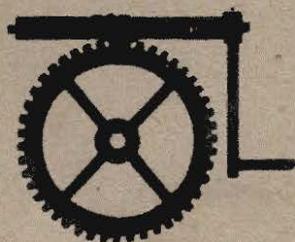


О. Д. ХВОЛЬСОН

**ХАРАКТЕРИСТИКА
РАЗВИТИЯ
ФИЗИКИ
ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ**



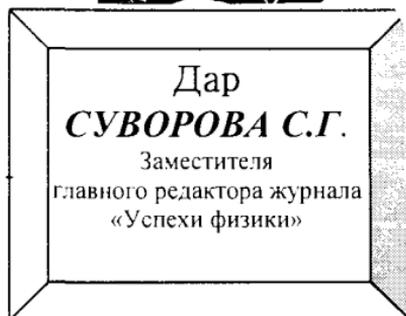
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД
1924г.**

О. Д. ХВОЛЬСОН

ПРОФЕССОР ПЕТРОГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ПОЧЕТНЫЙ ЧЛЕН РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ

ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД

1924



Все это
... ..

442835



ПРЕДИСЛОВИЕ.

В этой книге я намереваюсь представить картину эволюции физики за те последние пятьдесят лет, в течение которых я сам, по мере сил и возможности, сознательно следил за развитием этой науки. Но, рядом с этим, я стараюсь решить еще и другую задачу, более важную, интересную и трудную: выяснить, в каком направлении существенно изменился характер, дух физики. Рядом с характером эволюции этой науки я поставил вопрос об эволюции ее характера. Последнюю я вижу в появлении непонятных гипотез; таких не было в физике старой.

Я полагаю, что молодые физики останутся недовольны моими выводами. Опасаюсь, что они не поймут, чем я недоволен, чего мне еще надо, почему я не только восторгаюсь великими успехами, новыми открытиями и теориями, но тут же занимаюсь серьезной критикой. Для них теория Максвелла азбука серьезной физики; они и не представляют себе физики без этой теории, с которой они вполне свыклись, может быть не всегда достаточно уясняя себе ее темные стороны. А между тем с этой теорией появился в физике тот новый дух, который затем широко разлился по всем ее отделам, и на исчезновение которого не хотелось бы перестать надеяться.

О. Хвольсон.

Петроград.

31 декабря, 1923 г.



ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ВВЕДЕНИЕ.

§ 1. Тема этой книги. В предлагаемой книге я намереваюсь, по возможности всесторонне рассмотреть характер эволюции физики за те пятьдесят лет, в течение которых я сам мог сознательно следить за ее сказочным развитием. Это развитие относилось не только к расширению и углублению уже ранее существовавших отделов физики и к возникновению совершенно новых, но и к целому ряду глубоких переворотов, сопровождавшихся преобразованием основ этой науки или обширных ее отделов. Я отнюдь не намереваюсь написать историю физики за последнее полустолетие, хотя само собою разумеется, что обо всех важнейших событиях, т.-е. о вновь открытых явлениях и о новых теориях, относящихся к тем или иным группам физических явлений, мне придется говорить более или менее подробно. Но я буду стремиться к тому, чтобы, если можно так выразиться, центр тяжести изложения находился бы не в исторических фактах, но в характеристике той эволюции науки, внешним признаком которой служат эти многочисленные и разнообразные факты. Я хочу сравнить „старую“ физику 1873 года с „новой“ физикой 1923 года и сделать попытку выяснить, чем эти две науки по существу друг от друга отличаются, почему они так мало друг на друга похожи, какая, собственно, произошла перемена в методах творческой работы ученых и, притом, не столько экспериментальной, сколько теоретической, относящейся к закулисной стороне наблюдаемых физических явлений.

Очевидно, что мне, прежде всего, придется остановиться, хотя бы в самых общих чертах, на содержании физики около

1873 года и выдвинуть наиболее важные и характерные внешние и внутренние признаки этой науки в эпоху, ныне во всех отношениях уже столь отдаленную от нас. Затем придется рассмотреть важный вопрос о том, что за полу-столетие осталось без всякого изменения, что не могло измениться, потому что оно определяет сущность физики, как науки. Сюда должно относиться все то, без чего физика перестает быть физикою. Разбор исторических фактов, относящихся к последнему полу столетию, даст нам затем возможность раскрыть характер происшедшей эволюции и сравнить дух современной, новой физики с духом старой физики начала семидесятых годов истекшего столетия.

Мы два раза упомянули физику старую и физику новую. Само собою ясно, что не может быть и речи о какой-либо резкой грани между ними; нельзя указать того года, с которого следует считать новую эру истории физики. Эволюция происходила постепенно. Однако, все-таки существует возможность указать на такой момент в истории физики, когда одно величайшее открытие, как бы повернувшее руль этой науки, заставило ее двигаться в новом направлении. Мы имеем в виду открытие в 1887 г. электрических лучей (ими ныне пользуются в телеграфии без проводов) великим, безвременно скончавшимся (1894 г.) немецким ученым Герцом (H. Hertz). Значение этого открытия заключалось, как мы увидим, не столько в том, что наука узнала о существовании явления, до того ей неизвестного, сколько в том, что это явление могло служить неопровержимым доказательством справедливости тех основных представлений, на которых была построена электромагнитная теория света, так же безвременно скончавшегося великого английского ученого Максвелла (Maxwell). Эта теория была впервые развита еще в конце шестидесятых годов, но по разным причинам она, в течение многих лет, не обратила на себя должного внимания ученых. Опыты Герца, как мы увидим, уничтожили то великое учение, которое считало свет за чисто механическое, колебательное движение, распространяющееся в особой упругой среде, наполняющей вселенную и названной эфиром. Ниже мы подробнее рассмотрим сущность и историю расцвета этого учения. Опыты Герца поставили на его место новое учение Максвелла, отличное от него.

не только по существу исходных, конкретных, чисто физических представлений, но — и это гораздо важнее — тем абстрактным методом мышления, тем миропониманием, которые составляют его главную характеристику и дают нам право считать момент открытия электрических лучей за тот момент, когда произошел перелом в истории физики, когда одно миропонимание было заменено другим, и когда родилась новая физика. Но рождение — это первое проявление, в момент которого истинный смысл и историческое значение не могут быть признаны современниками в полном их объеме. Только дальнейшее развитие физики показало, что эта наука пошла по новому пути, что новая физика глубоко отличается от старой. История дальнейшего развития физики и внимательный анализ внутренних характерных черт ее бурного движения вперед могли, при взгляде назад, обнаружить, что опыты Герца и связанное с ними торжество теории Максвелла сыграли роль того ядра, из которого выросло пышное древо современной, новой физики. Чтобы ясно обнаружилась внутренняя сущность эволюции, происшедшей за последнее полувековье, необходимо сравнить физику начала семидесятых годов XIX столетия с физикой начала двадцатых годов XX столетия.

Произвести это сравнение — вот задача, которую мы себе поставили, и мы постараемся ее разрешить, и притом с полной откровенностью. Это значит, что мы не ограничимся описанием тех сторон новой физики, которые сводятся к открытию новых явлений и к развитию новых теорий, и которыми справедливо гордится человечество. Мы не считаем возможным отказаться от указания тех темных сторон эволюции физики, возникновение которых нам представляется печальным шагом назад, и мы постараемся настолько выяснить эти темные стороны, чтобы их указание не могло представиться как результат старческого (род. в 1852 г.) брюзжания, которое не хочет отказаться от привычного старого и с недоверием, а, может быть, даже с непониманием смотрит на новые достижения науки, на существенно новые способы объяснения явлений и на изменившийся характер того материала, из которого ныне строятся физические теории. Мы постараемся доказать, что такое недоумение, чтобы не сказать обвинение, несправедливо.

§ 2. Отношение истории последнего полувека ко всей истории физики. История физики, как науки, начинается с древних времен, когда были положены основы практической механики и было открыто некоторое, хотя и небольшое число явлений, до сих пор связанных с именами Архимеда, Герона и немногих других ученых. В средние (арабские ученые в Испании) и в новые века, особенно в XVII и XVIII столетиях, а затем и в начале XIX, физика разрослась до обширной науки, изложение которой требовало многотомных сочинений. И все-таки можно с некоторой, но небольшой натяжкой утверждать, что то последнее полувеки (1873—1923), характеристике которого посвящена эта книга, обнимает половину, или, скажем, почти половину всей истории той науки, которая ныне подразумевается под названием физики. Выразимся точнее, чтобы не вызвать недоразумений. Передвинемся мысленно еще на одно полувеки назад, т. е. до 1823 года. Только что высказанная мысль, за точность которой мы, конечно, не стоим, ибо мы признали в ней некоторую натяжку, должна выразать, что все то, что было сделано до 1823 года, ничтожно по сравнению с тем, что дала физика за последние сто лет (1823—1923) и что ныне составляет ее содержание. Физика до 1823 года—это прелюдия к великой научной симфонии, или даже только та настройка инструментов, которая, не представляя ничего цельного и слитного, предшествует настоящей игре оркестра. Не спорим—натяжка есть, но она совсем невелика, и она исчезает, если мы к указанному периоду в сто лет прибавим еще какие-нибудь 10 или 15 лет, вследствие чего последние пятьдесят лет окажутся лишь немногим меньше половины того периода истории физики (1808—1923), относительно которого все ему предшествовавшее уже без всякой натяжки может быть названо прелюдией или даже настройкой инструментов. Практически, сказанное подтверждается, если перелистать любой современный учебник физики или, лучше, собрание учебников, посвященных различным отделам физики, и посмотреть, много ли в них найдется ссылок на научные работы, произведенные до 1823, и тем паче до 1808 года. При этом мы, однако, должны совершенно исключить из нашего рассмотрения тот отдел, который ныне обычно со-

ставляет вступление в физику, а именно — механику. Это обширная, самостоятельная наука, которая вместе с теорией упругости и с гидродинамикой (учением о движении жидкостей) составляет одно целое. # На нее не следует смотреть, как на отдел физики, ибо, по своему характеру и существу, она чистая математика. Физика ею пользуется и без нее существовать не может, как она пользуется обыкновенной, чистой математикой и не может без нее развиваться. Механика, созданная Ньютоном и быстро доведенная до высокой степени развития, есть орудие физики. В элементарных учебниках физики, конечно, должна находиться глава, посвященная элементарной механике. Но в обширных университетских курсах физики механика могла бы быть и вполне пропущена и лишь посторонние, чисто практические соображения могут заставить авторов таких курсов посвятить некоторое, иногда даже довольно большое число страниц основам механики. # Нечто совершенно другое представляет новая механика, возникшая в текущем двадцатом столетии. Это уже чистая физика, но не об этой механике идет речь, когда мы говорим о физике начала XIX столетия.

Исключив, таким образом, механику, мы легко убедимся, что вся физика 1823 года, и тем более — 1808 года, может быть названа прелюдией к той великой научной симфонии, которую нам представляет история физики за последние 100 — 115 лет, и что действительно не велика нагрузка, если мы говорим, что последнее, нас здесь интересующее пятидесятилетие включает в себе половину истории физики, как мы ныне понимаем смысл и значение этой науки.

Мы легко убедимся в справедливости этой мысли, если вспомним, из каких, существенно различных частей складывается содержание физики, или, иначе, какие по своему характеру различные стороны обнаруживает эта наука. Оказывается, что в ней следует отличать четыре стороны, которые, проще всего, можно характеризовать словами: 1) явления, 2) закономерности, 3) теории, 4) экспериментальное искусство.

Укажем бегло, какой вид имели эти четыре стороны физики сто или даже сто пятнадцать лет тому назад.

1. Физические явления. Основные оптические и тепловые явления были известны к тому времени, которое нас сейчас интересует. Однако, тот необъятный отдел физики,

который ныне определяет собой главное содержание этой науки, который поглотил оптику, вернее говоря, учение о лучистой энергии, и ныне постепенно поглощает молекулярную физику — учение об электрическом токе, действительно находилось в зачаточном состоянии. Действие тока на магнитную стрелку было открыто Эрстедтом (Oerstedt) только в 1820 году, не была известна индукция токов магнитами и токами, открытая в 1833 г. Фарадеем, да и вообще еще не начались работы этого величайшего физика-экспериментатора и основателя столь многих и ныне важнейших отделов физики.

2. Физические закономерности. Достаточно указать, что в 1823 году не были известны те два великих, так называемых, „начала“, которые господствуют над всеми явлениями окружающего нас мира и лежат в основе нашего миропонимания: закон сохранения энергии и так называемое второе начало термодинамики, которое известно еще под названиями принципа рассеяния энергии и принципа возрастания энтропии. Этого одного факта достаточно, чтобы сказать, что физика 1823 года была лишь прелюдией к той науке, которая ныне называется этим именем. И все другие основные законы современной физики также были открыты после 1823 года. Отметим закон Кирхгофа, на основе которого вырос спектральный анализ, о значении которого не приходится говорить. Далее — законы электролиза, установленные Фарадеем, законы индукции электрических токов, не говоря уже о тех бесчисленных закономерностях, которые постепенно были открыты в течение последних столетий и ныне почти равномерно распределяются по всем отделам физики.

3. Физические теории, т.-е. попытки объяснить физические явления на основе определенных гипотез о тех закулисных, нашему непосредственному наблюдению недоступных причинах, которые являются первоисточниками наблюдаемых нами явлений. Обратимся, прежде всего, к вопросу о строении материи и к тесно с ним связанному вопросу о сущности химических явлений. В течение почти всего восемнадцатого столетия господствовало в химии учение о флогистоне, особом, чуть ли не огнеподобном веществе, которое при окислении металлов из них выделяется, и только Лавоазье

показал, что при окислении кислород воздуха присоединяется к металлу. Лишь с этого момента возникла та наука, которая ныне называется химией. Однако, твердую основу приобрела эта наука только в тот момент, когда в нее была введена атомная гипотеза. Мысль о том, что материя состоит из отдельных, весьма мелких частиц, которые были названы атомами, т.-е. неделимыми, возникла уже в древние времена. Анаксагор (500—428 до Р. Х.) говорит о мельчайших частицах, неразрушимых и неизменных; но отцом атомной теории обычно считается Демокрит (460—370 до Р. Х.). Позже Эпикур (341—270 до Р. Х.) и особенности Лукреций (96—55 до Р. Х.) развивали мысли Демокрита об атомах. Затем, в течение долгих, почти семнадцати столетий атомная теория не играла никакой заметной роли; об ней человечество как бы забыло. Возобновителем этой теории является Гассенди (Gassendi, 1592—1655), который говорил о силах, действующих между атомами, и объяснил переход одних видов материи в другие как результат перегруппировок различного рода атомов. Бойль (Boyl, 1627—1691) присоединился к этим мыслям и первый указал на значение атомной теории для объяснения явлений химических. Истинным основателем современной атомной теории можно, однако, признать только Дальтона (Dalton, 1766—1844), который изложил свое учение в 1808 году в сочинении „Новая система химии“. Итак, мы имеем право сказать, что атомная теория, главная основа химии и одна из наиболее важных основ физики, родилась в 1808 году, всего за 15 лет до 1823 года.

Однако, для физики и для того миропонимания, которое выросло на почве этой науки, атомная или, вернее говоря, молекулярная теория приобрела свое великое значение лишь в соединении с теорией кинетической, предполагающей, что атомы и молекулы находятся в состоянии непрерывного движения, и что энергией этого движения определяется запас, в данном теле, энергии тепловой. Эта теория, определяющая сущность теплоты, укрепилась в науке много позже 1823 года.

Для объяснения сущности световых явлений, Ньютон дал теорию истечения, Гюйгенс — теорию механического колебания эфира. В течение всего XVIII столетия господ-

ствовала теория истечения и лишь весьма немногие ученые, в том числе наш Ломоносов и математик Эйлер были ее противниками. В начале XIX столетия Юнг в Англии и Френель во Франции дали теории Гюйгенса широкое развитие, но борьба приверженцев двух учений продолжалась еще долго и только в тридцатых годах теория колебания эфира столь характерная для той физики, которую мы называли „старой“, была принята всеми учеными, и ею определялась одна из важных сторон миропонимания, господствовавшего до упомянутых нами опытов Герца.

О дальнейших теориях, характеризующих современную физику, говорить не приходится. Почти все они возникли в течение последних пятидесяти лет, при чем многие из них, и притом из наиболее важных, принадлежат двадцатому столетию.

4. Экспериментальное искусство сводится, прежде всего, к умению производить точные измерения разного рода физических величин при помощи особых, целесообразно устроенных приборов, подвергаемых последовательным усовершенствованиям. В теснейшей с ним связи находится искусство правильной научной обработки того сырого материала, который дают результаты произведенных измерений. Наконец, сюда же относится умение устроить, при помощи нередко весьма сложных приборов, обстановку, соответствующую тем специально выбранным условиям, при которых должно быть наблюдаемо то или другое физическое явление. Ни о какой точности измерений, при которой обращалось бы необходимое внимание на все обстоятельства, могущие влиять на результат измерения и тем самым умалить их точность, и говорить не приходится до 1823 г. Типичными примерами могут служить измерения коэффициента теплового расширения газов Гей-Люссаком (1802) и теплоемкости газов Деларош и Бераром (1812). Работы Реньо, этого великого учителя экспериментальной физики, который в длинном ряде классических работ показал, как следует производить измерения физических величин и подвергать результаты этих измерений истинно научной обработке, начались в тридцатых годах. Даже такие величины, как длина, т. - е. расстояние двух точек, и вес тел, измерялись до 1823 г. весьма неточно. Измерительные приборы того времени и не могли дать сколько-нибудь точных результатов.

