезы о магнитной силе 3301, 3303, стр. 715 .
- Гобартон, вариации магнитного поля Земли 2896, 2948, 3027
- Годовая вариация 2882, 2947
- Гринвич, вариации магнитного поля земли 2911, 3018
- Гуттаперча, ее использование в электричестве стр. 678
- Движущиеся магнитные среды* 3159, 3337, 3351
- Движущиеся проводники* 3076, 3159, 3351 3360
- в магнитном поле 3270
- Движущиеся проволоки, их значение как средство испытания* 3176
- магнитные показания их стр. 613
- результаты 3338
- Двойственности магнитные 3323, 3341, стр. 771
- Двойственности электрические* стр. 770
- их равенство стр. 771
- Двойственные силы* стр. 610
- всегда равны и зависимы 3324
- Действие, рассматриваемое на некотором расстоянии стр. 770
- Дзентедески о движении пламен под влиянием магнетизма стр. 674
- Диамagnetизм 2243, 2417
- Диамagnetная полярность* 2249
- испытание ее, влияние времени 2681
- — зависимость от скорости 2861
- — по ее действию при движении туда и обратно 2640, 2665
- — путем подразделения 2658
- — — на кружки 2659, 2661
- — — на проволоки 2659, 2662
- — с помощью катушек 2668
- — с помощью образующихся индукционных токов 2655, 2663
- — укороченном сердечника 2657
- природа ее 2497, 2640, 2820
- Диамagnetная полярность, сомнительность предполагаемых доказательств* 2689, 3311, 3320
- Диамagnetная сила, зависимость от расстояния стр. 691
- Диамagnetная установка направления 2258, 2282
- Диамagnetное действие, его природа 2417, 2427

- Диаманитные вещества* 2275,  
2279  
— висмут 2295  
— действие на них магнитов 2275  
— жидкости 2279  
— металлы 2291, 2295, 2425  
— *подвешивание их* 2248  
— — предосторожности 2250  
— раздробление их 2283, 2302  
— список их 2280, 2399  
— сурьма 2295  
— фосфор 2277, 2284
- Диаманитные движения* 2253,  
2257, 2259, 2271
- Диаманитные и парамагнитные тела, их различие* стр. 632
- Диаманитные кривые* 2270
- Диаманитные свойства пламен и газов* стр. 644, 670  
— дымов 648, 670
- Диаманитные тела, определение* 2149, 2790
- Диаманитный порядок степени* 2284, 2307, 2399
- Диски металлические, } вращающиеся поперек линий сил* 3159, 3167  
— из непроводников 3171
- Дифференциальное магнитное действие* 2361, 2422, 2757, 2405, 3298, 3316
- Дым, диаманитные свойства его* стр. 647, 670
- Единство сил природы** 2702
- Железо, медь, висмут имеют одинаковую полярность** 3164, 3168, 3356, стр. 774
- Железо, пагретое магнитно** 2344
- Жидкости, магнитное вращение света в них* 2183  
— нерасширение их в магнитном поле 2172
- Закон магнекристаллического действия** 2479, 2464
- Закон магнитного вращения света** 2155, 2160, 2175, 2200
- Закон обратного квадрата расстояний** стр. 689
- Закон электрического вращения света** 2199
- Земли внутренность, ее магнитное состояние* стр. 618
- Земли магнитная сила, изменения направления ее* 2874  
— распределение ее 2849
- Земли магнитные действия* 2447  
— на экваторе и полюсах 2449
- Известковый шпат и магниты** 2595, 2660, 2842
- Изображение линий магнитной силы** 3234
- Изоляция гуттаперчей** стр. 679
- Изоляция и проводимость связаны между собой** стр. 703
- Индукция зависит от смежных частей** 2240
- Индукция и проводимость связаны между собой** стр. 703
- Индукция магнитоэлектрических токов** 3087, 3270
- Индукция электрическая** стр. 695
- Индукционные магнитоэлектрические токи* 2327, 2528  
— сила их 2514 сноски
- Искривление линий магнитной силы** 3323, 3336
- Камера без магнитного действия** 3341  
— со слабым магнитным действием 3344, 3347, 3350

- Катушки для исследования действия электричества на свет 2190, 2213
- Кислород, его магнитные свойства 2770, 2780, 2793, 2861, 2966, стр. 656
- Кислородные пузыри магнитны 2766
- Количество и напряжение стр. 710
- Кобальт нагретый, его магнитное состояние стр. 616
- Кристаллическая полярность висмута* 2457
- исландского шпата 2594
  - красной кровяной соли 2560
  - мышьяка 2532
  - различных тел 2535
  - солей 2547
  - сульфата железа 2546, 2554
  - сурьмы 2508
- Кристаллические частицы в растворе, их взаимодействия 2578
- Кристаллы, магнитное вращение света в них 2177
- Кровь диамагнитное вещество 2281, 2285
- Круговая поляризация магнитная* 2230
- существенно отличается от естественной 2231
- Крутильные весы для магнитных наблюдений стр. 683
- Линии земной магнитной силы* 2849
- количество их и интенсивность 2870
  - распределение их в атмосфере 2865, 2919
- Линии сил* 3245, стр. 622
- динамического электричества 3276
  - электрической силы 2149
- Линии сил физические* 3303, стр. 607, 770, 775
- магнетизма 3303, стр. 607, 612, 694, 719
  - света стр. 609
  - электричества стр. 610
  - лучевые колебания стр. 618
- Магнекристаллическая полярность* 2454, 2550, 2624, 2639
- Магнекристаллическая проводимость* 2836
- Магнекристаллическая сила* 2469, 2550, 2585, 2836
- закон ее 2479
  - невозможность измерения ее на основании колебаний 2529
  - природа ее 2562, 2576, 2624, 2836
  - сравнение ее с силой излучения 2591
- Магнекристаллическое действие* 2454, 2479, 2550
- не связано ни с притяжением, ни с отталкиванием 2551
- Магнетизм атмосферный* 2796, 2847, 2997, стр. 450
- испытание на него 2290
  - не изменяет объемов тел 2752
  - не расширяет газы 2718, 2750, 2756
  - нулевая точка его стр. 642, 672
  - поперечный стр. 633, 641
  - электричество и свет, случаи отсутствия их взаимодействия 2216
- Магнит Лоджмена стр. 683
- Магнит в виде трубки, особенности его* 3346

- внешнее распределение его силы 3305, 3332, 3336, 3361
- внутреннее его строение 3317
- исследование его с помощью индукционных токов 3177, 3215
- — соединенного с другими магнитами 3215
- независимое состояние его 3331, 3336, 3357, 3361
- отношение его к окружающему пространству 3278, 3284
- силовые линии в нем 3100, 3116, 3120
- — вокруг него 3099, 3101, 3117
- физические состояния его 3257, 3273
- шарообразный, состояние его 3331, 3357, стр. 775
- Магнитная камера без силы 3341, стр. 772
- Магнитная полярность 3304, 3307, 3360
- висмута 3354, 3309
- — не обратна магниту 3358
- в поле равной силы 3157
- — не обнаруживается с помощью магнитной стрелки 3157
- железа 3356
- истинный случай противоположной 3321, 3357
- меди 3352
- не всегда проявляется в притяжениях и отталкиваниях 3155
- обнаруживается вращающимся кружком 3159
- обнаруживается вращающимися шариками 3360, стр. 774
- обнаруживается с помощью индукционных токов 3156, 3158, 3164
- определение 3154
- похожа в железе, меди, висмуте и пр. 3164, 3356
- природа ее 2832, 3154
- различные понимания и толкования 3307
- разных растворов 3316
- твердого магнита 3357
- твердой стали 3355
- Магнитная проводимость 2797, 2843, 3281
- полярность ее 2818, 2835, 3166, 3307
- Магнитная сила, действие ее в различных направлениях 3328
- зависимость от расстояния стр. 691
- линий ее 3300
- наблюдения ее стр. 682
- необходимость рассмотреть их вновь 3305
- никогда не бывает одиночной 3277
- отношение ее к свету 2221
- отсутствие потерь ее с расстоянием 3111
- расположение ее 3305
- физическая природа ее 3301, 3303
- Магнитная стрелка не является совершенной мерой силы земного магнетизма 2871
- ненадежна в своих показаниях 3280, 3293
- Магнитная шкала, стогоградусная стр. 687
- Магнитная шкала тел стр. 688
- Магнитное влияние раздробления стр. 638

- Магнитное вращение света* во вращающихся телах 2187, 2235
- в разных телах вообще 2173, 2489, 2215, 2609
  - в тяжелом стекле 2152, 2171
  - жидких тел 2183, 2194
  - законы его 2155, 2160, 2175, 2200
  - кристаллических тел 2177, 2237, стр. 631
  - не подвержено влиянию движения 2166
  - — внесения сильно диамагнитных тел 2167
  - особенности его 2231
  - отношение ко времени 2170, стр. 643
  - отсутствие его в газах 2186, 2212, 2237, стр. 630
  - подвержено влиянию внесения железа 2168
  - при повторных отражениях стр. 627
  - происходит с разными телами 2165, 2173
  - увеличивается в диамагнитных телах 2163
  - — с интенсивностью магнитной силы 2164
- Магнитное действие* дифференциальное 2365, 2405, 2438, 2757
- Земля 2447
  - места, лишенные его 3341
  - места слабой силы 3344, 3347, 3350, стр. 772
  - — висмут помещен туда 3350
  - на медь и пр. 2309, 2333
  - на разных расстояниях стр. 690
  - новое 2243, 2343, 2417
  - с помощью смежных частей 2443
- Магнитное отвлечение 2315, 2336, 2514, 2516, 2684
- Магнитное поле*, нарушение его благодаря проводимости 2806, 2831
- равных сил 2463, 2465
  - состояние металлов в нем 3172
- Магнитное притяжение и отталкивание, их физическая причина 3280
- Магнитное состояние требует промоя для своего установления 3319, стр. 643
- Магнитные бури 2958
- Магнитные вариации Земли 2847, стр. 455
- Магнитные двойственности* 3257, 3323, 3341, стр. 770
- не связаны через магниты 3332, 3260, стр. 773
  - никогда не бывает в одиночестве 3257, стр. 770
  - отношение их к кривым линиям 3258, 3336, стр. 773
- Магнитные и электрические силы, их соотношение 3265
- Магнитные кривые, изображение 3234
- Магнитные линии сил* 2149, 3070, 3122, 3174, 3243, 3300, стр. 770
- влияние масс 3137, 3150
  - вокруг электрического тока 3239
  - в разных средах 3292
  - действительное изображение их природы 3074, 3122, 3174, 3243
  - достаточность 3273
  - единица 3122
  - изображение их 3234
  - и проводники в различных плоскостях 3140

- — различной толщины 3133, 3141, 3191, 3203
- — различных веществ 3143, 3152
- как замкнутые токи 3117, 3230, 3264
- магнита и вращающейся проволоки, влияние времени 3104, 3114, 3135
- — — расстояния 3107, 3109, 3111
- — — скорости 3108, 3114, 3135
- — — вместе 3084, 3091, 3095
- — — раздельно 3094, 3095, 3097, 3106
- обнаружение их с помощью движущихся проводников 3270
- определение их 3071
- определенный характер их 3073, 3103, 3109, 3121, 3129, 3165, 3199, 3232
- полярность их 3072, 3154, 3157
- преломление их 3274
- противоположных магнитов 3233
- путь их через один или более магнитов 3230
- распознавание их 3076
- — по индукции токов 3077, 3083, 3123, 3159, 3177
- — гальванометром с толстой проволокой 3123, 3178
- — — преимущества 3078, 3115, 3116, 3156, 3176, 3280
- распределение внутри магнита 3084, 3116, 3120, 3273
- распределение в пространстве 3084, 3099, 3129, 3274
- сгущение их 3275
- соединенных магнитов, не увеличиваются в силе 3227
- — сливаются 3226
- состояние натяжения 3269
- физическая природа их 3243, 3269, 3273, 3297
- — в искривленных линиях 3254, 3258, 3261, 3263, 3297, 3323
- — зависимое отношение полярностей 3257, 3323
- — количество их ограничено 3255
- — отношение ко времени 3253
- — отношение к электрическим силовым линиям 3265
- физический характер их 3075, 3243, 3273
- через нагретый и холодный никель 3240
- Магнитные отталкивания без полярности 2274
- Магнитные полюса просверленные стр. 670
- Магнитные полюса, соединенные одинаково 3347
- Магнитные полюсные камеры 3341, стр. 771
- Магнитные проводники, их действие в магнитном поле 2810, 2828, 2839, 3313
- Магнитные растворы, относительные действия их 2357, 2361, 3313
- действие их на полюс стр. 638
- Магнитные свойства газов стр. 654, 661
- материи вообще 2226, 2243, 2286, стр. 632
- Магнитные силовые линии 2149.
- См. Линии магнитной силы
- отклонение их к свету 2146, 2223