Мы рассмотрели те четыре части, из которых складывается содержание физики. Сказанное вполне подтверждает нашу мысль, что физика до 1823 года, а тем паче до 1808 года была лишь прелюдией, или даже только настройкой инструментов, настоящая игра которых, сливаясь в великую и чудную научную симфонию, началась не более, как сто лет тому назад. Следовательно, и невелика натяжка, если мы говорим, что те пятьдесят лет, характеристике которых посвящена эта книга, заключают в себе половину или почти половину истории физики, как мы теперь понимаем эту науку, ее задачи и ее метод. Отсюда видно, что вопрос сводится к сравнению тех научных достижений, которые оказались результатом двух, по продолжительности равных или почти равных между собой частей истории физики.

Мы, конечно, не намереваемся писать истории развития физики за первое из двух полустолетий (1823—1873), но мы непременно должны, хотя бы вкратце, напомнить достижения этого первого полустолетия, т.-е. указать существенное содержание различных частей физики 1873 года и ее наиболее важные, характерные черты в эту отдаленную от нас эпоху. Без этого мы, очевидно, не сумеем показать, чем физика 1923 года отличается от физики 1873 года.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Физика пятьдесят лет тому назад.

§ 1. Атомная теория. Главную основу химии и одну из основ физики представляло, пятьдесят лет тому назад учение об атомах и молекулах; на нем нет надобности подробно останавливаться. Всем известно, что химически чистые вещества бывают двух родов: простые, или элементы, и сложные, или химические соединения; мы исключаем из рассмотрения вещества неоднородные, как, например, смеси твердых веществ, а также смеси жидкостей (спирт и вода), газов (воздух), растворы и сплавы. Заметим, что слово „вещество“ (материя) весьма часто, хотя и неправильно, заменяют словом „тело“. Медь, поваренную соль, сахар называют телами твердыми; воду, спирт, эфир — телами жидкими; кислород, хлор, углекислый газ — телами газообразными; строго говоря, это не тела, но вещества. Простые вещества или элементы составлены из атомов, вполне одинаковых между собою. Если эти атомы не связаны по два или по три между собою, то такой элемент называется одноатомным. Сюда относятся благородные газы (аргон, неон, криптон, ксенон и гелий), пары калия, натрия, ртути, кадмия и, вероятно, всех других металлов. Есть причины предполагать, что и в твердом виде металлы одноатомны. Газы: кислород, азот, водород, хлор и некоторые другие двуатомны; они состоят из молекул, содержащих каждая два связанных между собой атома. Химические соединения состоят из молекул, из которых каждая содержит атомы двух, трех, четырех и большего числа элементов. Химия, как неорганическая, так и

органическая дошли к рассматриваемому нами времени (около 1873 г.) до высокой степени развития. Важнейшим ее достижением являлась тогда периодическая система элементов, созданная нашим Д. И. Менделеевым, одним из величайших ученых всех времен. Истинный смысл этой системы выяснился, как мы увидим, только в сравнительно недавнее время (1913 г.).

Со значительной точностью были в то время уже известны атомные веса различных элементов, при чем за единицу принимался вес одного атома водорода, так что атомный вес элемента показывал, во сколько раз вес одного атома этого элемента больше веса одного атома водорода. Некоторые числовые величины атомных весов будут приведены впоследствии. Весьма важно отметить, что атомы считались в то время безусловно неделимыми или, выражаясь точнее — неделившимися ни при каких условиях. Их считали за наиболее мелкие частицы данного вещества и невольно их представляли себе в виде весьма маленьких шариков, по самому своему существу отличающихся друг от друга. Полагали, что, например, атом меди тем и отличается от атома серы, что первый есть мельчайший кусочек меди и, как таковой, состоит из меди, а второй — из серы. Число элементов, которое в то время было известно, равнялось приблизительно семидесяти пяти. Таким образом, допускалось, что окружающий нас и доступный нашему наблюдению мир соткан из большого числа, а именно около семидесяти пяти существенно между собою различных веществ, играющих роль первичных агентов. Такое допущение соответствует весьма сложному и потому мало удовлетворительному миропониманию, далекому от того идеала, который давно мерещился человечеству и который ему подсказывал, что основы, на которых построен мир, должны быть весьма просты.

Понятно, что при том взгляде на атомы, который существовал в рассматриваемое время, не мог возникнуть вопрос о какой-либо структуре атома и, очевидно, связанный с ним вопрос о возможности распада атома. Тем более не могла допускаться мысль о превращении одних

элементов в другие. Старая мечта алхимиков должна была казаться несбыточной, смешной, так как атомы неодинаковых элементов суть зернышки по существу различных веществ.

§ 2. **Механика.** Мы уже указали (стр. 9), что механика, т.-е. учение о движении и о силах, была уже к началу двадцатых годов XIX столетия доведена до высокой степени развития, нам нет надобности говорить о том, что к ней было добавлено к тому времени, которое мы сейчас рассматриваем. Упомянем только, что широко развились к этому времени теория упругости твердых тел и гидродинамика, т.-е. учение о движении жидкостей.

Отметим, что развитие акустики, т.-е. учения о звуке, можно считать, к тому времени, почти вполне завершенной, и не только в тех ее частях, которые по существу представляют отделы теории упругости. Работы Гельмгольца, выяснившие сущность того явления, которое называется оттенком звука, и давшие анализ и синтез звуков, соответствующих различным гласным буквам, придали акустике почти законченную форму.

Мы бы и не упомянули здесь о механике, если бы эта наука, которую, как мы видели, не следует рассматривать как особый отдел физики, не играла совершенно исключительной роли как раз пятьдесят лет тому назад. Можно сказать, что механика составляла одну из основ, пожалуй, даже главную основу всего миропонимания того времени; ею была пропитана вся физика, над всеми отделами которой она полновластно господствовала; ее безапелляционно решающий голос звучал во всех проблемах, которыми занималась физика того времени. Нетрудно объяснить, каким образом механика приобрела такое значение, которое нам дает право говорить о механическом миропонимании, господствовавшем пятьдесят лет тому назад в физике. В простейшей форме можно причину такого направления научной мысли выразить словами: понятным казалось, а потому и считалось, только такое объяснение физических явлений, в основе которого лежат законы механики, а эти последние принимались как нечто данное, исходное, твердо и незыблемо установленное, как нечто привычное, а потому и—якобы—

понятное. Поэтому и всевозможные физические явления казались и считались понятными, т.-е. объясненными, когда удавалось свести их к действиям сил и вызванным ими движениям, при чем эти действия и эти движения подчинялись установленным законам механики. Силы могли исходить от цельных тел или от атомов и молекул, или, наконец, от частиц иных агентов, существование которых гипотетически предполагалось, как, например, от частиц электричества и эфира. Допускалось, что силы могут быть разного рода, что, например, зависимость силы взаимодействия двух частиц от расстояния между ними может, в различных случаях, быть не одинаковой, так что закон обратного отношения квадратам расстояний представлялся лишь одним частным случаем из множества других возможных и действительно в природе встречающихся. Здесь считалась допустимой какая угодно гипотеза; но раз она была введена, то дальнейшая, дедуктивно на ней строившаяся теория, которая должна была объяснить ту или другую группу физических явлений, уже пользовалась твердо установленными законами механики. Тут не допускалось ни малейшего колебания или сомнения. Гипотезы могли касаться какой угодно количественной или качественной стороны „закулисного“, нашему непосредственному наблюдению недоступного мира; но относительно законов механики не допускались никакие гипотезы. Теория, которая вводила бы какие-либо, хотя бы весьма малые изменения в основные законы механики, была бы всеми безусловно отвергнута, была бы признана ненаучной или даже нелепой.

Идеалом представлялось такое развитие физики, при котором всякое физическое явление было бы объяснено чисто механически, т.-е. представлялось бы понятным, как следствие некоторых гипотетических предпосылок, подвергнутых чисто дедуктивной обработке при помощи законов механики. Короче можно сказать: незыблемой, неприкосновенной основой физики служит механика; объяснение явлений может быть только механическое. Физика будет наукой законченной, когда все явления окажутся сведенными к игре сил и движений. Понятно то, что объяснено механически. Пятьдесят лет тому назад царствовало в физике механическое миропонимание.

И нельзя не признать, что оно достигло поразительных результатов. Его правильность подтверждалась успехами во всех отделах физики, блестящее развитие которых было всецело построено именно на механическом миропонимании. Метод применения механики не только объяснял явления с качественной и количественной стороны, т.-е. доказывал их необходимость, как неизбежное, логическое следствие допущенных гипотез, но и давал возможность предсказать новые явления, никогда еще не наблюдавшиеся, описать их детально, опять-таки с качественной и с количественной стороны. И предсказания теории оправдавались, когда их подвергали экспериментальной проверке. Таким образом, был открыт целый ряд новых физических явлений, существование которых ни кем не подозревалось, и между ними такие, относительно которых можно было считать мало вероятным, чтобы они могли быть открыты, хотя бы случайно, обычным экспериментальным способом. Один, особенно поразительный пример именно такого неожиданного открытия, основанного на чисто теоретических выводах, будет рассмотрен ниже. Такие успехи, такое, можно сказать, победоносное шествие механических теорий и привели к тому торжеству механического миропонимания, которое составляет наиболее характерную черту физики пятьдесят лет тому назад. Оно находило как бы поддержку и подтверждение в успехах астрономии, специально — небесной механики. Кому неизвестна история открытия Нептуна французским астрономом Леверрье! Можно сказать, что механическое миропонимание господствовало пятьдесят лет тому назад не только в физике, но вообще во всех науках, которые имеют дело с мертвой природой.

§ 3. Закон сохранения энергии. Пятьдесят лет тому назад научная сокровищница физики уже содержала два великих закона, которыми управляются все физические явления, и которые, как мы уже упоминали, ныне чаще всего называются первым и вторым началом, причем обычно не прибавляется подразумеваемое слово „термодинамики“. Из них первое начало в самом общем его виде и есть так называемый принцип сохранения энергии, впервые ясно сформулированный Гельмгольцем (Helmholtz) в 1847 г. Второе начало мы рассмотрим ниже. Напом-

ним вкратце, в чем заключается принцип сохранения энергии.

Мы говорим, что производится работа, когда преодолевается какое-либо сопротивление. Так, например, совершается работа при поднятии груза (единица работы — килограмм-метр), при изменении формы (деформации) твердого тела, при движении тела в сопротивляющейся среде (воздух, вода), при трении, при плавлении и испарении тел (преодолеваются силы сцепления, действующие между частицами вещества), при разложении химически сложного вещества (не во всех случаях) и т. д. Если тело (или система тел) способно произвести работу, то мы говорим, что оно обладает энергией. Существуют многие различные случаи или формы энергии. Все они разделяются на две группы: на энергию кинетическую и на энергию потенциальную. Все формы энергии кинетической, явной или энергии движения, характеризуются тем, что мы, во всех случаях, имеем дело с каким-либо движением. Формы кинетической энергии суть:

1. Движущееся тело, причем движение может быть поступательное, вращательное или какое-либо иное. Ясно, что всякое движущееся тело способно преодолеть некоторое, хотя бы и весьма небольшое, сопротивление. Энергия движущегося тела еще называется живой силой, термин, сам по себе бессмысленный, устарелый, однако, до сих пор сохранившийся.

2. Теплота есть форма кинетической энергии, так как она определяется живой силой движения молекул атомов, а может быть и электронов. Чем быстрее происходят эти движения, тем выше температура данного тела. Способность теплоты производить работу обнаруживается паровым двигателем.

3. Лучистая энергия, т. е. видимый свет, спектр которого тянется от красных лучей до фиолетовых, и лучи невидимые, а именно: инфракрасные, спектр которых расположен за красным концом видимого спектра; лучи Герца (Hertz), называемые также лучами электрическими — их спектр находится за инфракрасным спектром; лучи ультрафиолетовые — за фиолетовым концом видимого спектра;

наконец, лучи Рентгена, спектр которых расположен далеко за спектром лучей ультрафиолетовых.

4. Электрический ток может производить работу, как это доказывается разнообразными электрическими двигателями; следовательно, он обладает энергией и притом, несомненно, кинетической, так как его сущность сводится к движению электричества.

Энергия потенциальная, которая еще называется энергией положения или энергией скрытой, характеризуется тем, что во всех ее формах мы имеем дело с совокупностью двух тел, которые стремятся либо приблизиться друг к другу, как бы взаимно притягиваются, либо удалиться друг от друга, как бы взаимно отталкиваются. Мы здесь можем иметь дело с двумя телами в обычном смысле слова, или с двумя молекулами, атомами или электронами. Притягиваясь или отталкиваясь, два тела приходят в движение и, при этом, очевидно, могут совершать работу. Отсюда ясно, что такие два тела, оставаясь неподвижными на своих местах, обладают, однако, способностью производить работу, т.-е. энергией, которая и называется энергией потенциальной. Ее формы следующие:

5. Потенциальная энергия тел, притягивающихся по закону всемирного тяготения. Частный случай: энергия приподнятого груза или, точнее, совокупности земного шара и приподнятого груза. Последний, опускаясь, может совершить работу, на которую груз, лежащий на поверхности земли, очевидно, неспособен.

6. Энергия положения однородных частиц, между которыми действуют так называемые молекулярные силы, иногда еще называемые силами сцепления. Сюда относится энергия упруго-измененного твердого тела, например, энергия пружины. Сюда же следует отнести ту потенциальную энергию жидкости, которую она приобретает при возникновении из тела твердого (при плавлении) и, вообще огромная, потенциальная энергия пара или газа, которая в нем возникает, когда он образуется из соответствующей ему жидкости, т.-е. при испарении. При этом предполагается, что плавление и испарение не сопровождаются изменением температуры.

7. Энергия положения разнородных частиц, т.-е. энергия химическая. Два грамма водорода и 16 граммов кислорода, находящихся в двух различных сосудах, или даже смешанные между собой, могут, химически соединяясь между собой, сделаться источником работы.

8. Энергия электростатическая, т.-е. энергия электрических зарядов. Заряженный конденсатор, например, заряженная лейденская банка, представляет пример тела, обладающего этой формой потенциальной энергии.

9. Энергия магнитная, т.-е. энергия совокупности двух магнитов, полюсы которых взаимно притягиваются или отталкиваются по всем известному закону.

Изучение всевозможных форм энергии приводит к следующим важнейшим результатам, которые мы сопоставляем без всяких подробных объяснений только для того, чтобы напомнить о них читателям.

А. Когда тело (или система тел) обладает энергией, то оно может произвести лишь вполне определенную, в количественном отношении, работу. По мере того, как работа производится, уменьшается та работа, которую тело (или система) может произвести. Отсюда возникает мысль о запасе энергии, которым обладает тело (или система). Этот запас уменьшается, когда тело (система) производит работу и может дойти до полного истощения. Легко убедиться в справедливости сказанного для всех вышеперечисленных форм энергии. Мерию энергии служит та работа, которая может быть произведена на ее счет. Затраченная энергия и полученная работа называются эквивалентными. Два запаса энергии различных видов также называются эквивалентными, или просто равными, если при их затрате получается одинаковая работа, например одинаковое число килограммо-метров.

В. Результатом всякой произведенной работы является возникновение нового запаса энергии какой-либо из перечисленных выше форм. Этот новый запас с точностью эквивалентен произведенной, или, как говорят в этом случае, затраченной работе. Ясно, что эта вновь возникающая энергия с точностью эквивалентна той энергии, которая была первоначально затрачена на производство работы.

С. Принцип сохранения энергии: энергия неуничтожаема; она не может ни исчезнуть, ни вновь возникнуть. Это вот что значит. Назовем замкнутой такую систему, т.-е. совокупность произвольного числа каких угодно различных тел, к которой извне не притекает энергия и которая не теряет энергии во внешнее пространство. Можно вообразить, что система окружена оболочкой, непроницаемой для всех видов энергии. В таком случае можно принцип сохранения энергии так формулировать: в замкнутой системе сумма энергий остается неизменной, какие бы физические или химические явления, или, как говорят, процессы в ней ни происходили. Каждый из запасов различных энергий, находящихся в этой системе, может уменьшиться или даже исчезнуть, когда на ее счет совершается работа, в результате которой, однако, непременно появится новый запас, хотя бы и совершенно другого вида, энергии, который с точностью эквивалентен запасу, первоначально исчезнувшей энергии. Сумма всех энергий остается неизменной.

Этот закон уже служил, пятьдесят лет тому назад, основой при всех теоретических рассуждениях и выводах, касавшихся физических и химических явлений. Весьма важно отметить, что этот закон имеет чисто количественный характер. Эквивалентность, т.-е. равенство, исчезнувшей и возникшей энергий дает нам закономерные количественные связи между теми физическими величинами, от которых эти две энергии зависят. Этот закон, господствующий над всеми явлениями, происходящими в окружающем нас и доступном нашему наблюдению мире, показывает, что этот мир не есть хаос, но есть мир, в котором господствует определенный порядок, определенная строгая закономерность. На все происходящие в мире физические и химические явления можно смотреть как на разнообразные переходы одних видов энергии в другие. Из закона сохранения энергии получается ряд следствий, которые мы теперь изложим.

Невозможен перпетуум мобиле (*perpetuum mobile*), т.-е. такая машина, которая непрерывно давала бы работу, без того, чтобы извне притекали к ней новые запасы энергии взамен тех, которые расходуются на производство работы. Точнее, такая воображаемая, но неосуществимая ма-

шина называется перпетуум мобиле первого рода, в отличие от перпетуум мобиле второго рода, о котором будет сказано ниже.

Мы видим, что теплота представляет один из видов энергии. Отсюда следует, что теплота эквивалентна работе. Это значит, во-первых, что теплота может быть затрачена на производство работы (тепловые машины) и, во-вторых, что результатом какой-либо произведенной работы может получиться теплота, как, например, при трении или когда электрический ток течет по проволоке, при чем работа электрических сил, двигающих электричество, дает в результате ту теплоту, которая нагревает проволоку (электрическое освещение). Спрашивается, какие количества теплоты и работы друг другу эквивалентны. Работу измеряют чаще всего в килограмм-метрах; но пользуются и другой единицей работы, которая называется „джуль“ и которая приблизительно равна 0,102 кгр.-м. Теплоту обычно измеряют калориями, большими или малыми. Большая калория равняется тому количеству теплоты, которое нагревает один килограмм воды от $14\frac{1}{2}^{\circ}$ до $15\frac{1}{2}^{\circ}$; малая калория в тысячу раз меньше, т.-е. дает то же самое нагревание грамма воды. Оказалось, что одна большая калория эквивалентна 426 килогр.-метрам. Последняя величина называется механическим эквивалентом тепла; обратная ей величина, $\frac{1}{426}$ большой калории, которая эквивалентна одному килогр.-метру называется термическим эквивалентом работы. Проще всего принять за единицы количества теплоты и работы эквивалентные друг другу величины и придать им одно общее название. Так и поступают, принимая за единицу то количество теплоты, которое эквивалентно одному джолю работы, и называя его также джулем. В этом случае механический эквивалент теплоты и термический эквивалент работы, очевидно, равны единице. Оказывается, что одна малая калория равна 4,1842 джуля.

§ 4. Кинетическая теория вещества. В теснейшей связи с учением об энергии и об эквивалентности теплоты и работы возникла кинетическая теория вещества и прежде всего

кинетическая теория газов (пятидесятые годы), благодаря работам немецкого ученого Клаузиуса (Clausius) и Максвелла (Maxwell), предшественниками которых являются Д. Бернулли (Daniel Bernoulli, 1700—1782) Герпат (John Herapath, 1796—1867), Джуль (Joule, 1818—1889) и в особенности Крениг (Krönig, 1822—1879). Пятьдесят лет тому назад кинетическая теория вещества уже достигла полного своего развития, составляя одну из важнейших основ физики того времени. Мы здесь напомним, прежде всего, исходные гипотезы и главнейшие выводы кинетической теории газов. Она предполагает, что в газах частицы находятся настолько далеко друг от друга, что их взаимодействием, так называемыми силами сцепления, можно пренебречь. Поэтому частицы газов движутся прямолинейно, с постоянной скоростью, пока они не ударятся о какую-либо преграду, например, стенку сосуда, в котором газ находится, или о другие частицы того же газа. Этой гипотезой вполне объясняется, почему газ не может граничить с пустотой, но всегда занимает весь тот объем, который ему предоставлен. Эта же гипотеза указывает нам на механизм возникновения того давления, которое испытывают все тела, находящиеся в соприкосновении с газом. Такие тела, твердые или жидкие, подвергаются со стороны газа молекулярной бомбардировке, т.-е. бесчисленным ударам газовых частиц, налетающих на них со всех сторон и отскакивающих от них по законам, по которым происходит удар вполне упругих тел, например, шара резинового или из слоновой кости (на биллиарде). Закон Бойля-Мариотта, по которому давление данного количества газа при низкой температуре обратно пропорционально объему, занимаемому этим газом, объясняется тем, что при увеличении объема данного количества газа в несколько раз, во столько же раз уменьшается молекулярная бомбардировка со стороны молекул газа, а следовательно, и давление газа на поверхность тела, с которым он соприкасается. Строгий вывод закона Бойля-Мариотта дал Клаузиус, основываясь на законах механики.

Кинетическая энергия молекулы состоит, в самом общем случае, из трех частей: 1) энергия поступательного движения молекулы, пропорциональная ее

массе и квадрату ее скорости; 2) энергия вращательного движения молекулы, пропорциональная ее моменту инерции относительно оси вращения и квадрату ее угловой скорости; 3) энергия интрамолекулярная, т.-е. энергия движений, например, колебаний тех атомов, из которых состоит молекула. Для одноатомных газов существует только первая, т.-е. энергия поступательного движения, так как оказывается, что энергия вращательного движения равна нулю или ею можно пренебречь, вероятно, вследствие незначительности момента инерции. Для одноатомных твердых тел мы имеем энергию тех колебательных движений, которые атомы совершают около некоторых средних положений.

Приводим те результаты, к которым пришел Клаузиус (1857) на основании своих вычислений.

I. Давление газа, при неизменном объеме, пропорционально кинетической энергии поступательного движения всех его молекул.

II. Если два газа занимают, при одинаковой температуре, одинаковые объемы и производят одинаковые давления, то содержащиеся в них запасы энергии поступательного движения молекул одинаковы.

Закон Гей-Люссака говорит, что, при постоянном внешнем давлении, объем газа пропорционален абсолютной температуре, а при постоянном объеме давление газа пропорционально абсолютной температуре.

Напомним, что абсолютная температура получается, если к обыкновенной температуре, отсчитанной по шкале Цельсия, прибавить число 273, или, иначе, абсолютная температура считается по шкале Цельсия, при чем начало шкалы принимается при температуре, лежащей на 273° ниже температуры таяния льда; последняя температура, т.-е. -273° Ц. называется абсолютным нулем температуры.

Если сопоставить вторую формулировку закона Гей-Люссака с первым из вышеприведенных законов, то получается фундаментальный закон теоретической теории газов.

III. Кинетическая энергия поступательного движения молекул газа растет пропорционально абсолютной температуре газа. Этот закон раскрывает перед нами истинный физиче-

ский, или, если угодно, механический смысл той величины которая называется температурой. Оказывается, именно, что температура газа, и не только газа, но и всякого другого вещества, определяется скоростью частиц, из которых состоит это вещество. Можно, конечно, сказать и обратно, что скорость частиц зависит от температуры, но это будет менее научно, ибо остается неясным, что же такое температура. Так как кинетическая энергия поступательного движения частиц пропорциональна квадрату скорости этого движения, то из закона III следует:

IV. Квадрат скорости молекул данного газа растет пропорционально абсолютной температуре, или скорость молекул пропорциональна корню квадратному из абсолютной температуры. Добавим, что скорость молекул данного газа зависит только от температуры и, конечно, не меняется, если газ сгущать или разрезать.

Грамм-молекулой какого-либо вещества называется такое его количество, которое содержит столько граммов, сколько единиц содержится в молекулярном весе этого вещества, например 2 грамма водорода, 32 грамма кислорода, 18 граммов воды, 44 грамма углекислого газа, 58,5 грамма поваренной соли, 342 грамма сахара ($C_{12}H_{22}O_{11}$) и т. д. Легко сообразить, что одна грамм-молекула вещества содержит всегда одно и то же число молекул, какое бы мы ни взяли вещество. Весьма важное в физике число молекул в одной грамм-молекуле называется числом Авогадро (Avogadro, итальянец, 1776 — 1856) и обычно обозначается буквой N . Оказывается, что

$$N = 6,06 \cdot 10^{23}.$$

Авогадро дал следующий закон, относящийся к газам: в одинаковых объемах различных газов, находящихся при одинаковой температуре и при одинаковом давлении, находится одинаковое число молекул (или атомов, когда газ одноатомный). Из этого закона легко получается еще такой результат: грамм-молекулы различных газов занимают при одинаковых температурах и давлениях одинаковые объемы. При температуре $0^\circ C$ и нормальном атмосферном давлении (760 мм ртути) грамм-молекула любого газа занимает объем, равный 22,42 литра, или 22420 куб. сантиметрам; в этом

объеме содержатся N (см. выше) молекул, а в одном куб. см

$$n = 2,7 \cdot 10^{19} \text{ молекул.}$$

Мы говорили до сих пор о скорости газовых молекул, как будто при данной температуре все молекулы данного газа обладают одинаковой скоростью. Однако, это неверно; вследствие столкновений между молекулами, их скорости подвергаются непрерывным изменениям. При огромном числе молекул, мы, в данный момент, найдем между ними молекулы, которые обладают всевозможными скоростями, от сравнительно малых до весьма больших. Но огромное большинство молекул обладают скоростями, которые не очень удаляются от некоторой скорости, характерной для данного газа при данной температуре. Максвелл (Maxwell) дал закон распределения скоростей между молекулами газа. Назовем среднюю скорость (точнее она называется средней квадратичной скоростью) газовых молекул такую скорость, квадрат которой равняется обыкновенному среднему значению из квадратов всех скоростей всех молекул данного количества газа. Так как квадрат скорости поступательного движения молекул определяет собою их энергию, то ясно, что молекула, имеющая среднюю скорость, обладает и среднюю из энергий всех частиц. Если бы все молекулы обладали тою скоростью, которую мы назвали средней, то весь запас энергии поступательного движения, которым тогда обладал бы газ, равнялся бы тому запасу, который действительно содержится в газе, молекулы которого движутся с различными скоростями согласно закону, данному Максвеллом. Где в предыдущем говорилось о скорости молекул, надо везде понимать среднюю, вернее — среднюю квадратичную скорость; где говорилось об энергии поступательного движения частиц определенного количества данного газа, конечно, подразумевалась сумма таких энергий для всех молекул этого газа.

Соединяя закон II с законом Авогадро, мы находим, что, при одинаковой температуре, энергии поступательных движений молекул различных газов равны между собой.

Клаузиус дал формулу для вычисления средней (мы это слово дальше не будем прибавлять) скорости этих, столь

различных частиц, обладающих, при заданной температуре одинаковой энергией. Так как рассматриваемая энергия пропорциональна произведению массы на квадрат скорости, то ясно, что мы получаем следующий закон:

V. При данной температуре квадрат скорости поступательного движения атомов, молекул и групп молекул обратно пропорционален их массе, или скорость обратно пропорциональна квадратному корню их массы. Так, скорость молекулы кислорода в четыре раза меньше скорости молекулы водорода.

Законы IV, который также относится к группам молекул, и V дают нам зависимость скорости от температуры и от массы отдельно движущихся атомов, молекул и групп. Достаточно знать скорость молекул какого-либо одного газа при какой-либо одной температуре, чтобы можно было легко вычислить скорости для каких угодно атомов, молекул и групп, и притом при каких угодно температурах. Формулы, выведенные Клаузиусом, дают для скорости молекул кислорода при 0° число

$$\| \quad 461 \text{ метр в секунду.}$$

Скорость молекул водорода в 4 раза больше; при 1000° она уже равна $3980 \frac{\text{м.}}{\text{сек.}}$, при -270° (3° abs.) она равна $193,2 \frac{\text{м.}}{\text{сек.}}$.

Частицы газов сталкиваются между собою и при этом меняют направление своих движений. Клаузиус (1858) ввел понятие о средней длине пути газовой молекулы; этот общепринятый термин делается сразу вполне понятным, если прибавить слова „между двумя столкновениями“. Прямолинейные пути, пробегаемые молекулой от одного столкновения до следующего, очевидно, должны быть весьма неодинаковой длины, так как случайность должна здесь играть весьма большую роль. Если, однако, взять огромное число таких путей, проходимых триллионами частиц, и вычислить их среднее значение, то эта величина, которая и называется „среднею длиною пути“, будет вполне определенной, зависящею только от степени сжатия газа и от размеров молекул. Легко понять, что средняя длина пути должна быть тем меньше, чем более газ сжат, и чем

больше размеры самих молекул. И, действительно, вычисления показывают, что средняя длина пути обратно пропорциональна давлению, под которым находится газ, или, что то же самое, упругости газа. Среднее число столкновений, претерпеваемых одной молекулой в одну секунду, при неизменной температуре, а следовательно и неизменной скорости молекул, прямо пропорционально упругости данного газа. С повышением температуры, среднее число столкновений одной частицы в секунду должно увеличиться.

Оказывается возможным вычислить, сколько частиц проходят, в какое-либо заданное время, определенную часть или определенное кратное среднего пути, который мы для удобства обозначаем буквою L . Оказывается, что только 1% всех пройденных путей меньше $0,01L$; 39% всех путей меньше $0,5L$ и 63% меньше L . Остальные 37% проходимых путей больше L , при чем 14% больше $2L$ и только 1% больше $5L$. Очень короткие и очень длинные пути встречаются, сравнительно, весьма редко. Клаузиус вычислил среднюю длину пути L и нашел поразительный результат. Для такого газа, как кислород, азот или просто воздух, под нормальным атмосферным давлением, средняя длина пути приблизительно равна

$$L = 0,0001 \text{ миллиметра,}$$

т.-е. одной десятитысячной доле миллиметра; этот путь меньше самой малой величины, которую можно разглядеть в микроскоп. Разделив скорость молекулы на среднюю длину пути, мы получаем среднее число столкновений, претерпеваемых одной молекулой в одну секунду. Однако, здесь надо брать не ту среднюю скорость, о которой говорилось выше и которую, как мы видели, точнее следует назвать среднюю квадратичную скоростью, но простую арифметическую скорость, которая, как показывает вычисление, на 80% меньше. Для кислорода при 0° последняя равна $425 \frac{\text{метр.}}{\text{сек.}}$. Разделив 425 м. на 0,0001 мм, мы находим, что молекула кислорода при „нормальных“ условиях, т.-е. при 0° и давлении в 760 мм. ртутя, претерпевает

4250 миллионов столкновений в одну секунду.

Если мы сдавим этот газ до одной пятисотой нормального объема, то число столкновений в секунду увеличится еще в 500 раз, а если температуру поднять до 1000° , то оно увеличится еще в два раза! Для водорода при нормальных условиях мы имеем 9480 миллионов столкновений в секунду. Зато при высокой степени разрежения газа и весьма низкой температуре, число столкновений чрезвычайно уменьшается. Так, например, при давлении в одну тысячемиллионную долю атмосферы и при -270° Ц получается лишь одно столкновение в 2,5 секунды.

Огромное число столкновений, которое приходится на каждую молекулу газа при обычных условиях, вполне объясняет, почему диффузия газов, т.-е. проникновение одного газа в другой, происходит весьма медленно. Так, например, запах такого газа, как сероводород, хлор, аммиак, распространяется в воздухе чрезвычайно медленно, сравнительно со скоростью движения молекул.

Мы видим, что кинетическая теория газов не только легко объясняет характерные свойства газов, но и дает возможность количественного определения величин, которые играют главную роль в этой теории, как, например, число молекул, их скорость и средняя длина пути. Однако, эта теория пошла еще гораздо дальше; она смогла предсказать такие свойства газов, которые, до их чисто теоретического вывода, не только не были известны, но существование которых не могло подозреваться. Укажем на два свойства газов, которые были открыты путем не экспериментальным, но чисто теоретическим. Как известно, различные вещества обладают неодинаковой теплопроводностью или, выражаясь условно, что теплота течет в них неодинаково быстро. Газы сравнительно весьма плохо проводят теплоту. Вероятно, всякому покажется, что сгущенный газ должен лучше проводить, чем разреженный. Однако, Максвелл вывел (1860) теоретически, что теплопроводность газа не зависит от его упругости, т.-е. от степени его сгущения или разрежения, если только то или другое не чрезмерно велики, т.-е. газ не приближается к жидкому состоянию, или разрежение не очень велико; в последнем случае теплопроводность уменьшается. Но все же в широких пределах изменения плотности данного газа

его теплопроводность не должна меняться. Этот, теоретически выведенный результат казался мало вероятным, но опытные исследования доказали справедливость предсказания кинетической теории, обнаружив, что теплопроводность газа, действительно, в очень широких пределах не зависит от его упругости. Таким образом, было открыто новое и, можно сказать, неожиданное свойство газов, и физика обогатилась новым, интересным фактом, благодаря чисто теоретическим соображениям и выводам.