- Земли 2449, 2849, стр. 451
- в атмосфере 2847, стр. 454
- Магнитные силы, действительность*  
3257, 3323
- всегда равны 3327
- не компенсируется через магнит 3260, 3332, 3335
- неуничтожаемость ее 3325, 3330
- никогда не появляются раздельно 3258, 3329, 3341
- определенность количества 3328
- сохранение ее 3325
- существенно связаны 3258, 3327, 3331, 3341
- Магнитные силы, исследуемые с помощью индукционных токов*  
3177
- Земли 3192
- — с помощью движущихся прямоугольников и пр. 3192
- — при разных скоростях 3196, 3200, 3202
- — — разной величины 3195, 3211
- — — разной толщины 3201, 3203, 3208, 3231
- — — разной формы 3198
- — — разных веществ 3231
- — — с несколькими витками 3206
- — с помощью колец 3212
- примененные металлические петли 3184
- примененный гальванометр 3178
- — цена его показаний 3184
- Магнитные соотношения металлов*  
стр. 615
- Магнитные среды, дают разные результаты* 3316
- их действие 3313, 3337, стр. 686
- покоящиеся и движущиеся 3160, 3337, 3351
- устанавливаются, как если они полярные 3313
- устанавливаются, либо экваториально, либо аксиально 3315
- Магнитный полюс, проволока, движущаяся вокруг него* 3272
- Магнитный порядок тел* 2424
- Магнитомолекулярный ток, индуцированный* 2327, 3087, 3270
- индукции, природа ее действия 2696
- Магниты, аналогия их с гальваническими батареями* 3228, 3276, 3282
- влияния формы и величины 3282, 3287
- вместимости силовых линий 3295
- действие их на металлы и т. д. 2287, 2295, 2309, 2333
- — азот 2770, 2783, 2854, 2858
- — висмут 2392, 2306, 2457
- — висмутовый шарик 2298, 3354, стр. 774
- — воздух и газы 2400, 2432
- — вольфрам 2389
- — железо нагретое 2344
- — золото 2540
- — иридий 2386, 2542
- — кислород 2770, 2780, 2793, 2861, 2966, стр. 656
- — кобальт 2351, 2358
- — марганец 2372
- — медь 2537
- — мышьяк 2383, 2532
- — натрий 2393

- — никель 2346, 2350, 2358
- — олово 2538
- — осмий 2385
- — охлажденные металлы 2348
- — палладий 2382
- — платину 2379
- — растворы магнитные 2357, 2361
- — родий 2387, 2542
- — свинец 2378, 2539
- — серебро 2390
- — соединения железа 2349
- — соединения магнитных металлов 2349, 2379
- — соли магнитные 2352
- — сульфат железа 2546, 2554, 2615
- — сурьму 2391, 2306, 2508
- — теллур 2541
- — титан 2371, 2536
- — хром 2374
- — церий 2373
- — цинк 2535
- — щелочно-земельные металлы 2395
- действие их на свет 2146, 2152, 2157, 2170, 2609
- действие их на тяжелое стекло 2253, 2273
- — отталкивание его 2259, 2265, 2266
- действие якоря 3283
- длинные 3290
- окружающая их среда 3278
- — изменяющаяся 3292
- определенность величины их силы 3121, 3215
- — соединенных с другими магнитами 3218
- отношение малых к большим 3286
- переменные и неизменные 3224
- пересыщенные 3285
- соединенные 3294
- Марганец, его магнитные свойства 2372, стр. 616
- Материя и сила стр. 620
- Материя*, все виды ее магнитны 2243, 2286
- новые магнитные свойства ее 2227, 2242, 2274, 2286, 2417
- отношения ее к магнетизму 2226, 2286, 2443
- — и свет 2224
- Медная пластина притягивается и отталкивается 2338
- Медь*, действие на нее магнитных сил 2309, 2323, 2411
- особые действия 2310, 2317, 2326, 2333
- отвлечение 2315, 2336, 2411
- Медь, магнитная среда 3339
- Место без магнитного действия 3341, стр. 773
- Местонахождение силы 3306
- Металлические шары в магнитном поле 3352, стр. 774
- Металлы*, магнитные соотношения их стр. 615
- магнитный порядок их 2399
- магнитозлектрические токи, индуцируемые в них 2294, 2309, 2327, 2340
- — слабая интенсивность их 3123
- нагретые, их магнитное состояние стр. 616
- отличны под действием индукции 3145, 3152, 3164
- охлажденные, их магнитное состояние стр. 616
- подвергаемые действию магнитов 2287

- свойства их в магнитном поле 3172
- Металлы диамагнитные* 2291, 2295, 2425
- охлажденные 2397
- Мыльные пузыри намагниченные* 2278, 2765
- Мыльные пузыри с газами в магнитном поле* 2758, 2765
- кислород 2766
- азот 2765
- Мыс Доброй Надежды, вариации магнитного поля Земли* 3035, 3069, таблица
- Мысли о лучевых колебаниях* стр. 618
- Мышьяк, его магнекристаллическое действие* 2532
  
- Наблюдения магнитной силы* стр. 682
- Намагничение света* 2146, 2221
- Направление, аксиальное и экваториальное* 2250
- Напряжение и количество* стр. 710
- Непрерывность, ее влияние на магнетизм* стр. 638
- Нерасширяемость в магнитном поле газов* 2718, 2750, 2756
- жидкостей 2172
- Никель, магнетизм его при разных температурах* 2346, 3240
- Новые магнитные действия* 2243, 2343, 2417
- Новые магнитные свойства материи* 2227, 2242, 2274, 2286
- Нулевой точка магнетизма* стр. 642, 672
- Нулевой точка статического электричества* стр. 642
- Ноль магнитного действия* 2790
- Ньютоновы заключения о силе притяжения* 3305 сноска, стр. 777
  
- Одновременное влияние токов и зарядов* стр. 695
- Ориентация магнитная, восток — запад* 2258, 2269
- Освещение магнитных силовых линий* 2146
- Отвлечения магнитные* 2315, 2336, 2514, 2516, 2684
- Отталкивания магнитные без полярности* 2274
  
- Парамагнитные тела, определение* 2790
- и диамагнитные тела, различия их стр. 632
- Перекись железа, ее магнитное поведение* стр. 635
- Пламя, его диамагнитные свойства* стр. 644, 670, 674
- окружающие потоки воздуха стр. 649
- Полярность висмута* 3309
- *диамагнитная* 2429
- — *природа ее* 2497, 2640, 2820
- *магнекристаллическая* 2454, 2550
- — *природа ее* 2639
- *магнитная* 3154, 3307. См. *магнитная полярность*
- Полярность магнитной проводимости* 2818, 2835, 3166
- Поперечный магнетизм* стр. 633, 641
- Предположения о природе магнетизма* 3301, 3311, 3317, 3326
- Провода, запаздывание электричества в них* стр. 704, 782
- Проводимость и индукция, связь между ними* стр. 703