Второй случай подобного же предсказания относится к внутреннему трению в газах. Когда различные части, например, слои газа движутся с неодинаковой скоростью, то между ними действуют силы трения. Несомненно, всякому покажется, что это трение должно быть тем больше, чем более данный газ сгущен. И в этом случае теория дала неожиданный результат, что, в широких пределах, внутреннее трение не зависит от степени сгущения или разрежения газа, а экспериментальная проверка подтвердила этот вывод теории, которая, таким образом, открыла новое свойство газов и обогатила физику еще одним важным и интересным фактом.

Мы изложили некоторые из основных выводов кинетической теории газов, далеко не исчерпав того, что в ней содержалось пятьдесят лет тому назад. Важно заметить, что и все дальнейшие ее выводы были, к тому времени, получены тем же путем применения законов механики к газу, внутренняя структура которого определяется указанными нами основными гипотезами кинетической теории газов. Отметим в заключение, что молекулярно-кинетическая гипотеза распространялась также и на жидкие и на твердые тела, в которых, однако, характер движения молекул предполагается иным, чем в газах.

Мы сочли нужным довольно подробно остановиться на основных вопросах кинетической теории вещества вообще и газов в особенности, так как эта теория является особенно характерной для физики пятьдесят лет тому назад.

§ 5. Второе начало термодинамики. Пятьдесят лет тому назад термодинамика уже успела достигнуть значитель-

ных успехов; ее основные положения можно было считать окончательно сформулированными и примененными во всех тех случаях, к которым такое применение в то время должно было казаться возможным. Термодинамика, как наука, построенная на определенном, хотя и весьма различно сформулированном постулате, казалось, достигла в то время значительной степени завершения; казалось, что ничего существенно нового к ней не будет прибавлено.

Напомним еще раз, что термодинамика может быть названа наукой о так называемых двух „началах“ и о тех последствиях, которые из нее вытекают. Первое начало можно считать тождественным с принципом сохранения энергии вообще, и в особенности с его применением к явлениям тепловым. Теплота есть форма энергии, теплота эквивалентна работе—так иногда формулируют первое начало термодинамики.

Второе начало еще известно под названиями: принцип рассеяния энергии, принцип возрастания энтропии, принцип невозможности перпетуум-мобиле второго рода и др.; наиболее употребительно, однако, говорить о „втором начале“. Мы, очевидно, не имеем возможности изложить, в этой книге, сколько-нибудь подробно, основы второго начала. Однако, чтобы впоследствии иметь возможность выяснить сущность эволюции термодинамики за последние пятьдесят лет, мы должны иметь отчетливую картину термодинамики начала семидесятых годов и ее наиболее характерных черт. Мы должны ограничиться определением важнейших величин, с которыми имеет дело термодинамика, и основных выводов, к которым приходит эта наука, название которой мы смело можем употреблять как синоним „второго начала“, так как первое начало, принцип сохранения энергии, по своей сравнительной простоте, можно сказать, относится к элементарной физике¹⁾.

¹⁾ Более подробное, популярное изложение основ термодинамики можно найти в моей книге „Физика и ее значение для человечества“, 1923. глава VII стр. 166—192, Госиздат, а также в моей статье „Основы термодинамики“ в серии книжек „Новые идеи в физике“, вышедших под редакцией покойного проф. И. И. Борзмана, изд. Когляра, часть VI, стр. 1—76, 1913 г.

Мы видели, что первое начало дает возможность определить те чисто количественные законы, которые господствуют в происходящих вокруг нас физических явлениях. Оно отвечает на вопрос: как происходят эти явления? Но оно ничего не говорит нам о том, что же фактически происходит, какие явления должны возникать при тех или иных заданных условиях. Вот на этот вопрос и отвечает второе начало. Мы назовем процессом всякую отдельно взятую переменную, происходящую в какой-либо части мертвой материи. Примерами таких процессов могут служить: переход теплоты от одного места к другому, переход теплоты в работу, или работы в теплоту, растворение, выделение растворенного, плавление, затвердевание, испарение, ожидение, диффузия, изменение давления, объема или температуры, переход одного вида энергии в другой, изменение электризации или намагничения, упругая деформация твердого тела, всякая химическая реакция и т. д.

Ко всякому процессу можно указать другой, ему противоположный. Сжатие и разрежение, растворение и выделение, плавление и затвердевание, переходы работы в теплоту и теплоты в работу, взаимная диффузия двух веществ и их отделение друг от друга и т. д. суть примеры процессов противоположных. Мы говорим, что такие два процесса текут по противоположным направлениям. Если процесс заключается в возникновении какой-либо из перемен, примеры которых были выше приведены, то эта переменная при противоположном процессе как бы уничтожается. Оказывается, однако, что противоположный процесс, по своему характеру и общему течению, весьма существенно отличается от процесса первого. Весьма часто оказывается, что какой-либо процесс происходит легко и просто, а противоположный — только при очень сложных, сопровождающих его, манипуляциях. Достаточно двух примеров. Два соприкасающихся газа легко диффундируют друг в друга, т.-е. смешиваются между собой; обратный процесс отделения этих двух газов друг от друга, конечно, возможен, но для этого требуются сложные физические и, почти всегда, химические манипуляции. Легко получить теплоту, как результат произведенной работы (удар, трение) и в древнейшие времена, и ныне дикие народы, добывают огонь трением. Получение

работы, путем затраты теплоты представляет процесс весьма сложный, и лишь сравнительно недавно человечество додумалось до выполнения такого процесса: оно изобрело паровой двигатель. Легко убедиться, что сказанное относится ко всем вышеперечисленным процессам. Важно заметить, что, какой бы процесс ни произошел, противоположный ему всегда возможен. Положим, что из двух, друг другу противоположных процессов, первый протекает легко и просто (например, растворение соли в воде), а второй гораздо более сложен (выделение соли из воды). Совокупность обоих процессов как будто восстанавливает прежнее положение вещей (соль и вода находятся отдельно друг от друга). Но это неверно! Второй процесс потребовал наличие целого ряда как бы случайных, побочных, но в то же время неизбежных процессов (выпаривание, охлаждение), от которых остается след во внешнем мире (горение газа или спирта, разные переходы теплоты). Мы увидим ниже чем характеризуется этот след.

От процесса противоположного следует строго отличать процесс обратный. Положим опять, что произошел какой-либо процесс; в таком случае обратный процесс должен идти обратно первому, в буквальном смысле слова, т.-е. не сопровождаться никакими другими процессами, кроме только тех, обратные которых сопровождали процесс первый. Вполне понятно, хотя и чисто условно, можно сказать, что второй (обратный) процесс должен идти по тому же пути, по которому шел первый, но, конечно, по обратному направлению. Все состояния, промежуточные между началом и концом процесса, всех тел, участвующих в первом процессе, должны вновь последовательно устанавливаться, но — в обратном порядке. Совокупность двух процессов, из которых один обратный другому, не оставляет в мире никаких следов. Процесс, который может идти и в обратном направлении, называется процессом обратимым; в противном случае он называется процессом необратимым.

Оказывается, что все физические процессы, фактически происходящие в природе, или искусственно вызываемые человеком, суть процессы необратимые. Всегда можно вызвать процесс противо-

положный, но это не будет процесс обратный; их совокупность оставит след в виде какого-либо изменения, или, проще, какого-либо другого процесса, оставшегося необращенным. Обратимые процессы неосуществимы. Но мысленно, а в некоторых случаях отчасти и практически, можно повести обратный процесс так, что оставшееся изменение окажется сколь угодно малым; между прочим, прямой и обратный процессы должны для этого происходить весьма медленно; на других условиях мы не останавливаемся. Практически, в этом направлении, т.-е. в уменьшении остающегося изменения, итти далеко невозможно. Но мысленно можно вообразить прямой и противоположный процессы произведенными так, что второй действительно будет обратный первому, т.-е. никакое изменение, в результате совокупности обоих процессов, нигде в мире не останется. В этом случае оба процесса должны, помимо других условий, происходить бесконечно медленно. Отсюда ясно, что обратимый процесс можно только мысленно построить, он имеет характер некоторого предела, к которому, практически, можно только приблизиться, но осуществить его — невозможно. Никаких разъясняющих примеров мы здесь не приводим, так как наша цель заключается только в том, чтобы напомнить основные положения термодинамики и характеризовать ее степень развития пятьдесят лет тому назад.

Все процессы разделяются на две группы: на процессы естественные, или положительные, и неестественные, или отрицательные. Каждому естественному процессу соответствует противоположный ему — неестественный. Естественный процесс может происходить сам собою в буквальном смысле этого слова, т.-е. без участия человека и не сопровождаясь при этом никакими другими процессами. Он может оказаться единственным результатом совокупности нескольких процессов. Неестественный процесс никогда не происходит сам собою, в буквальном смысле этого слова. Самое важное заключается, однако, в том, что неестественный процесс никогда не может оказаться единственным результатом совокупности каких бы то ни было, по числу и роду, процессов. В этих словах, имеющих характер постулата, содержится

весь фундамент старой, или, как ее ныне называют, классической термодинамики. Как частный случай, мы имеем постулат Клаузиуса, послуживший этому ученому основой созданной им термодинамики и сформулированный им весьма неудачно словами: „Теплота не может само собой (von selbst) перейти от более холодного тела к более теплему. Эти слова, вызвавшие не мало недоразумений, должны обозначать, что такой переход теплоты не только никогда не происходит сам собой в буквальном смысле слова, но что он не может оказаться единственным результатом какой бы то ни было комбинации физических и химических процессов. Существует возможность отнять теплоту у более холодного тела и перенести ее на более теплое тело, но не иначе, как произведя еще ряд других процессов, результаты которых останутся неуничтоженными, так что переход тепла не окажется единственным происшедшим процессом.

К естественным процессам принадлежат, например:

1. Переход тепла от более теплого тела к более холодному.
2. Переход работы в теплоту.
3. Взаимная диффузия двух веществ, например, двух газов или двух жидкостей, диффузия при растворении.
4. Расширение газа в пустоту или вообще переход части газа из пространства, где давление больше, в пространство, где оно меньше (без изменения температуры газа).

Противоположные им суть процессы неестественные, например:

1. Переход тепла от более холодного тела к более теплему.
2. Переход теплоты в работу (тепловые машины).
3. Разделение смеси газов или жидкостей на составные части.
4. Сжатие газа (без изменения температуры газа).

Мы видим, что между каждыми двумя, друг другу противоположными процессами существует какое-то глубокое различие: один из них происходит легко, сам собою, не сопровождаясь никакими посторонними процессами; другой может быть получен только как один из результатов сово-

купности нескольких процессов, при чем кроме него по крайней мере еще один процесс остается неуничтоженным, так что вызванное им изменение сохраняется в каких-либо из окружающих тел, принимавших участие в тех процессах, которые должны сопровождать неестественный процесс. Отсюда уже возникает мысль, что в физических явлениях господствует какая-то тенденция, какое-то непрерывное стремление идти в некотором определенном направлении, почему-то имеющем огромное преимущество перед направлением противоположным.

Теперь является вопрос: что же это за процессы, которые непременно должны сопровождать процессы неестественные, чтобы своим присутствием сделать возможным осуществление этого неестественного процесса? Изучение окружающих нас физических явлений дало точный и исчерпывающий ответ на этот вопрос. Оказалось, что неестественный (отрицательный) процесс только тогда осуществляется, когда он сопровождается процессом естественным (положительным). Если в окончательном результате совокупности произвольного числа каких угодно процессов обнаружилось изменение, соответствующее процессу неестественному, то непременно произошло и такое изменение, которое соответствует процессу естественному. Про второй процесс мы говорим, что он компенсирует процесс неестественный. Легко понять, что эта компенсация должна подчиняться вполне определенным и точным количественным условиям. Это значит, что компенсирующий естественный процесс должен обладать определенной „интенсивностью“, находящейся в закономерной зависимости от рода и от интенсивности процесса неестественного. Несколько ниже мы приведем пример такой количественной компенсации.

Примерами, выясняющими наличность компенсации, могут служить сжатие газа и переход тепла в работу. Первый из этих двух неестественных процессов, сжатие газа, должен сопровождаться затратой работы, которая переходит в теплоту, нагревающую сжимаемый газ, и, кроме того, переходом этой теплоты от нагретого газа к каким-либо окружающим, более холодным телам, так как температура не должна меняться; оба процесса—естественные. Несколько

подробнее остановимся на неестественном процессе перехода теплоты в работу, который осуществляется в паровой машине. Оказывается, что неперенным условием ее действия является наличие котла и охладителя, при чем первый должен быть теплее второго. Здесь неестественный процесс перехода тепла в работу компенсируется естественным процессом перехода теплоты от котла к холодильнику. Количественный закон компенсации в этом случае легко указать. От котла берется некоторое количество теплоты Q_1 , часть Q_2 которого переходит в холодильник, а оставшаяся часть $q = Q_1 - Q_2$ расходуется на работу. Переход Q_2 от котла в холодильник компенсирует неестественный переход теплоты q в работу. Количественный закон компенсации гласит: количество теплоты Q_1 , взятой от котла, должно относиться к количеству теплоты Q_2 , перешедшей в холодильник, как абсолютная температура котла к абсолютной температуре холодильника. Если, например, абсолютные температуры котла 373° (100°C) и холодильника 273° (0°C), то легко вычислить, что только 0,27 теплоты, взятой от котла, полезно затрачивается на производство работы, а 0,73 ее бесполезно переходят в холодильник. Второе количество в $73:27 = 2,7$ раза больше первого. Этот закон указывает необходимую минимальную интенсивность компенсирующего естественного процесса; понятно, однако, что эта интенсивность может быть произвольно увеличена, так как естественные процессы, могущие происходить „сами собой“, ничем количественно не ограничены. Когда в паровой машине некоторое количество теплоты переходит в работу, то, во всяком случае, в 2,7 раза большее количество должно перейти от котла к холодильнику. Но ясно, что перейти может и гораздо большее количество теплоты, и притом не только в холодильник, но и на всевозможные другие тела, которые окружают котел и холоднее его. Вследствие этого полезно затраченная теплота составит еще меньше чем 0,27 того количества теплоты, которое потерял котел.

Процесс неестественный и как раз компенсирующий его естественный процесс назовем процессами эквивалентными и будем считать их одинаково интенсивными. Теперь мы можем сказать, что интенсивность компенсирую-

щего естественного процесса должна быть равна или больше интенсивности процесса неестественного. Итак, естественный процесс может происходить всегда и всюду, и притом с неограниченной интенсивностью; неестественный должен сопровождаться компенсирующим, одинаково интенсивным естественным, при чем условия одинаковой интенсивности определяются термодинамически (см. выше условие для паровой машины). Здесь еще более ясно выступает важный факт существования какой-то тенденции в явлениях физического мира, какого-то стремления идти по определенному направлению. Условимся считать каждый естественный процесс как шаг вперед по этому направлению, а каждый неестественный — как шаг назад, и считать величины шагов вперед и назад равновеликими, если два процесса обладают одинаковой интенсивностью (эквивалентны друг другу). Вводя такую картину, мы можем сказать, что в нашем мире непрерывно и везде происходят шаги вперед; никогда и ни при каких условиях не может быть сделан шаг назад. В крайнем случае мы можем иметь одновременные шаг назад и равный ему по величине шаг вперед, когда неестественный процесс как раз компенсируется естественным; их совокупность соответствует остановке. Но, как было показано на примере паровой машины, интенсивность естественного процесса бывает больше, чем необходимо для компенсации; шаг вперед больше шага назад, так что даже в случае осуществления неестественного процесса мы все-таки имеем шаг вперед по направлению той тенденции, которая вырисовывается из всего предыдущего. Ясно, что наш мир неукоснительно развивается в определенном направлении, в котором он идет только вперед, никогда — назад. Эта тенденция, эта эволюция нашего мира и составляет сущность того, о чем нам говорит второе начало.

Первое начало учит, как мы видели, что наш мир не есть хаос, что явления подчиняются определенным количественным законам, что существует мировой порядок.

Второе начало показывает, что наш мир есть организм, развивающийся в строго определенном направлении, что он подчинен вечному закону эволюции.

Многие ученые старались (речь идет о времени до начала семидесятых годов) разгадать сущность этой тенденции, этой эволюции и соответственно формулировать второе начало. Таких формулировок существует не мало, и мы приведем сперва первую из тех двух, которые дал В. Томсон (впоследствии лорд Кельвин). В 1851 г. он выразил второе начало словами: „Невозможно получить работу от какой-либо части материи, охлаждая ее ниже температуры наиболее холодного из окружающих тел“. Это понятно, ибо одновременного компенсирующего перехода теплоты от той же части материи к еще более холодным телам при заданных условиях быть не может. Из приведенной формулировки вытекает другая, весьма интересная. Назовем перпетуум мобиле второго рода такую машину, которая работала бы насчет тех несметных запасов теплоты, которые нас окружают со всех сторон, находясь в воздухе, в земной коре и в воде рек, озер, морей и океанов. Второе начало показывает, что перпетуум мобиле второго рода невозможен, так как неестественный процесс затраты теплоты на работу требует для своей компенсации наличности естественного процесса, осуществление которого в надлежащих для компенсации размерах при условиях, царящих на земной поверхности, невозможно.

Наиболее популярно и часто употребляема вторая формулировка, которую В. Томсон дал в 1852 г., и которая известна под названием принципа рассеяния энергии. Если внимательно рассмотреть всевозможные естественные процессы, определяющие собой направление той тенденции, которая обуславливает собой эволюцию нашего мира, то оказывается, прежде всего, что все виды энергии стремятся к равномерному распределению, к сглаживанию существующих различий в их интенсивности (разности температур, степеней электризации, уровней жидкостей и т. д.). Вместе с тем, все формы энергии переходят в энергию тепловую, которая также стремится к равномерному распределению и, в конце концов, в виде энергии лучистой, излучается в мировое пространство. Все это и приводит к знаменитому принципу рассеяния энергии: энергия, имеющаяся в нашем мире, стремится к рассеянию, то-есть к переходу в равномерно распределенную энергию

тепловую, а затем в энергию лучистую, расходящуюся по мировому пространству.

Вышеизложенным далеко не исчерпывается то, что, пятьдесят лет тому назад, входило в состав термодинамики. Мы должны, не входя в подробности, сказать об одной из наиболее важных частей работы Клаузиуса, хотя бы вкратце упомянув его учение об энтропии. Всякое тело, или система тел, находится в каждый момент в некотором определенном „состоянии“; этот термин мы понимаем в гораздо более обширном смысле, чем в элементарной физике, где говорят о трех „состояниях“ вещества, твердом, жидком и газообразном. Всякое, малейшее изменение, происшедшее в теле, или в какой-либо части системы, будем считать за переход от одного состояния к другому, например, изменение объема, температуры, электризации, химического состава, формы, движения и т. д. Всякую физическую величину, которая зависит от состояния вещества и вместе с ним меняется, мы будем называть функцией состояния. Важно отметить, что она зависит только от состояния тела или системы, но вовсе не зависит от того, каким образом тело или система достигли этого состояния; проще говоря — она не зависит от предшествовавших состояний тела или системы. Отсюда следует, что если тело или система, после произвольных изменений состояния вновь вполне возвращается в прежнее состояние, то и все те физические величины, которые суть функции состояния, вновь принимают прежние значения. Типичным примером функции состояния может служить энергия, весь запас которой вполне определяется состоянием системы (не будем повторять, что система в частном случае может сводиться и к одному отдельному телу). Если система возвращается к прежнему состоянию, то и энергия принимает прежнее значение. Определить весь запас энергии, находящейся в системе, невозможно, но мы можем вычислить изменение этого запаса при переходе от одного состояния в другое, т.е. разность запасов энергии в двух состояниях системы. Для этого надо только проследить, сколько энергии система приобрела извне, и сколько она потеряла при переходе от первого состояния во второе. Мы видели, что в замкнутой системе полный запас энергии не меняется.

Клаузиус показал, что существует еще другая, не менее важная функция состояния, которую он назвал энтропией системы. Она вполне (однозначно) определяется состоянием системы и принимает прежнее значение, когда система, после того, как в ней произошли какие угодно процессы, возвращается в прежнее состояние. Клаузиус дал точное правило для вычисления разности энтропий в двух произвольных состояниях системы. Понятно, что эта разность зависит только от начального и конечного состояний системы и вовсе не зависит от того, каким образом произошел переход системы от первого состояния ко второму. Вся энтропия системы, как и вся ее энергия, не может быть определена без введения добавочных условий. Пользуясь энтропией, этой открытой им и математически обоснованной функцией состояния, Клаузиус дал закон, который по всеобъемлющему своему мировому значению стоит рядом с принципом сохранения энергии. Этот закон дает одну из самых простых и изящных формулировок второго начала и известен под названием принципа возрастания энтропии: энтропия замкнутой системы может только возрасти или оставаться неизменной; она никогда не может уменьшаться. Клаузиус показал, каким образом следует, исходя из этого принципа, составлять уравнения, связывающие те физические величины, которыми характеризуется процесс, подвергаемый нами термодинамическому исследованию. Таким образом два начала термодинамики: постоянство энергии и возрастание энтропии, дают возможность написать два уравнения, связывающие ряд физических величин. Оказывается, что наиболее ценные результаты дает комбинация этих двух уравнений, раскрывающая удивительные и неожиданные закономерности, которые связывают свойства разных физических величин. Таким образом, термодинамика дала человечеству одно из самых могучих орудий научного исследования; благодаря ему, наука могла несравненно глубже изучить свойства различных физических величин и те закономерности, которые господствуют в мире физических явлений, чем это было бы возможно путем исследования чисто экспериментального. Пятьдесят лет тому назад, два закона термодинамики, уже были приложены

к целому ряду физических явлений, и таким путем открыты многочисленные новые закономерности.

В виду того, что наша главная задача заключается в сравнении современной физики с физикой пятьдесят лет тому назад, нам необходимо остановиться на некоторых характерных чертах той „классической“ термодинамики, обоснованием и развитием которой справедливо могла гордиться наука пятьдесят лет тому назад. Эти характерные черты старой термодинамики могут быть выражены следующими семью пунктами.

1. Второе начало, существующая в мире „тенденция“, принцип рассеяния энергии, или, наконец, принцип возрастания энтропии были открыты, и была разработана математическая методика применения этого начала для теоретического исследования физических явлений и открытия новых закономерных связей между различными физическими величинами.

2. Однако, оставался совершенно невыясненным интереснейший вопрос о том, где первоисточник этой тенденции, этой мировой, ничем и никогда не останавливаемой эволюции; где те скрытые пружины, под влиянием которых все физические процессы текут в определенном направлении. Термодинамика была целиком построена на постулате, который можно было весьма различно формулировать (Клаузиус, В. Томсон и др.), и справедливость которого могла лишь достигнуть некоторой степени вероятности, когда дедуктивно выведенные из него результаты затем оправдывались при экспериментальной проверке. Но этот постулат, а также вытекающие из него наличность тенденции и возможность по определенному математическому правилу выводить новые закономерные связи между физическими величинами принимались как факты, как следствия несомненно существующего свойства нашего мира. Но вопрос о том, почему наш мир обладает таким свойством, оставался без ответа. Можно было гордиться тем, что это свойство было открыто, и выводить из него следствия, но вопрос о более глубокой причине этого свойства оставался открытым.

3. Некоторые ученые пытались вывести второе начало, исходя из законов механики. Но эти попытки не увенча-

лись успехом; им недоставало общности, они относились к частным случаям, и они не могли обойтись без добавочных гипотез.

4. Оставалось невыясненным странное противоречие между вторым началом и одной из основ миропонимания того времени. Об этой основе уже было сказано; она заключается в предположении, почти догматического характера, что все физические явления могут быть сведены к явлениям механическим. Но механика не знает понятия о необратимости процессов, для нее все процессы обратимы. Между тем, мы видели, что все фактически происходящие физические процессы необратимы. Получалось следующее нелепое сочетание трех, повидимому, несомненных истин:

- { Все физические явления суть явления механические.
- { Все механические явления обратимы.
- { Все физические явления необратимы.

Этот, можно сказать, псевдо-силлогизм, оставался неразъясненным, тайна необратимости физических процессов была неразгадана.

5. Характерным для термодинамики пятьдесят лет тому назад можно считать еще то обстоятельство, что она не вводила других, существенно новых функций состояния, кроме энтропии.

6. Термодинамика прилагалась почти исключительно только к сравнительно очень простым системам. При ее помощи исследовались отдельные вещества, т.-е. однофазные системы, например, идеальные и реальные газы, жидкости и твердые тела (их деформации). Заметим, мимоходом, что фазами называются те составные части системы, которые чисто механическим путем (перегородкой, ситом, ложкой) могут быть отделены друг от друга. Далее рассматривались двухфазные системы для случая, когда обе фазы имели одинаковый химический состав, например, жидкость и ее пар, твердое тело и его пар, одно вещество в твердом и жидком состоянии (вода и лед), одно вещество в двух полиморфных состояниях (сера ромбическая и моноклиномерная). Было рассмотрено приложение термодинамики к некоторым простым физическим явлениям, как, например, поверхностное натяжение жид-

костей. Величинами, определяющими состояние системы, являлись почти только объем, давление и температура. Приложение термодинамики к явлениям магнитным и электрическим находилось в зачаточном состоянии.

7. Термодинамика почти не прилагалась к явлениям химическим и вовсе не прилагалась к явлениям лучистой энергии.

§ 6. Теория света. Мы не пишем „теория лучистой энергии“, так как самое название „лучистая энергия“ пятьдесят лет тому назад еще не употреблялось. В следующем параграфе мы несколько подробнее остановимся на этом вопросе. Теория света, господствовавшая пятьдесят лет тому назад, достигла к тому времени такого грандиозного расцвета, с которым может сравниться расцвет небесной механики, дошедшей до момента величайшего своего торжества, когда Леверрье (Leverrier) открыл Нептуна путем вычислений, основанных на наблюдаемых возмущениях, которые эта планета вызывает в движении другой планеты — Урана. Теория света начала семидесятых годов может служить наилучшим примером, иллюстрирующим ту характеристику физики того времени, которую мы дали в § 1 этой главы. Механическое миропонимание выступает в этой теории с особенною ясностью и резкостью. Все стремление направлено к тому, чтобы объяснить всевозможные световые явления, исходя из определенной, чисто механически ясной и понятной гипотезы, и прилагая к ней законы механики. Для объяснения специальных групп световых явлений вводились добавочные гипотезы, опять-таки чисто механического характера. Полное согласие между полученными таким путем выводами с наблюдаемыми явлениями, а главное — предсказание совершенно новых, неожиданных явлений, которые затем оказались действительно существующими, придали основам старой теории света такую высокую степень вероятности, что в то время все не могли не полагать, что эта теория это стройное, образцовое научное здание, неизбежно построено на вечные времена, что ее основные гипотезы вполне точно соответствуют реально существующей действительности. Казалось, что ни одна из физических теорий того времени не может сравниться с теорией света по

почти всесторонней законченности, по ясности и прозрачности построения и по обширности и важности достигнутых ею результатов.

Основы этой теории света, как чисто механического колебания частиц эфира, мы будем считать известными. Предложенная Гюйгенсом (Huyghens, 1629 — 1695), она была детально разработана в начале XIX столетия английским ученым Юнгом (Thomas Young), гениальными работами Френеля (Frenel, начиная с 1815 г.), Франца Нейманна (Franz Neumann) в Кенигсберге и еще целого ряда математиков. Этими работами были вполне объяснены все те явления, которые были давно открыты, но не могли быть объяснены теорией истечения Ньютона, как, например, двойное лучепреломление в кристаллах и диффракция света. Но гораздо важнее то, что этими бессмертными исследованиями вполне объяснялись все те многочисленные и разнообразные световые явления, которые были открыты в начале XIX столетия. Сюда относятся интерференция и поляризация света (см. ниже), вращение плоскости поляризации (естественное) в различных твердых, жидких и газообразных веществах, а также сложные явления хроматической поляризации. Нам здесь нет надобности останавливаться на этих явлениях, описание которых можно найти во всяком не-элементарном учебнике физики. Только о последнем из них мы скажем несколько слов. Если взять одну или несколько различных пластинок, вырезанных из одноосных или двуосных кристаллов, наложить их друг на друга, поместить их между анализатором и поляризатором (Николевы призмы или пластинки турмалина) и пропустить через всю эту комбинацию пучок расходящихся лучей, лучше всего однородных, то получаются разного рода темные и светлые линии, образующие иногда весьма причудливые фигуры. Здесь возможны бесконечно разнообразные комбинации, которые дают весьма разнообразные фигуры, так как форма последних зависит от целого ряда обстоятельств, а именно от того, какие взяты кристаллы, в каком направлении вырезаны из них пластинки, как эти пластинки расположены (повернуты) друг относительно друга и как велико число пластинок; кристаллы же могут быть одноосные, дву-

осные или вращающие плоскость поляризации. Какую бы комбинацию ни взяли, всегда можно было, на основании теории колебания, проследить ход лучей через нее и вычислением определить вид получающейся световой фигуры. И во всех, без исключения, случаях экспериментальная проверка в точности подтверждала справедливость теоретического вывода, показывая наблюдателю как раз ту фигуру, которая была предсказана вычислением.

Но апогеем торжества теории упругих колебаний эфира явилось открытие, путем теоретических вычислений, совершенно нового, в высшей степени замечательного и странного светового явления, которое получило название конической рефракции и которое вряд ли было бы открыто чисто экспериментальным способом. Это замечательное открытие было сделано следующим образом. В так называемых двусных кристаллах распространение света происходит по весьма сложным законам, которые, однако, без особого труда выясняются для целого ряда сравнительно простых случаев. Английский математик Гамильтон (Hamilton) первый поставил, в самом общем виде, задачу о распространении света в двусных кристаллах. Положим, что внутри такого кристалла находится светящаяся точка, от которой колебания распространяются во все стороны. Геометрическое место точек, до которых колебание распространяется в одинаковое время, называется, вообще, волною поверхностью, какова бы ни была среда. В оптически изотропной среде, в некристаллической, или в кристаллах правильной системы, в которой свет распространяется во всех направлениях с одинаковой скоростью, волновая поверхность, очевидно, представляет поверхность сферы. Форма волновой поверхности в одноосных кристаллах определяется легко, и эта форма вполне объясняет все явления двойного лучепреломления и хроматической поляризации, которые обнаруживаются в этих кристаллах. Для двусных кристаллов форма волновой поверхности, как показал Гамильтон, весьма сложная; в четырех ее местах имеются воронкообразные впадины, при чем над каждой из них можно провести плоскость, которая касается самой волновой поверхности в бесконечном числе точек, расположенных в этой плоскости, при чем их геометрическое место

оказывается окружностью. Эта особенность волновой поверхности двусных кристаллов является причиной возникновения следующих двух поразительных явлений.

Из двусного кристалла вырезывается плоско-параллельная пластинка, направление которой (в кристалле) определяется теорией. Если на плоскую, боковую поверхность такой пластинки направить световой луч в определенном направлении, также указываемом теорией, то этот луч, войдя в кристалл, расщепляется на бесконечное число лучей, расположенных по боковой поверхности конуса, основание которого ограничено тою окружностью касания, о которой только что было сказано. Получается конус лучей, однако, не сплошной, как в случае расхождения лучей из одной точки, например, из фокуса вогнутого зеркала или двояковыпуклого стекла, но конус полый, при чем все лучи расположены вдоль образующих конуса. Эти лучи, дойдя до второй поверхности пластинки, преломляются при выходе из нее так, что они все делаются параллельными тому лучу, который был сначала направлен на первую поверхность пластинки. Тогда из пластинки выходит полый цилиндр лучей; все лучи расположены на поверхности цилиндра, имея направление его образующих. Если на пути этих лучей поставить экран, то их след образует на нем светлое круглое колечко, радиус которого не меняется, если экран приближать к пластинке или удалять от нее. Это явление получило название внутренней конической рефракции.

Гамильтон открыл теоретически еще второе явление. Следуя точным указаниям теории, можно добиться того, что внутри кристалла будет распространяться световой луч в некотором определенном направлении, а именно по направлению одной из осей кристалла. При выходе наружу, этот луч раздробляется на бесчисленное множество лучей, расположенных вдоль образующих боковой поверхности некоторого, весьма, впрочем, тонкого (острого) конуса. Если на пути этих лучей поместить экран, то на нем также получается след в виде круглого колечка, радиус которого, однако, увеличивается по мере удаления экрана от кристалла. Это явление называется внешней конической рефракцией.

Существование описанных двух удивительных явлений было, как сказано, открыто Гамильтоном теоретически; их необходимость была установлена, была предсказана путем вычислений. Опытная проверка, произведенная английским ученым Лойдом (Lloyd), при точном соблюдении тех условий, которые предуказывались теорией Гамильтона, подтвердила существование этих двух явлений. Мало вероятно, чтобы они были когда-либо открыты экспериментально, так как их осуществление возможно только при весьма точном соблюдении определенных условий, значение которых, если не исходить из теории, не могло быть предусмотрено; случайно же эти условия вряд ли могли оказаться налицо при каких-либо чисто опытных исследованиях. Открытие конической рефракции, этого удивительно странного физического явления, путем теоретических вычислений представляет одно из замечательнейших событий истории физики, пожалуй, даже истории культуры. Его можно смело поставить рядом с открытием Нептуна на основании вычислений Леверрье. Оно представляло великое торжество теории света, теории распространяющихся в эфире упругих колебаний, целиком построенной на законах механики.

Общепринятая теория света представляла, пятьдесят лет тому назад, образцовое, наиболее совершенное из всех научных зданий, построенных физикой. Объясняя всевозможные световые явления и предсказывая новые, это здание казалось построенным на незыблемом фундаменте и на вечные времена. В справедливости ее основ не могло быть никакого сомнения; существование упругого эфира, как носителя и передатчика света, казалось окончательно доказанным. Рядом с кинетико-молекулярной теорией, но, пожалуй, еще в большей степени, чем последняя, эта теория указывает характер и метод физики, господствовавшие пятьдесят лет тому назад и являвшиеся выразителями миропонимания того времени. Обратимся к тем немногим пятнам, которые внимательный наблюдатель уже в то время мог открыть на блестящем фоне теории упругих колебаний гипотетической среды — эфира.