- Проводимость магнекристаллическая 2836
- Проводимость магнитная 2797, 2843, 3281
- Проводник подвижной 3351, 3360
- Проводники магнетизма, их влияние 2806, 2828
- парамагнитные 2807, 2814, 2828
- диамагнитные 2807, 2815, 2829
- Пространство, его магнитные свойства 2400, 2787
- Прямоугольники и кольца вращающиеся 3192, 3212
- Раздробление, его влияние на магнетизм стр. 638
- Распределение силы магнита 3305
- Расстояний разность для различных тел стр. 691
- Св. Елена, вариации магнитного поля Земли 3045, 3069, таблицы
- Свет, влияние магнетизма на него стр. 626
- — путем повторных отражений стр. 627
- влияние магнитов на него 2146, 2152, 2157, стр. 626
- влияние электричества на него 2189, 2221
- магнитное вращение его 2428
- — в газах стр. 673
- — роль времени стр. 643
- намагничивание его 2146, 2221
- электричество и магнетизм, случай отсутствия взаимотношения между ними 2216
- Сила, магнитные линии сил 3300
- необходимость ее сохранения 3326, стр. 777
- рассматриваемая с точки зрения физики стр. 775
- тяготения 3245, стр. 776
- Сила тяготения, возможное отношение ее к электричеству 2702, 2717
- действие ее стр. 776
- рассуждения стр. 776
- силовые линии ее 3245
- убеждение Ньютона, 3305
- Силовые линии излучения 3247
- Силы, действующие на расстоянии 3245, стр. 776
- Силы природы, их единство 2702
- Сингапур, вариации магнитного поля Земли 3058, 3069, таблицы
- Скорость электричества в проводах стр. 704, 782
- большие различия ее стр. 705, 785
- Соображения о физических мыслях сил 3244
- Соотношения естественных сил 2146, 2221, 2238
- Составные магниты, их состояние 3215, 3218
- Сохранение силы 3325
- С. Петербург, вариации магнитного поля Земли, 2915, 2968, таблицы, 3009
- Среда вокруг магнита 3278
- Среды магнитные 3313, 3337
- магнитные соотношения их 3313, стр. 686
- относительные магнитные действия их 2405, 2414, 3313
- Стальной кольцевой магнит 3334
- Стальной магнит противоположной полярности 3357
- противоположный висмуту 3358, стр. 774

- Статическое состояние тел вообще 3318
- Стекло тяжелое 2151, 2176, 2214
- Сульфат железа, его магнитные свойства 2546, 2554, 2615
- Сурьма диамагнитная 2295
- Сурьма магнекристаллическая* 2508
- задерживаемое движение 2512, 2526
- явление отвлечения 2513, 2526
- Суточная вариация 2892, 2920
- Сфондилоид магнитной силы 3271, 3276
- Тела, их статическое магнитное состояние 3318
- Тела не изменяют своего объема под действием магнитной силы 2752
- Телеграфные провода изолированные* стр. 696, 781
- в воздухе стр. 699, 700, 702, 788
- подводные, заряженные электричеством стр. 696
- — индукция их стр. 701, 786
- — проводимость их стр. 699, 781
- подъемные стр. 701, 712, 781
- — заряд их стр. 701
- — индукция, направленная в сторону стр. 703, 785
- проводимость их стр. 701, 708, 785
- — — время прохождения стр. 701, 707, 781
- — — одновременные волны стр. 702
- Теплота, влияние ее на магнетизм азота* 2858
- кислорода 2861
- воздуха 2856, 2859, стр. 649, 667
- газов 2856, стр. 667
- углекислоты 2857
- Токи и заряды, их взаимозависимость стр. 695
- Торонто, вариация магнитного поля Земли 2905, 2948, 2968, таблицы, 3027
- Тяжелое стекло* 2151, 2176, 2214
- вращение света в нем 2152, 2171
- действие магнитов на него 2253, 2273
- отталкивание 2259, 2265, 2266
- экваториальная установка его 2253, 2264
- Углекислый газ, его магнитные свойства 2857
- Установка магнитов на восток и запад 2258, 2269, 2282
- Физические линии сил* 3243, стр. 607
- динамического электричества 3250, 3276
- излучения 3247
- магнитной силы 3243, 3251, 3300, стр. 607, 612, 694. См. Линии магнитной силы
- статического электричества 3249, 3264
- тяготения 3245, стр. 777.
- Физические свойства магнитных сил 3303
- Физические силы 3245, стр. 775
- Фитиль для электрических подрывных работ стр. 711
- Форт Симпсона, вариации магнитного поля Земли 2914, 2968, таблицы

- Фосфор*, диамагнитное вещество 2277, 2284  
 — магнитная полярность его стр. 774
- Шаровой магнит**, прямой и обратный 3357, стр. 775  
 Шарообразный магнит, его свойства 3331, 3357, стр. 775
- Шары металлические* около магнитов 3352, стр. 774  
 — полярность висмута 3354  
 — — железа 3353  
 — — меди 3352  
 — — твердого магнита 3357  
 — — твердой стали 3355
- Шкала стоградусная магнитных тел** стр. 687
- Человек** диамагнитен 2281
- Экваториальное и аксиальное** 2252
- Электрическая индукция** стр. 695
- Электрические двойственности** стр. 610
- Электрические и магнитные силы**, их соотношение 3265
- Электрические линии сил** 2149, 3249, стр. 610
- Электрические применения гуттаперчи** стр. 678
- Электрические токи**, их действие на свет 2189, 2170
- Электрическое вращение света* 2189, 2195  
 — в жидкостях 2201, 2183  
 — — в железных трубах 2209  
 — закон его 2199  
 — в различных телах 2211  
 — в телах с естественным вращением 2204
- Электричество*, естественный эталон стр. 642  
 его возможное отношение к — тяготению 2702, 2717  
 скорость его проводимости — стр. 704, 782
- Электричество, свет и магнетизм**, случаи их независимости 2216
- Электромагнит* большой 2247  
 — Вульвичский 2246
- Электротоническое состояние** 3172, 3269
- Эталон электричества** стр. 642
- Ядра материи** стр. 621