Великим преимуществом всякой физической теории является простота ее основных положений, т.-е. прежде

всего — той гипотезы, которую она допускает и на которой она строится. Если она не может обойтись только одной, основной гипотезой, если она, для объяснения наблюдаемых явлений, должна вводить добавочные гипотезы, постепенно увеличивая число последних, то это значительно умаляет ее научное значение и является несомненным признаком ее — если можно так выразиться — дряхления. Она начинает отживать свой век, ее историческая роль приближается к концу, и уже наверное недалек тот момент, когда на ее место станет другая теория, более совершенная, более простая, построенная на новой гипотезе. Иногда новый опыт дает окончательный перевес новой теории. Такова была, например, история крушения теории истечения света, данной Ньютоном, основанной на предположении, что светящиеся тела испускают особого рода световые частицы. Прямолинейное распространение и отражение света объяснялись легко. Но, чтобы понять, почему одни частицы отражаются, а другие (при преломлении света) входят во внутрь встреченного прозрачного тела, пришлось уже Ньютону ввести добавочную гипотезу о каких-то двух различных состояниях (приступах), в которых частицы могут находиться. Для объяснения длинного ряда световых явлений, большею частью открытых в начале XIX столетия и упомянутых выше, приходилось приверженцам теории истечения вводить все новые и новые добавочные гипотезы, *ad hoc* придуманные, в то время как защитники теории колебаний легко справлялись с этими явлениями, выводя их необходимость как следствие основных положений этой теории. Сравнение скорости света в воде и воздухе, которое произвел Фуко (Foucault, 1850), дал теории истечения окончательный перевес над теорией испускания.

Однако, и теория колебаний не могла ограничиться простой гипотезой о существовании упругого эфира, в котором распространяется колебательное движение его частиц. Уже с самого начала ей пришлось, не столько ввести добавочные гипотезы, сколько дополнить основную гипотезу такими предположениями, которые, впрочем, не могли не казаться весьма правдоподобными и почти необходимыми при допущении основной гипотезы. Сюда относятся разного рода допущения, касающиеся особых свойств того эфира,

который находится внутри материи. Предполагалось, что внутри материи упругость (Френель) или плотность (Ф. Нейман) эфира иная, чем в пустоте. Этим объяснялось, что скорость распространения света в различных телах различная и притом меньше, чем в пустоте; заметим, что эта скорость зависит от упругости и от плотности эфира, как это доказывается в учении о распространении упругих колебаний в какой-либо среде. Столь же естественным и правдоподобным представлялось допущение, что в анизотропных телах (кристаллах) упругость эфира или его плотность в различных направлениях неодинаковы. Этим легко объяснялись явления простого и двойного лучепреломления. Но были и такие явления, которые не так легко поддавались объяснению. Сюда относится, вообще, зависимость явлений от рода (цвета) луча, т.-е. от длины волны, которая, как известно, равна тому расстоянию, на которое распространяется световой луч во время одного колебания; чем быстрее колебания, тем короче длина волны. Простейшее из этих явлений — обыкновенная, нормальная дисперсия, т.-е. уменьшение скорости луча (увеличение его коэффициента преломления) с уменьшением длины волны во всякой материальной среде, благодаря чему получается спектральное разложение света при помощи призмы. Аналогичное явление мы имеем при естественном вращении плоскости поляризации, хотя бы в кварце, так как величина вращения (см. ниже разъяснение) зависит от длины волны и быстро растет с уменьшением последней. Эта зависимость от длины волны могла быть объяснена только при помощи добавочных гипотез. Приходилось допустить влияние материальных частиц на колебания частиц эфира, при чем выбор закона этого влияния, очевидно, представлялся произволу ученого, пытавшегося найти искомое объяснение. Предполагалось, например, что колеблющаяся частица эфира подвержена внутри материи особой добавочной силе, величина которой, в каждый данный момент, зависит от скорости этой частицы; такая сила аналогична трению, которое частица испытывает при своем движении. Хотя влияние материи на эфир и могло представляться весьма правдоподобным, но все же мы здесь имеем добавочную гипотезу,

формулировка которой вводила в теорию колебания непосредственно чуждый ей элемент.

Дело еще более усложнилось, когда были открыты и исследованы явления так называемой аномальной дисперсии, заключающиеся в том, что в некоторых областях спектра преломляемость не увеличивается, но уменьшается с уменьшением длины волны световых лучей. Было обнаружено, что все вещества обладают по крайней мере одной, а иногда и многими спектральными областями, в которых происходит аномальная дисперсия, хотя не всегда удается эти области подвергнуть непосредственному наблюдению. Далее, оказалось, что явление аномальной дисперсии теснейше связано с явлением поглощения света, так как первое из них наблюдается около спектральных полос поглощения. Заметим, что и само явление поглощения лучистой энергии при ее прохождении через материю не может быть объяснено без добавочной гипотезы, относящейся к влиянию частиц материи на колеблющиеся частицы эфира. Целый ряд физиков и математиков старались развить теорию колебаний упругого эфира, вводя добавочные гипотезы, чтобы объяснить явления поглощения и дисперсии света.

Вышеизложенное не представляет единственного темного пятна на блестящем фоне той теории света, которая, пятьдесят лет тому назад, составляла гордость физики. Можно указать на еще одно пятно, более темное, более важное, можно сказать, странное и для самой теории опасное. Оно заключается в том, что уже пятьдесят лет тому назад были известны и изучены некоторые явления, в которых ясно проявлялась какая-то связь между явлениями световыми, с одной стороны, и электрическими и магнитными — с другой. Эти явления совершенно не укладывались в рамки теории колебаний частиц упругого эфира; никакие добавочные гипотезы здесь не приводили к цели, не давали возможности найти объяснение этих явлений, на которые в то время смотрели чуть ли не как на какие-то курьезы, объяснение которых пока откладывалось на неопределенное время. Нельзя не согласиться, что это пятно много темнее, чем первое, нами рассмотренное. Там приходилось вводить добавочные гипотезы, допуская влияние материи на эфир, при чем самый факт такого влияния пред-

ставлялся не только вероятным, но, с точки зрения господствовавшего тогда миропонимания, почти необходимым, так что оставалось только решить вопрос о форме этого влияния. Здесь мы имеем нечто гораздо худшее: существуют явления, объяснить которые невозможно; на них как-будто махнули рукой и даже почти не пытаются их объяснить на почве общей теории света, да и говорят об них не в оптике, а в совершенно другом отделе физики, в учении о явлениях электрических и магнитных, повидимому, не имеющих ни малейшей связи с явлениями световыми. И все это несмотря на то, что в этих необъяснимых явлениях речь идет, либо о влиянии световых лучей на материальное тело, либо о влиянии некоторых внешних условий на световые лучи. Переходим к рассмотрению двух таких явлений, хорошо изученных пятьдесят лет тому назад.

Первое из них открыл Маи около 1870 г. Оно заключается в том, что электропроводность селена, весьма плохого проводника, когда он находится в темноте, сильно возрастает, когда на его поверхность падают световые лучи. Как только прекращается доступ лучей, проводимость вновь уменьшается. Связь между электропроводностью и освещением, очевидно, не могла укладываться в рамки теории колебаний частиц эфира. Как могли эти колебания влиять на течение электричества внутри материи? На такой вопрос не мог быть дан ответ, основанный на какой-либо новой гипотезе, которая могла бы казаться вероятной или даже только правдоподобной, если исходить из основных представлений теории колебания эфира и не вводить в нее каких-либо совершенно чуждых ей элементов. Влияние света на селен представляло, в то время, единичный факт, без связи с другими фактами, ему подобными; на него можно было смотреть как на курьез и не придавать ему большого значения.

Только что сказанное уже никак не могло относиться к другому явлению, которое открыл Фарадей в 1845 году; оно происходит в прозрачных телах и известно под названием магнитного вращения плоскости поляризации. Чтобы с ним познакомиться, мы должны сперва сказать несколько слов о поляризации света, которая неоднократно нами уже упоминалась. Разъясняя ее сущность,

мы, конечно, станем на точку зрения теории колебания частиц эфира. Эти колебания происходят во всех точках светового луча, подобно тому как во всех точках звукового луча, распространяющегося в воздухе, происходят колебания частиц воздуха. Однако, между этими двумя явлениями есть одна существенная разница. Звуковые колебания суть колебания продольные; это значит, что колебания частиц воздуха (или иного газа) происходят по направлению самого луча. Из элементарной физики известно, что при этом вдоль луча образуются попеременные сгущения и разрежения; они перемещаются вдоль луча со скоростью, которая и есть скорость звука. В данной точке звукового луча чередуются сгущения и разрежения. В световом же луче мы имеем колебания поперечные; это значит, что колебания частиц эфира происходят по направлениям, перпендикулярным к направлению самого луча, т.е. к направлению распространения света. В лучах, испускаемых светящимися, например, накаливаемыми телами, колебания имеют всевозможные направления, перпендикулярные к лучу. Это значит, что все плоскости, которые проходят через направление луча, играют одинаковую роль, ни одна из них не имеет какого-либо преимущества перед другими. Такой луч называется естественным, и мы можем сказать, что естественный луч не обладает стороной, ибо все его стороны одинаковы; понятие о вращении такого луча вокруг самого себя, при чем он сам служил бы осью вращения, повидимому, не может иметь никакого смысла, и, во всяком случае, такое вращение, если бы оно оказалось осуществимым, не могло бы иметь никакого влияния на свойства луча.

Оказывается, однако, что существует целый ряд способов получения таких лучей, которые мы глазом не можем отличить от лучей естественных, но которые существенно от них отличаются. Этих способов (отражение, преломление простое и двойное) мы здесь рассматривать не будем. Полученные при их помощи световые лучи называются поляризованными. Такой луч отличается от луча естественного тем, что в нем колебания всех частиц эфира совершаются в одной и той же плоскости, понятно, проходящей через луч. Вообразим, например, горизонтальный луч света. Если это луч естественный, то перпендикулярные к нему

колебания частиц эфира происходят по направлениям, составляющим всевозможные углы с горизонтальной плоскостью; это значит, что все эти колебания встречаются в течение весьма малого промежутка времени. Но если этот луч поляризованный (в отличие от других случаев следовало бы точнее сказать „прямолинейно поляризованный“), то все колебания параллельны между собой и расположены в одной плоскости и потому образуют один и тот же угол с горизонтальной плоскостью. В горизонтальном, поляризованном луче все колебания могут происходить, например, в вертикальном направлении, т.-е. сверху вниз и обратно; они могут быть также все горизонтальны, т.-е. для наблюдателя, смотрящего вдоль луча, происходить справа налево и обратно. Угол между плоскостью, в которой происходят все колебания, и плоскостью горизонтальной может иметь и всякое другое значение, кроме 90° и 0° , соответствующие двум только что указанным частным случаям. Про такой поляризованный луч можно сказать, что он обладает стороной, его различные „стороны“ могут обладать неодинаковыми свойствами. Возьмем, например, горизонтальный луч, в котором колебания происходят сверху вниз и обратно. В таком луче верхняя и нижняя стороны представляют нечто иное и могут иметь иные свойства, чем стороны правая и левая, так как в первых происходят колебания частиц эфира. Представление о вращении поляризованного луча вокруг самого себя имеет ясный смысл, и мы можем осуществить такое вращение, вращая тот прибор (например, Николеву призму), в котором тем или иным путем возникает поляризованный луч. Вращая, таким образом, горизонтальный луч, в котором все колебания вертикальны, мы можем получить луч, в котором колебания горизонтальны, а это уже может существенно изменить те явления, которые луч обнаружит при своем дальнейшем распространении, например, при отражении, при прохождении через двоякопреломляющие вещества и т. д. При меньшем или большем вращении мы получаем луч, в котором плоскость колебаний частиц эфира составит какой-либо угол с горизонтальной плоскостью. Понятно, что такое же вращение может быть произведено со всяким поляризованным лучом, каково бы ни было его направление распространения.

Существуют вещества, в которых происходит то естественное вращение плоскости поляризации, которое нами уже неоднократно упоминалось. Такие вещества называются оптически деятельными. Это явление заключается в следующем. Положим, для наглядности, что поляризованный луч распространяется горизонтально, и что колебания в нем вертикальны. Как только луч вступает в оптически деятельное вещество, начинает в нем вращаться направление колебаний, при чем угол поворота этого направления растет пропорционально пути, пройденному лучом внутри деятельного вещества. Таким образом, получается луч, в каждой точке которого колебание имеет одно определенное, не меняющееся со временем, направление; но в двух, даже весьма близких друг другу точках луча направления колебаний не вполне одинаковы. При некоторой длине луча внутри деятельного вещества, колебания оказываются горизонтальными: при длине, в два раза большей — колебания вновь вертикальны и т. д. Геометрическое место прямых, вдоль которых совершаются колебания, напоминает винтовую линию или, точнее, винт. В некоторых веществах вращение плоскости колебаний происходит вправо, в других — влево, если смотреть навстречу лучу. К оптически деятельным веществам относятся некоторые одноосные кристаллы, в особенности кварц, при условии, однако, чтобы луч распространялся по направлению оси кристалла; далее, многие жидкости, например, раствор сахара, а также некоторые пары вращают плоскость поляризации. Объяснение вращения плоскости поляризации дал Френель, впрочем — чисто формальное. Конечно, и здесь нельзя было не предположить влияния вещества на колеблющиеся частицы.

Для полноты картины, отметим, что кроме линейно-поляризованных, существуют лучи поляризованные по кругу или, в более общем случае, по эллипсу. В них частицы эфира предполагались движущимися по кругам или по эллипсам, плоскости которых перпендикулярны к направлению луча. Теория колебания вполне объяснила возникновение и свойства этих лучей.

Теперь мы можем возвратиться к тому темному пятну на блестящем фоне теории колебания эфира, которое, пятьдесят лет тому назад, хотя и существовало, но, повидимому,

не особенно огорчало ученых. Это — явление магнитного вращения плоскости поляризации, на которое в то время смотрели, как на замечательный, но таинственный и непонятный факт, стоящий как-то совершенно особняком, без видимой связи с другими явлениями. Сущность этого явления заключается в том, что прозрачное тело, помещенное в магнитное поле, делается оптически деятельным по направлению магнитных линий сил. Возьмем, например, сильный электромагнит и поместим между его полюсами прозрачное тело, хотя бы стеклянную толстую пластинку (или стержень), и пропустим через нее поляризованный луч по направлению магнитных линий сил, которые, в центре магнитного поля, можно принять за прямые, соединяющие два полюса магнита. Для этого пробуравлены через оба конца электромагнита прямые каналы, оси которых расположены вдоль одной прямой. Если электрический ток не проходит через обмотку электромагнита и, следовательно, стекло не находится в магнитном поле, то никакого вращения плоскости поляризации не происходит. Но как только замыкается электрический ток, возбуждающий между полюсами магнитное поле, стекло делается оптически деятельным, и плоскость поляризации претерпевает внутри стекла вращение. Величина этого вращения зависит от вещества прозрачного тела, помещенного в магнитное поле, от длины пути луча внутри этого тела и от напряжения поля. Описанное явление ясно обнаруживает какую-то связь между явлениями световыми и магнитными. Объяснить это явление при помощи тех представлений, которые лежат в основе чисто механической теории колебания упругого эфира, очевидно, невозможно, если не вводить таких добавочных гипотез, которые безусловно чужды этим основным представлениям и вводят в теорию света такие элементы, которые взяты из совершенно другой области физических явлений, по видимому, не могущих иметь никакого отношения к явлениям световым.

Мы рассмотрели содержание того учения о свете, которое господствовало в физике пятьдесят лет тому назад. Мы указали на ее блестящий расцвет, на ее сказочные успехи; но мы не умолчали и о тех, правда, немногих обстоятельствах, которые мы уподобили темным пятнам на светлом фоне. Желая не уклоняться от исторической точности, мы

должны указать еще на следующий факт. Уже в шестидесятых годах появились первые работы Максвелла (Maxwell), в которых была изложена электромагнитная теория света. Это значит, что пятьдесят лет тому назад фактически уже существовала та новая теория, уже родился тот беспощадный враг, которому суждено было погубить теорию колебания эфира, разрушить одно из самых чудных научных зданий, которое казалось воздвигнутым на вечные времена, и на его месте построить новое здание, ввести в науку совершенно новые представления, смертельно поразившие впоследствии механическое миропонимание, проникавшее все отделы физики. Однако, мы имеем право не придавать значения этому историческому факту и вот по какой причине. Статьи Максвелла представляют, в их первоначальном виде, такие громадные трудности для их понимания, что весьма немногие ученые обратили на них внимание. Кроме того, Максвелл не придавал основам своей теории ясной и простой математической формы; к этому следует прибавить, что основы новой теории были так далеки от тех представлений, к которым все ученые привыкли, с которыми они сжились, что вся эта новая теория должна была многим казаться какой-то дикой фантазией, недостаточно обоснованной и, прежде всего, вовсе ненужной, так как она ставит на место теории ясной, понятной, все объясняющей, что-то туманное и непонятное. На некоторые очень важные преимущества новой теории не обращалось должного внимания; огромный перевес оставался, как тогда казалось, на дурных сторонах новой теории. Дело изменилось, когда Герц (H. Hertz) в 1888 году доказал своими бессмертными опытами, о которых ниже будет сказано, справедливость основных положений электромагнитной теории света и, что также весьма важно, придавал математической стороне этой теории простую и изящную форму. С этого момента теория колебания эфира оказалась уничтоженной, и не осталось ученых, которые не примкнули бы к электромагнитной теории света, созданной Максвеллом. Вот это-то запоздавшее признание нового учения и заставляет нас считать, что она пятьдесят лет тому назад как бы еще не существовала и причислить ее к великим научным приобретениям последнего полувека.

§ 7. **Спектральный анализ.** Напомним сперва некоторые основные понятия учения о распространяющихся колебательных движениях; эти положения одинаково применимы как к звуковым, так и к световым колебаниям. Средою мы обычно называем часть пространства, заполненную каким-либо веществом, газообразным, жидким или твердым. Теперь мы и пустоту, т.-е. пространство, содержащее только эфир, будем рассматривать как среду. Допустим, что среда состоит из отдельных частиц, способных совершать колебательные движения. Вообразим в этой среде прямую линию, вдоль которой расположены частицы, и предположим, что одна из этих частиц начинает колебаться. Благодаря упругости, которую мы приписываем среде, вслед за ней начинает колебаться соседняя частица, расположенная на данной прямой, затем следующая соседняя, опять следующая и т. д. Таким образом, состояние колебательного движения передается все дальше и дальше вдоль прямой, которую мы назовем лучом. Допустим, что колебания поперечные, т.-е. что они происходят перпендикулярно к направлению прямой. Чем дальше частица находится от того места, где колебание началось, тем позже она начинает колебаться, но мы допускаем, что все частицы совершают вполне одинаковые колебания. Прямую, вдоль которой распространяется колебательное движение, мы назовем лучом. Обозначим через N число колебаний, совершаемых одной частицей в одну секунду, так называемую частоту колебаний, и через T время одного колебания, которое еще называется периодом колебаний. Ясно, что

$$NT = 1 \dots \dots \dots (1)$$

То расстояние, на которое колебание передается в одну секунду, мы назовем скоростью распространения колебательных движений; для световых колебаний в пустоте мы обозначим эту скорость, которая и есть скорость света в пустоте, буквою c . Эта скорость равна

$$c = 300,000 \frac{\text{км.ом.}}{\text{сек.}} = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{см.}}{\text{сек.}} \dots \dots \dots (2)$$

Расстояние, на которое колебательное движение распространяется в то время, в течение которого совершается одно

колебание, т. е. во время одного периода T , называют длиною волны данного луча; мы ее обозначим буквой λ . Ясно, что

$$\lambda = cT \dots \dots \dots (3)$$

или, на основании формулы (1), если подставить $T = 1:N$

$$c = N\lambda \dots \dots \dots (4)$$

Мы предположим, что скорость c распространения света в пустоте не зависит от быстроты самих колебаний, т. е. от частоты N , или от периода T . В этом случае, как показывают формулы (3) и (4), длина волны λ прямо пропорциональна периоду T или обратно пропорциональна частоте N ; чем быстрее колебания, тем меньше длина волны. Внутри вещества твердого, жидкого или газообразного скорость света меньше, чем в пустоте; обозначим ее через c' . Период T и частота N не меняются, когда световой луч переходит из пустоты в материальную среду. Пусть λ' длина волны луча внутри такой среды. Вместо (3) мы имеем теперь

$$\lambda' = c' T \dots \dots \dots (5)$$

Так как $c' < c$, а T не изменилось, то ясно, что длина волны λ' луча в материальной среде меньше длины волны λ того же луча в пустоте. Однако, дело значительно усложняется тем, что c' зависит не только от рода среды, но, для данной среды, также еще от частоты N или периода T . Принимая во внимание формулу (3), мы можем сказать, что скорость c' зависит от рода луча, т. е. от длины волны λ в пустоте. Так как c' зависит от T , то (5) показывает, что λ' не пропорционально T , но находится в более сложной зависимости от частоты N или периода T , чем величина λ , относящаяся к пустоте.

Частота N и период T , равный $1:N$, могут принимать, в широких пределах, всевозможные численные значения; различным N , T или λ соответствуют разного рода световые лучи, которые, если они действуют на наш глаз, отличаются друг от друга своим цветом. Беспредельно большое число различных лучей мы можем мысленно расположить в один непрерывный ряд; например, слева направо, при чем по

направлению направо растет частота колебаний, а, следовательно, уменьшается длина волны. Для звуковых лучей такой ряд был бы расположен в порядке возрастающей высоты звуков; грубым символом такого ряда может служить ряд струн, или, еще нагляднее, ряд клавишей рояля, хотя струны и клавиши, конечно, не соответствуют беспрельдно-большому числу возможных звуков, но лишь тем немногим, которыми пользуются в музыке. Для световых лучей такой ряд называется спектром. Всем известен способ его практического осуществления при помощи призмы.

Скорость света в воздухе весьма мало отличается от скорости в пустоте, и мы ее примем равную c . Отношение скорости света c в воздухе (точнее, в пустоте) к скорости c' в каком-либо веществе, называется коэффициентом преломления этого вещества. Обозначив его буквою n , мы имеем

$$n = \frac{c}{c'} \dots \dots \dots (6)$$

Чем меньше c' тем больше n . Луч, переходящий из воздуха в какое-либо другое вещество не по направлению нормали к поверхности этого вещества, преломляется. Если вещество изотропное (не двупреломляющее), то отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β не зависит от угла падения и равно коэффициенту преломления, так что в этом частном случае

$$n = \frac{c}{c'} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \dots \dots \dots (7)$$

Мы видели, что c' зависит от рода луча, т.-е. от произвольной из величин N , T , λ или λ' . Отсюда следует, что n зависит от рода луча, или что, при одинаковом угле падения α , угол преломления β — неодинаковый для различных лучей. Чем больше N , т.-е. чем меньше T , λ и λ' , тем меньше c' , и тем больше, следовательно, коэффициент преломления, или тем меньше, при данном α , угол преломления β . На этом основана нормальная дисперсия света, разложение сложного луча на его составные части, т.-е. получение спектра при помощи призмы. Если

в некоторой группе соседних лучей скорость c' не уменьшается, но увеличивается с возрастанием N , т. е. с уменьшением λ , то получается явление аномальной дисперсии, о которой уже было нами упомянуто.

Одно колебание называется октавой другого, если частота N первого вдвое больше, а длина волны вдвое меньше, чем те же величины для другого. В учении о звуке, а, главным образом, в музыке, говорят об октавах; мы приложим этот термин и к явлениям световым. Длины волн световых лучей выражались, пятьдесят лет тому назад, в миллиметрах и в микронах, равных $0,001 \text{ мм.} = 10^{-4} \text{ см}$ и обозначаемых буквой μ ; $0,001 \mu = 10^{-6} \text{ мм.} = 10^{-7} \text{ см}$ обозначается символом $\mu\mu$. Заметим, что для средней части спектра видимых лучей мы имеем примерно $\lambda = \frac{1}{2000} \text{ мм.} = 0,5 \mu = 500 \mu\mu$. Напомним еще о принципе Доплера, высказанном в 1842 году. Он заключается в том, что частота колебаний, воспринимаемых наблюдателем или находящимся в его руках прибором (спектроскопом), увеличивается, когда источник колебаний и наблюдатель, двигаясь, приближаются друг к другу; она уменьшается, когда они удаляются друг от друга, при чем увеличение и уменьшение частоты считаются сравнительно с тою, которая соответствует относительному покою источника и наблюдателя.

Теперь рассмотрим, каково было, пятьдесят лет тому назад, содержание той науки, которая называется спектральным анализом. Эта, ныне необъятная наука находилась в то время лишь в зачаточном состоянии, ибо все ее содержание сводилось к нижеследующему. Было известно, что накаленные до свечения твердые и жидкие тела испускают так называемый белый свет, который дает сплошной спектр, непрерывно тянущийся от красного до фиолетового конца, и притом слева направо, согласно установленному нами правилу. Этот спектр, пределы которого находятся около $\lambda = 0,76 \mu$ и $\lambda = 0,4 \mu$, тянется на протяжении, которое меньше одной октавы. Частота для крайнего красного луча равна $4 \cdot 10^{14}$ а, для крайнего фиолетового $7,5 \cdot 10^{14}$ колебаний в секунду. Светящиеся газы и пары дают, вообще, линейный

спектр, состоящий из отдельных светлых линий, иногда весьма многочисленных, разбросанных по различным частям спектра. Никакие закономерности в распределении этих линий еще не были открыты. Были изучены многие спектры поглощения и, между ними, спектр солнца с его фраунгоферовыми линиями. Первая основа спектрального анализа, как науки, уже была положена Кирхгофом (1860) в его законе: всякое тело поглощает между прочим те лучи, которые оно испускает. Этот закон объяснил происхождение фраунгоферовых линий. Были открыты тепловые и химические действия различных частей спектра.

Пятьдесят лет тому назад уже было известно, что, кроме лучей видимых, существуют также и лучи невидимые, что спектр тянется влево и вправо от видимой части; две невидимые части спектра были названы инфракрасной и ультрафиолетовой. Однако, изучение этих частей спектра в то время только началось.

Астрофизика представляет ныне самостоятельную, обширную науку, изучающую целый ряд весьма разнообразных вопросов: она имеет свои астрофизические обсерватории, свои кафедры при университетах и свои, исключительно ей посвященные, журналы. Пятьдесят лет тому назад, она, можно сказать, только начинала возникать. Единственный вопрос, которым она в то время уже серьезно занималась, заключался в определении химического состава наружных оболочек солнца, при чем она пользовалась законом Кирхгофа. Спектры звезд и комет только начинали изучаться. Точно также определение радиальных скоростей светил по отношению к Земле, при помощи измерения смещений спектральных линий (на основании принципа Доплера) только что начиналось.

Из всего вышеизложенного явствует, что спектральный анализ с его многочисленными применениями, действительно, находился, пятьдесят лет тому назад, в зачаточном состоянии. О теории спектров, как мы ныне понимаем этот термин, в то время не могло быть и речи.

§ 8. Учение об электричестве и магнетизме. Мы отдельно рассмотрим следующие четыре стороны этого учения:

1. Электрические и магнитные явления, как реально существующие факты, о которых мы узнаем, путем опытов и наблюдений, при помощи наших органов чувств. Эти явления подвергаются качественному и количественному изучению.

2. Законы, которыми управляются эти явления; мы будем иметь в виду почти только законы количественные, хотя существуют и законы качественные, относящиеся к внешнему облику данного явления; эти последние законы представляют существенную часть описания явления.

3. Математические решения различных задач, построенные на основе количественных законов.

4. Теория явлений, построенная на основе предвзятой гипотезы о том закулидном первоисточнике наблюдаемых явлений, который нашему непосредственному наблюдению недоступен. Теория должна показать, что из принятой гипотезы следует необходимость существования данной группы явлений, со всеми их качественными характеристиками и количественными закономерностями.

Содержание, пятьдесят лет тому назад, этих четырех сторон учения об электричестве и магнетизме мы теперь и рассмотрим.

1. Электрические и магнитные явления. Если бы можно было определить число разнообразных электрических и магнитных явлений, которые были известны пятьдесят лет тому назад, и сравнить его с числом ныне известных, то могло бы показаться, что этот отдел физики лишь незначительно расширился за последнее полустолетие, что в начале семидесятых годов все важнейшие явления уже были открыты и изучены, и что к их гигантскому числу с тех пор прибавилось сравнительно совсем небольшое число действительно новых явлений. Понятно, что такое сравнение, которое может привести к нелепой мысли о каком-то застое науки за такое время, которое в действительности дало грандиозное ее развитие и вглубь и вширь, было бы в высшей степени ненаучно. Ценность отдела физики не

определяется числом разнообразных, к нему относящихся явлений, а степенью развития той теории, которая построена для их объяснения, и которая является условием их правильного понимания. Тем не менее, мы должны подчеркнуть, как характеристику состояния этого отдела физики пятьдесят лет тому назад, что трудами большого числа ученых к тому времени был накоплен необъятный научный материал, и что по отношению к весьма многим главам можно было считать задачу отыскания существенно новых явлений совершенно решенной, а самую главу, в этом направлении, окончательно завершенной. Ниже будет приведен ряд примеров.

Мы, очевидно, не можем здесь представить обзора хотя бы важнейших частей громадного учения об электричестве и магнетизме, существовавшего пятьдесят лет тому назад; это заняло бы слишком много места. Мы должны ограничиться перечнем наиболее важных глав этого учения и краткою характеристикой их содержания.

Свойства искусственных (стальных) магнитов были всесторонне исследованы. Было изучено влияние механических воздействий, изменения температуры, многократного перемагничивания и т. д. Можно сказать, что на все вопросы были найдены исчерпывающие ответы. То же самое можно сказать по вопросу о статическом электричестве, которое тогда часто называлось электричеством от трения. Сочинение Рисса (Riess, „Die Reibungselektrizität“) в двух толстых томах не исчерпывало всего фактического материала, полученного в результате опытных исследований статического электричества. Всесторонне были изучены распределения статического электричества на поверхностях проводников, явления электростатической индукции на проводниках, конденсаторы, а также основные свойства диэлектриков (непроводников). Кроме трения, были хорошо известны и другие источники электричества, как, например, давление (пьезоэлектричество), изменение температуры (пироэлектричество), не говоря уже о так называемой электризации при соприкосновении и о термоэлектричестве. Разряд электричества был многосторонне изучен, и был уже известен колебательный характер разряда при определенных условиях. Кроме старой электро-

статической машины с трением существовала уже более удобная машина Гольца (Holtz), реплицишер В. Томсона (лорд Кельвин) и др.

Источники электрического тока и его разнообразные действия были столь подробно исследованы, что обзор полученных результатов, составленный Г. Видеманном (G. Wiedemann, „Galvanismus“) занял четыре толстых тома. Все важнейшие случаи возникновения, или так называемые „источники“ электрического тока были известны: химические реакции в гидроэлектрических элементах (Даниэля, Бунзена и т. д.), теплота в термоэлектрических элементах и столбиках и, что главное, индукция токов магнитами и токами.

Действия тока были, можно сказать, все известны. Сюда относятся: действие тока на магнит, магнита на ток и взаимодействие токов; возбуждение магнетизма токами (электромагниты); нагревание тел при прохождении через них тока; так называемые химические действия тока (электролиз). Были уже известны „явление Томсона“ переноса теплоты током по направлению падения температуры и явление Пельтье (Peltier), на котором мы можем не останавливаться.

Об одном из этих действий нам необходимо сказать несколько слов, а именно о химическом действии электрического тока, каковой термин мы ныне уже не можем признать вполне правильным; мы его заменяем общепринятым „электролиз“. Это явление, как всем известно, заключается в следующем: если опустить в раствор какого-либо электролита, т. е. соли, кислоты или щелочи, электроды, соединенные с источником электрического тока, то начинается выделение, на электродах составных частей электролита или таких веществ, которые представляют продукты вторичных химических реакций между этими составными частями электролита, с одной стороны, и веществом электрода или растворителя или даже самого электролита — с другой. С внешней стороны явление электролиза должно было казаться заключающимся в следующем. Когда мы погружаем электроды в раствор, то мы этим замыкаем цепь, так что электрический ток проходит в раствор, причем, например, притекающее по цепи (проволаке)

положительное электричество течет далее через раствор по направлению от анода к катоду. Проходя через раствор, этот электрический ток разлагает электролит на две части, которые перемещаются внутри раствора по противоположным направлениям и выделяются на электродах. Правильность такого описания электролиза казалась очевидной. Говорили, например „ток разлагает воду“, а необходимость прибавления к воде небольшого количества кислоты, чтобы на электродах появились водород и кислород, объяснялась тем, что от такой прибавки увеличивается проводимость воды, электричество лучше проходит через воду и, вследствие этого, сильнее ее разлагает. Мысль, что ток разлагает растворенное вещество, а также воду, несомненно, еще господствовала пятьдесят лет тому назад. Однако, следует сказать, что к тому времени уже существовали попытки иного объяснения, или, если угодно — описания электролиза. При этом вводились некоторые из тех представлений, которые впоследствии легли в основу объяснения электролиза и которые остались без изменения до настоящего времени. Но это были одиночные попытки, не обратившие на себя должного внимания. Общепринятыми они оказались значительно позже. Ток разлагает, ток производит химические реакции — вот то основное представление об электролизе, которое господствовало пятьдесят лет тому назад.

В совершенно зачаточном состоянии находилось в то время учение о прохождении электричества через разреженные газы. Было известно, что газы при этом светятся; существовала гейслерова трубка, и ею пользовались для получения спектров светящихся газов. Кроме того уже были известны и отчасти изучены некоторые детали этого свечения, как, например, темное катодное пространство, стратификация и др.