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	7
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ	
Девятнадцатая серия (п.п. 2146—2242)	
<i>Раздел 26.</i> О намагничивании света и об освещении магнитных силовых линий . . . . .	11
Глава I. Действие магнитов на свет . . . . .	11
Глава II. Действие электрических токов на свет . . . . .	25
Глава III. Общие соображения . . . . .	35
Двадцатая серия (п.п. 2243—2342)	
<i>Раздел 27.</i> О новых магнитных действиях и о магнитном состоянии всякого вещества . . . . .	45
Глава I. Необходимые приборы . . . . .	47
Глава II. Действие магнитов на тяжелое стекло . . . . .	50
Глава III. Действие магнитов на другие вещества, оказывающие магнитное действие на свет . . . . .	55
Глава IV. Действие магнитов на металлы вообще . . . . .	61
Двадцать первая серия (п.п. 2343—2453)	
<i>Раздел 27.</i> О новых магнитных действиях и о магнитном состоянии всякого вещества (продолжение) . . . . .	81
Глава V. Действие магнитов на магнитные металлы и их соединения . . . . .	81
Глава VI. Действие магнитов на воздух и газы . . . . .	97
Глава VII. Общие соображения . . . . .	101

## Двадцать вторая серия (п.п. 2454—2639)

<i>Раздел 28.</i> О кристаллической полярности висмута и других тел и ее отношении к магнитной форме силы . . . . .	119
Глава I. Кристаллическая полярность висмута . . . . .	120
Глава II. Кристаллическая полярность сурьмы . . . . .	140
Глава III. Кристаллическая полярность мышьяка . . . . .	149
Глава IV. Кристаллическое состояние различных тел . . . . .	150
Глава V. О природе магнекристаллической силы и общие со- ображения . . . . .	157
Глава VI. О положении кристалла сульфата железа в маг- нитном поле . . . . .	183

## Двадцать третья серия (п.п. 2640—2701)

<i>Раздел 29.</i> О полярном или ином состоянии диамагнитных тел . . . . .	192
--	-----

## Двадцать четвертая серия (п.п. 2702—2717)

<i>Раздел 30.</i> О возможной связи между тяготением и электричеством . . . . .	224
---	-----

## Двадцать пятая серия (п.п. 2718—2796)

<i>Раздел 31.</i> О магнитном и диамагнитном состоянии тел . . . . .	234
Глава I. Газообразные тела под влиянием магнитной силы не расширяются . . . . .	234
Глава II. Разностное магнитное действие . . . . .	253
Глава III. Магнитные свойства кислорода, азота и пустоты . . . . .	259

## Двадцать шестая серия (п.п. 2797—2968)

<i>Раздел 32.</i> Способность проводить магнетизм . . . . .	278
Глава I. Магнитная проводимость . . . . .	276
Глава II. Полярность проводимости . . . . .	286
Глава III. Магнекристаллическая проводимость . . . . .	296
<i>Раздел 33.</i> Атмосферный магнетизм . . . . .	301
Глава I. Общие принципы . . . . .	301

## Двадцать седьмая серия (п.п. 2969—3089)

<i>Раздел 33.</i> Об атмосферном магнетизме (продолжение) . . . . .	379
Глава II. Экспериментальное исследование законов магнит- ного действия атмосферы и их применение к отдель- ным случаям . . . . .	379
Доклад об атмосферном магнетизме . . . . .	450

## Двадцать восьмая серия (п.п. 3070—3176)

- Раздел 34.* О магнитных силовых линиях, определенность их характера и их распределение в магните и в окружающем пространстве . . . . . 457

## Двадцать девятая серия (п.п. 3177—3242)

- Раздел 35.* О применении индукционного магнитоэлектрического тока для обнаружения и измерения магнитной силы . . . . . 514  
 Глава I. Гальванометр . . . . . 515  
 Глава II. Вращающиеся прямоугольники и кольца . . . . . 523  
*Раздел 36.* О величине и общем распределении сил магнита при соединении его с другими магнитами . . . . . 541  
*Раздел 37.* Изображение магнитных силовых линий с помощью железных опилок . . . . . 550

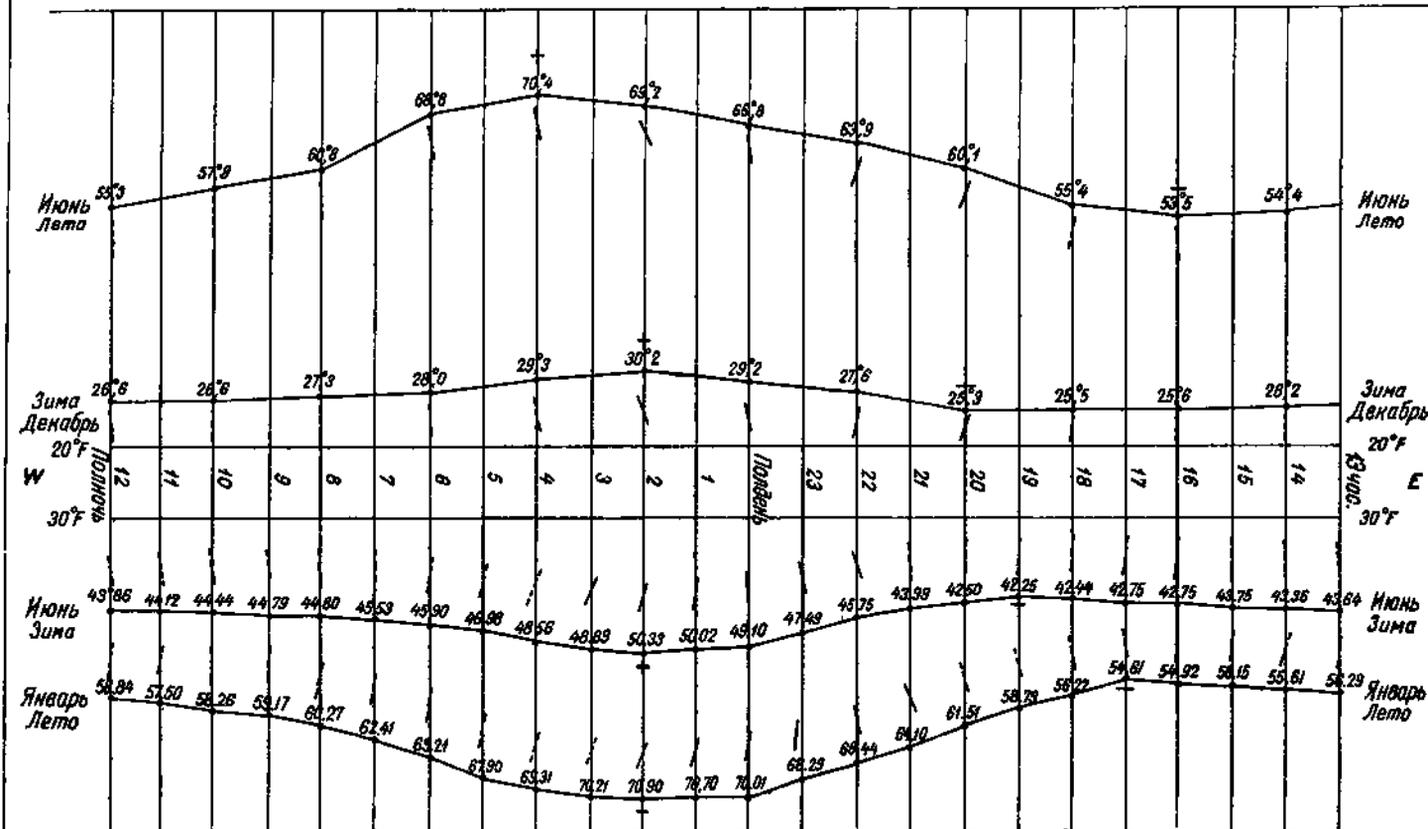
## СТАТЬИ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

- О линиях магнитной силы . . . . . 559  
 О физическом характере линий магнитной силы . . . . . 564  
 О физических линиях магнитной силы . . . . . 607  
 О магнитных соотношениях и свойствах металлов . . . . . 615  
 Мысли о лучевых колебаниях . . . . . 618  
 О влиянии магнетизма на свет и о различии между ферромагнитным и диамагнитным состояниями материи . . . . . 626  
 О диамагнитных свойствах пламени и газов . . . . . 644  
 О движениях, обнаруживаемых пламенем под влиянием электромагнетизма (*проф. Дантедески*) . . . . . 674  
 О применении гуттаперчи для электрической изоляции . . . . . 678  
 Соображение о магнитной силе . . . . . 682  
 Об электрической индукции — случаи одновременного влияния токов и зарядов . . . . . 695  
 О подземных проводах электротелеграфа . . . . . 712  
 Гипотезы о магнетизме . . . . . 715  
 О некоторых вопросах учения о магнетизме . . . . . 719  
 О некоторых вопросах учения о магнетизме и о природе сил . . . . . 770  
 Дальнейшие соображения об одновременных динамических и статических действиях в явлениях электрической индукции . . . . . 781

## ПРИЛОЖЕНИЯ

- О третьем томе «Экспериментальных исследований по электричеству» М. Фарадея. Я. Г. Дорфман . . . . . 791  
 Примечания редакторов . . . . . 797  
 Именной указатель . . . . . 813  
 Предметный указатель . . . . . 815

Рис. 208  
 Сев шир. 43°39'35" N Торонто Зап. долг. 79°21'30" W



Южн. шир. 42°52.5' S Гобартон Вост. долг. 147°25.5' E  
 Рис. 206

Таблица I.  
 Рис. 206 и 208.

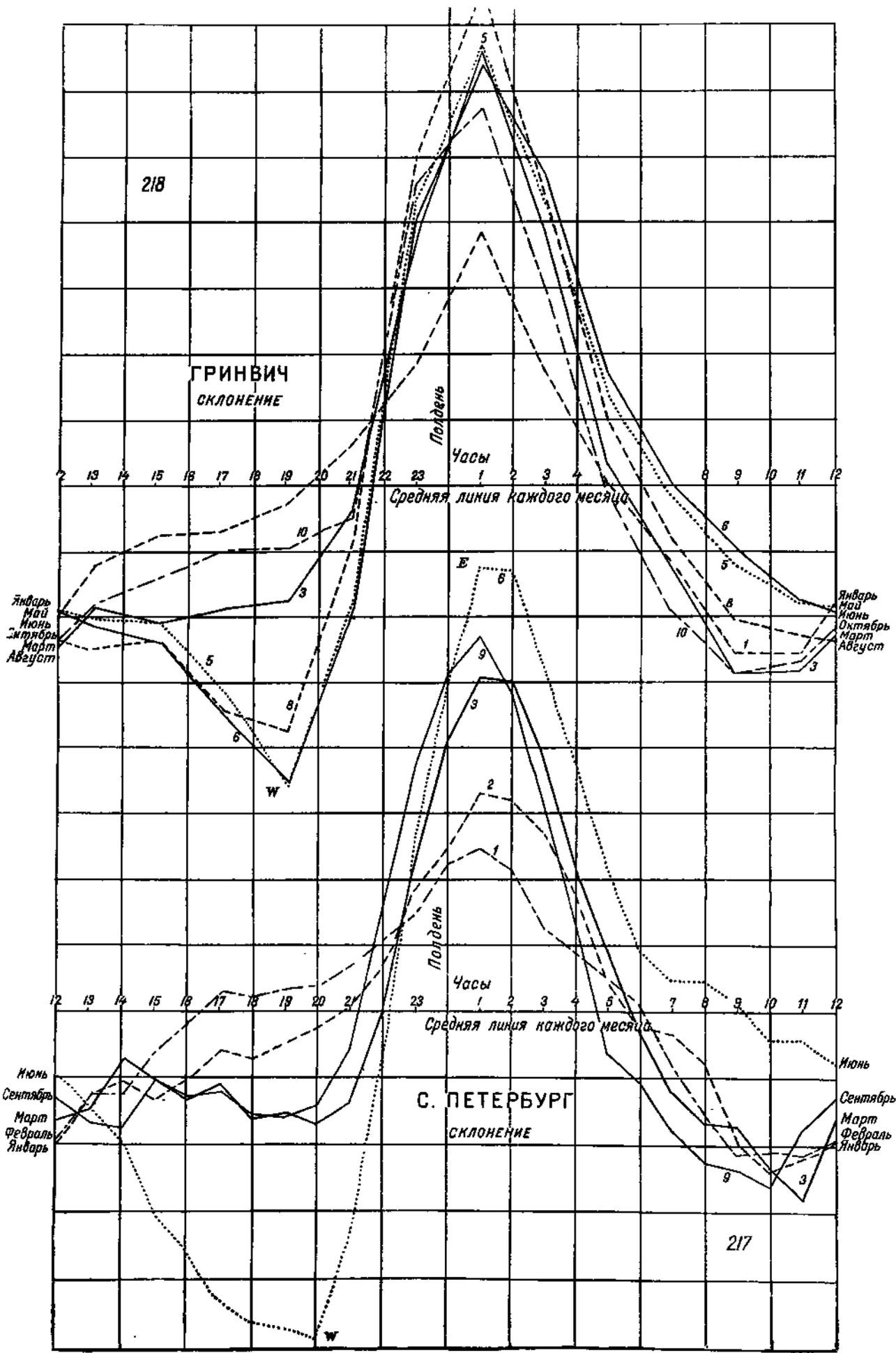


Таблица II.  
Рис. 217 и 218.

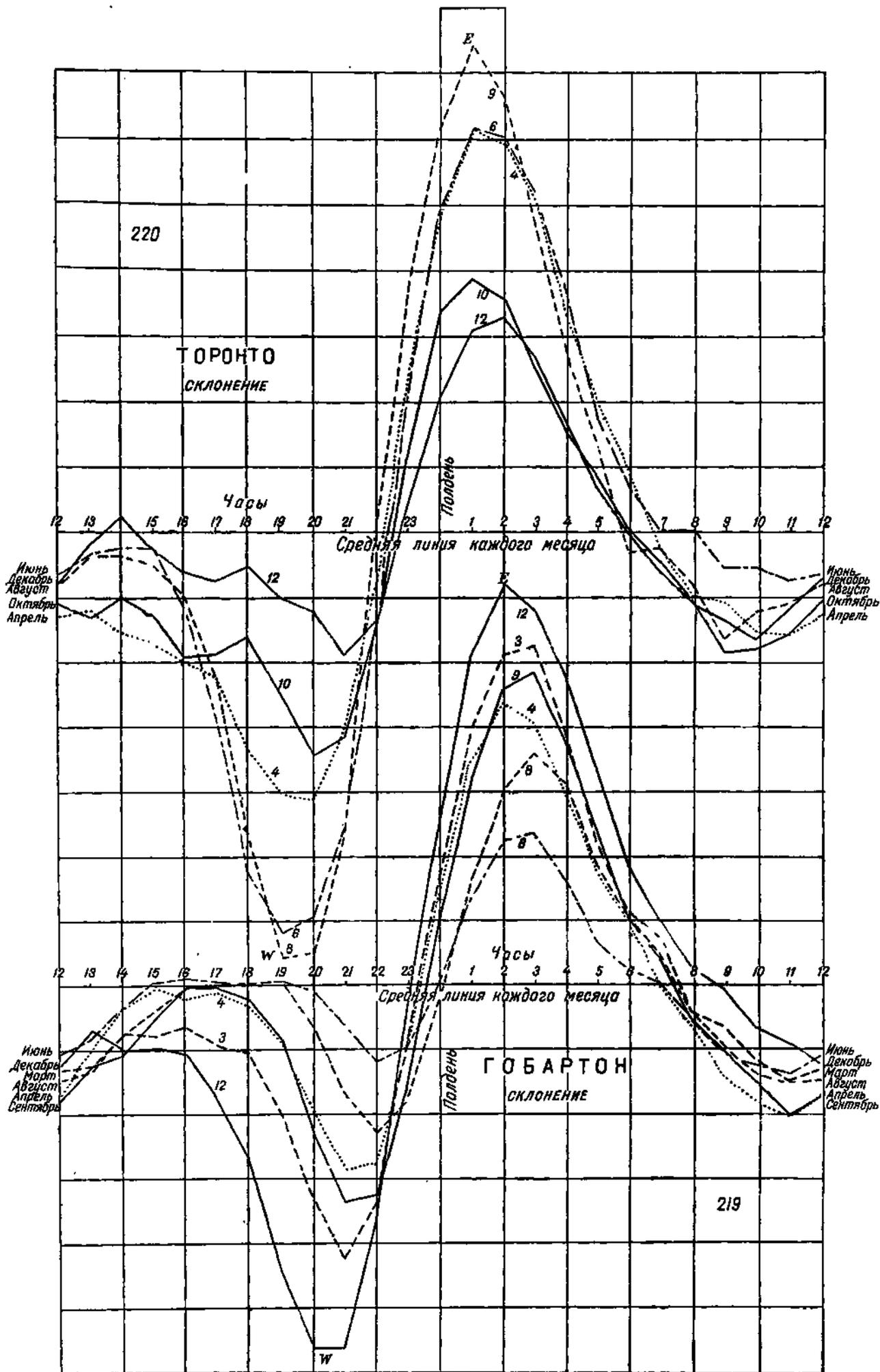


Таблица III.  
Рис. 219 и 220.

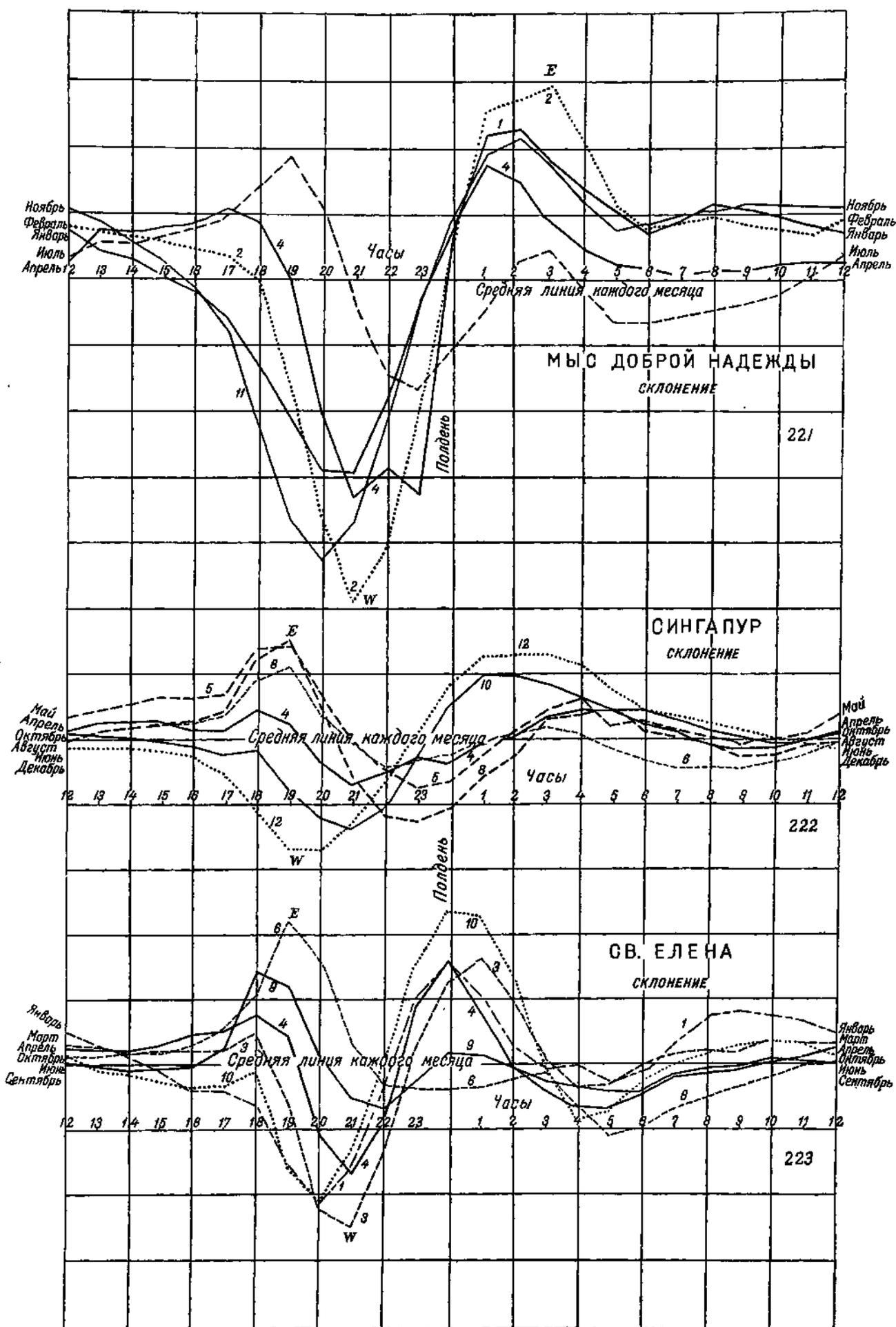


Таблица IV.  
Рис. 221—223.

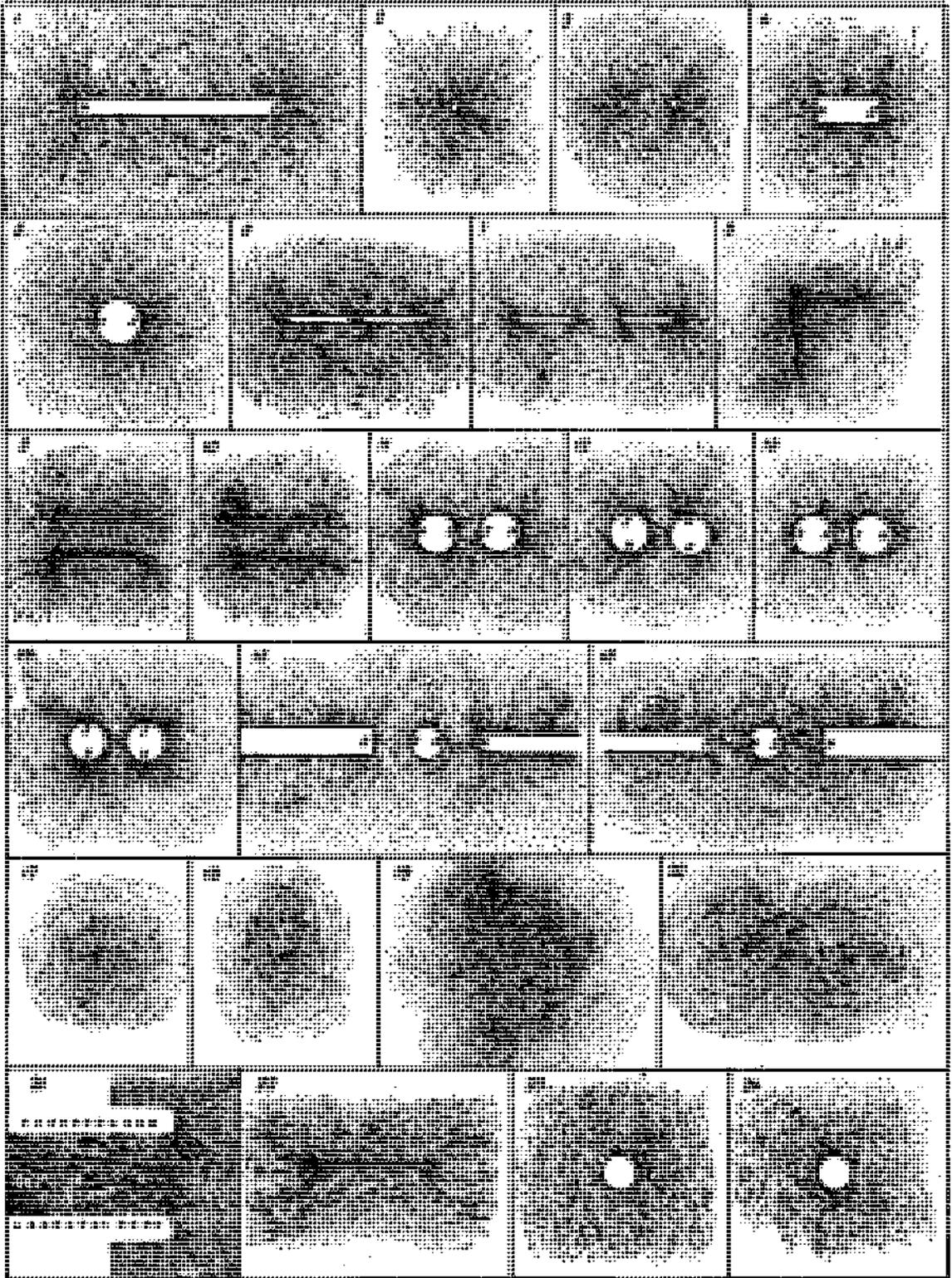


Таблица V (1-24).

**МИХАИЛ ФАРАДЕЙ**  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**  
**ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ**

•  
*Утверждено к печати*  
*Редакцией серии «Классики науки»*  
*Академии наук СССР*

•  
Редакторы издательства *Я. А. Бройтман* и *Л. С. Сазонов*  
Технический редактор *А. В. Смирнова*  
Корректоры *Н. П. Исаева*, *Ф. Я. Петрова* и *А. А. Родионова*

Сдано в набор 16/X 1958 г. Подписано к  
печати 10/I 1959 г. РИСО АН СССР  
№ 7—103В. Формат бумаги 70 × 92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бум. л. 26. Печ л. 52 = 60,8<sup>4</sup>/<sub>4</sub> усл. печ л. + 5  
вкл. Уч.-изд. л. 41,5 + 5 вкл. (0,65)  
Изд. № 575. Тип. зак. № 831.  
Тираж 2500. Цена 31 р. 80 к.

Ленинградское отделение Издательства АН СССР  
Ленинград, В-164. Менделеевская лин., д. 1

1-я тип. Издательства Академии наук СССР  
Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12