Значительной степени развития достигла пятьдесят лет тому назад методика измерения различных физических величин, с которыми имеет дело учение об электричестве и магнетизме. Сюда относятся: количество электричества, емкость, диэлектрическая постоянная сила тока, электродвижущая сила, сопротивление, коэффициент взаимной индукции и самоиндукции, элементы земного магнетизма

и т. д. Были придуманы различные схемы для измерения этих величин, были построены и постепенно усовершенствованы соответствующие измерительные приборы, как, например, электрометры, гальванометры, магазины сопротивлений и т. д.

II. Законы, которыми управляются электрические и магнитные явления. Можно сказать, что все те законы, которые и в настоящее время должны считаться наиболее важными, основными, уже были известны в начале семидесятых годов. Таких законов восемь; мы не считаем нужным приводить точной формулировки этих всем известных законов. Речь идет о следующих законах:

1. Законы Кулона (Coulomb), определяющие величину взаимодействия двух электрических зарядов и двух „магнитных масс“. Эти законы формулируются совершенно так, как закон всемирного тяготения, открытый Ньютоном.

2. Закон Ома (Ohm), связывающий электродвижущую силу (разность потенциалов), силу тока и сопротивление всей цепи или любой ее части.

3. Закон Ленца и Джуля (Joule), определяющий количество теплоты, выделяющейся в проводнике в зависимости от его сопротивления, от силы проходящего через него тока и от времени.

4. Законы электролиза, найденные Фарадеем, определяющие весовые количества выделенных при электролизе веществ, в зависимости от силы тока, от химического состава электролита и от времени.

5. Законы разветвления тока, открытые Кирхгофом, дающие возможность вычислить силу тока в любой части сети проводников, если известны конфигурация сети, сопротивление всех ее частей и все действующие в ней электродвижущие силы.

6. Закон Био и Савара, дающий возможность вычислить напряжение магнитного поля (силу, действующую на единицу количества магнетизма) в любой точке пространства, окружающего электрический ток, если известны геометрическая форма линии тока (провода, по которой он течет) и сила тока.

7. Интегральный закон взаимодействия двух токов.

8. Законы индукции токов для всех случаев, при которых такая индукция осуществляется.

Все эти законы были вполне установлены в начале семидесятых годов. Мы не останавливаемся на других, менее важных закономерностях, относящихся к некоторым частным магнитным или электрическим явлениям.

III. Математическое решение различных задач, построенное на вышеприведенных законах. Все, что сюда относится, можно считать вполне законченным пятьдесят лет тому назад. Не только физики, но и специалисты по чистой математике занимались решением сюда относящихся задач, которые вызывали большой интерес. Можно сказать, что заниматься этими задачами отчасти как бы вышло из моды. Приведем ряд примеров таких задач.

1. Задачи электростатики, решаемые на основании закона Кулона и теории потенциала. Сюда относятся задачи о распределении электричества на поверхности проводников различной формы, а также на нескольких проводниках (два шара); далее, задачи о распределении электричества при индукции, на проводниках и в непроводниках (диэлектрическая поляризация). Тут же решался вопрос о силах, действующих при различных условиях на тела, содержащие электрические заряды (пондеромоторные действия).

2. Задачи, относящиеся к возбуждению магнитного состояния в телах заданной формы и при различных заданных условиях. Эти задачи решались на основании допущения, что магнитная индукция в данной точке тела растет пропорционально действующей в этой точке магнитной силе, что, однако, далеко не соответствует действительности, которая указывает на гораздо более сложную зависимость первой из упомянутых величин от второй.

К учению о магнетизме относятся также задачи о взаимодействии магнитов и знаменитая теория земного магнетизма, созданная Гауссом.

3. Задачи о распределении электрического тока в пластинках различной формы, в поверхностях и внутри сплошных тел.

4. Задачи на вычисление напряжения магнитного поля токов при заданной их конфигурации; сюда относятся весьма важные задачи, относящиеся к катушкам различной формы (гальванометры).

5. Задачи на вычисление взаимодействия токов различной конфигурации.

6. Задачи на вычисление коэффициентов самоиндукции и коэффициентов взаимной индукции, когда даны конфигурации цепей и относительное их расположение. Сюда относящиеся задачи и до сих пор интересуют ученых.

Способы решения всех этих, чисто математических, задач были вполне разработаны пятьдесят лет тому назад.

IV. Теория, т.-е. гипотезы о причинах электрических и магнитных явлений. Вопрос о первоисточниках этих явлений находился, в начале семидесятых годов, в весьма, можно сказать, хаотическом состоянии. Существовало множество различных гипотез, и нельзя сказать, чтобы какая-либо одна из них могла считаться сколько-нибудь твердо установленной и общепринятой. Вообще предполагалось, что рядом с материей существует особого рода агент, „флюид“, невесомая, легкоподвижная „жидкость“, способная перемещаться, течь внутри обыкновенной материи. Были теории дуалистические и унитарные, Дуалистические теории допускали существование двух различных электричеств, положительного и отрицательного, при чем они считались как бы равноценными, т.-е. обладающими совершенно одинаковыми свойствами. Единственная их разница заключалась в том, что силы, которые они вызывали в окружающем пространстве, имели, при одинаковых зарядах, противоположные направления; количественно одинаковыми считались при этом такие заряды, которые, при одинаковых условиях, вызывали силы, одинаковые по величине. При смешении (соединении) равных количеств двух разноименных электричеств, получается нейтральная смесь, не вызывающая никаких сил в окружающем пространстве и, следовательно, ничем не обнаруживающая своего присутствия. Взаимодействие двух зарядов следует закону Кулона. Ни о какой структуре для электричеств в то время не

говорилось. Однако, допускалось, что при решении всевозможных электростатических задач можно мысленно разделить всякий заряд на бесконечно большое число бесконечно малых частей и считать, что каждая пара таких частей взаимодействует по закону Кулона; это сводилось к допущению, что при решении таких задач можно пользоваться методами интегрального исчисления. Говорилось о „частицах электричества“, но это делалось для удобства, для сокращения речи, а самим частицам электричества отнюдь не приписывалось того самостоятельного существования, которым обладают атомы материи. Индукция на проводниках и диэлектрическая поляризация непроводников объяснялись разложением нейтральной смеси, содержащейся во всех телах. Можно добавить, что существовали и такие дуалистические гипотезы, которые предполагали, что два электричества обладают различными свойствами, не равноценны и играют существенно неодинаковые роли в различных явлениях; например, что одно из них может свободно перемещаться внутри проводников, между тем как другое неподвижно, будучи связано с материей.

Унитарные гипотезы предполагали, что существует только одно электричество, которое должно содержаться в определенном количестве внутри тела, чтобы последнее представлялось нейтральным, т. - е. ненаэлектризованным. Потеря части этого нормального количества или появление на теле избытка соответствуют двум электризациям. Явление электростатической индукции заключается в перемещении части нормального количества в одну сторону, вследствие чего на одной стороне проводника является избыток, а на другой — недочет. Не входим в дальнейшие детали. Существовали еще разнообразные теории, не укладывавшиеся в рамки тех двух групп, о которых только что было сказано; большинство их уже не представляют интереса даже с исторической точки зрения.

Еще гораздо большее разнообразие представляют те гипотезы, которые до начала семидесятых годов были, в разное время, предложены для объяснения электродинамических явлений, т. - е. прежде всего, законов взаимодействия токов и различных случаев их наведений (индукции).

Приходилось допускать, что движущиеся заряды действуют друг на друга по иному закону, чем заряды, находящиеся в относительном покое. Приходилось ввести новый закон взаимодействия, который в частном случае относительного покоя зарядов переходил в закон Кулона. Таких видоизмененных законов было предложено много; между ними имел особое значение закон, введенный В. Вебером. На вопрос о том, что такое электрический ток — давались самые разнообразные ответы, большую часть не отличавшиеся ясностью. Обычное дуалистическое представление заключалось в том, что внутри проводника происходит течение обоих электричеств, и притом в противоположных направлениях; неясным остается, в каком виде это движение осуществляется, и почему оба электричества не соединяются. Были и такие гипотезы, которые вообще не предполагали течения электричества внутри проводника, а лишь быстрое вращение зарядов, имеющих форму тонких пластинок, плоскости которых нормальны к направлению тока. Не входим в дальнейшие подробности, не представляющие никакого интереса. Специальные гипотезы предлагались для объяснения некоторых частных явлений. Сюда относятся явления электролиза. Как уже было сказано, в основе всегда лежала мысль, что электролит разлагается током; добавочные гипотезы касались вопроса о том, каким образом происходит перемещение полученных составных частей электролита (ионов) внутри раствора и выделение их на электродах. Магнитные явления приводились к электрическим при помощи тех представлений, которые были развиты Ампером (Ampère).

Легко убедиться, что во всех теориях, которые строились для объяснения разнообразных электрических и магнитных явлений, в особенности различных случаев пондеромоторных действий, а также индукции магнитной, электростатической и электродинамической, господствовала характернейшая для того времени мысль об *actio in distans*, о дальнем действии, т.-е. о непосредственном влиянии друг на друга двух агентов. Такими агентами могли быть два электрических заряда, два количества магнетизма, два элемента электрического тока или одно количество магнетизма и один элемент тока. Промежуточная среда

сама по себе вовсе не влияет на величину силы взаимодействия агентов. Если такое влияние обнаруживалось, то оно было лишь кажущимся и объяснялось тем, что сами агенты действовали на среду и вызывали в ней появление новых агентов, т.е. новых центров, от которых исходили силы, действующие на первоначально данные агенты. Типичным примером может служить влияние окружающей среды на взаимодействие двух электрических зарядов, вызывающих в этой среде диэлектрическую поляризацию; отсюда получается, например, зависимость емкости конденсатора от рода промежуточного диэлектрика (непроводника). Идея об *actio in distans* возникла на почве учения о всемирном тяготении, как якобы несомненный атрибут закона Ньютона, хотя не подлежит сомнению, что сам Ньютон не допускал мысли о непосредственном дальнем действии. Важно отметить, что Фарадей настойчиво оспаривал возможность дальнего действия, считая промежуточную среду передатчиком всякого рода взаимодействий. Идеи, которые развивал Фарадей, казались его современникам неясными, неубедительными, пожалуй, даже ненужными, и ими не были приняты. Максвелл, первый придал этим гениальным мыслям математическую форму, когда он создал электромагнитную теорию света; об этом нами уже было сказано.

§ 9. Экспериментальное искусство. Электротехника.

Заключение. Пятьдесят лет тому назад экспериментальное искусство уже достигло высокой степени развития. Великие учителя Ампер, Дюлонг, Физо, Фуко, Реньо, Фарадей, Кирхгоф, Гельмгольц и многие другие, показали, как можно преодолевать разного рода технические затруднения, возникающие при практическом осуществлении предположенной схемы опытного исследования, как при выводе результатов таких исследований необходимо обращать внимание на всевозможные внешние обстоятельства, которые могут изменять и искажать эти результаты, а также на те источники ошибок, которые кроются, во-первых, в недостатках употребляемых физических приборов, во-вторых — в свойствах органов чувств самого экспериментатора.

Для полноты картины следует отметить, что электротехника, ныне распадающаяся на огромное число отделов

из которых каждый требует своих специалистов, пятьдесят лет тому назад еще вовсе не существовала. Только один из этих отделов, телеграфия, уже в то время достигла значительной степени развития, и немногие другие отделы начинали проявлять первые признаки существования. Сюда относится электрическое освещение и получение токов при помощи магнитоэлектрических машин. Еще можно указать на гальванопластику, как на отдел электротехники в более широком смысле слова, который уже в то время пользовался большим вниманием. Но то, что мы ныне называем электротехникой, возникло во второй половине семидесятых годов, и впервые показало свою нарождающуюся мощь и вызвало великие надежды на блестящую будущность на Венской всемирной электрической выставке 1884 года.

Заключение. В этой главе мы старались дать картину той физики, которая существовала пятьдесят лет тому назад. Мы не излагали ее содержания, мы не перечисляли ее отделов, глав и т. д., но старались, указывая на важнейшие вопросы, которыми она занималась, выяснить характерные ее черты, более или менее ярко выступавшие во всех ее частях. Подводя итоги, мы можем ограничиться немногими словами. Из всего, что было сказано в этой главе, явствует, что наиболее характерными чертами физики того времени оказываются следующие:

1. Безусловное господство механики, построенной на началах, данных Ньютоном и, в связи с этим, стремление объяснить всевозможные физические явления, сделать их „понятными“, сводя их первоисточник к игре гипотетических сил и движений.

2. Кинетически-молекулярное миропонимание, достаточно подробно описанное на предыдущих страницах.

3. Безусловная уверенность в том, что принципы сохранения массы и сохранения энергии абсолютно точны и незыблемы.

4. Широкое применение двух начал термодинамики, т.е. принципа сохранения энергии и принципа возрастания энтропии. При этом второе начало принималось как факт, как свойство нашего мира, наличие которого доказывалась только тем, что все построенные на нем выводы

и предсказания подтверждались при их экспериментальной проверке. Более глубокие корни второго начала, те скрытые от непосредственного наблюдения причины, которые играют роль первоисточников этого свойства нашего мира, оставались неизвестными, невыясненными.

5. Блестящее развитие теории света, как колебательного движения частиц упругого эфира, также подчиненного законам механики.

6. *Actio in distans*, дальное действие, исходящее от магнитов, электрических зарядов и электрических токов; влияние промежуточной среды, как явление случайное и не самостоятельное.

7. Разделение физики на части, ничего общего между собою не имеющие и ничем между собою не связанные; отсутствие таких отделов, которые составляли бы нечто промежуточное между двумя отделами, представляли как бы мост, который их соединяет. Сказанное относится не только к отделам физики, но — и это особенно важно и характерно — ко всей физике, если рядом с нею поставить некоторые другие науки, прежде всего химию и астрономию. Физика и химия были две науки, мало между собой связанные. Конечно, физик должен был иметь некоторые познания по химии, но лишь самые элементарные и притом относящиеся почти исключительно к химии неорганической. Гораздо большее значение имело для химика знакомство с физикой, но только как с предметом вспомогательным, поскольку для него могли представлять интерес такие величины, как плотность тел твердых, жидких и, в особенности, газов и паров, как объем, давление, температура, теплоемкость, скрытые теплоты перехода вещества из одного состояния в другое и еще целый ряд других физических величин. Но этот интерес к физике имел как бы случайный характер и мало отличался от того интереса, который химия проявляла, например, к наукам биологическим. Истинной, глубокой связи между физикой и химией не существовало; задачи, которые эти науки себе ставили, цели, к которым они стремились, были существенно различны. Не было широкого моста между ними, не было промежуточной науки. В еще большей мере сказанное относилось к наукам — физика и астрономия. Они стояли еще

гораздо дальше друг от друга, чем физика и химия, могли вовсе не интересоваться друг другом и, конечно, уже ни о каком мосте, ни о какой промежуточной между ними науке не было и речи.

Отделы физики стояли, большею частью, совершенно обособленно; между ними не замечалось никакой связи, никакого соединяющего их моста. Они развивались независимо друг от друга. Молекулярная физика, акустика, оптика, учение о теплоте и учение об электричестве и магнетизме, казалось, относились к совершенно различным, ничего общего между собой не имеющим физическим явлениям. Одни только явления тепловые как бы проникали во все отделы физики, играя в них более или менее заметную роль. Точнее говоря — температура обнаруживала свое влияние на все физические величины, к каким бы отделам физики они непосредственно ни относились.

8. В разделении физики на отделы, а также в некоторых деталях различных гипотез нельзя было не заметить явных следов антропоморфизма. Физические явления соединялись в группы, в зависимости от способа их восприятия человеком, от характера того впечатления, которое они на него производят. Не малую роль играл воспринимающий орган: для света — глаз, для акустики — ухо, для теплоты — ощущение. Пока мы оставим эту весьма интересную тему, к которой мы еще возвратимся.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Что не могло измениться за последние пятьдесят лет.

§ 1. Введение. В предыдущей главе мы старались дать, по возможности, полную характеристику физики, существовавшей пятьдесят лет тому назад. Важнейшая наша задача заключалась в том, чтобы указать и выяснить дух этой науки, то миропонимание, с которым она была связана и от которого она в то время не могла освободиться. Если мы в некоторых местах поневоле должны были останавливаться, хотя бегло и поверхностно, на ее содержании, далеко его не исчерпывая, то это делалось нами только для того, чтобы иметь перед собой необходимый материал, иллюстрирующий те характерные черты, которые мы желали выяснить.

Теперь перед нами та же задача по отношению к современной физике, характерные черты которой мы намереваемся отыскать, чтобы в окончательном результате получить ясное представление о той глубокой эволюции, которой физика подверглась за последнее полу столетие, об изменении старых и о возникновении новых характерных черт и, в тесной связи с этим, о коренном изменении научного миропонимания. Нам, конечно, и здесь придется много места посвятить чисто историческому элементу, т.-е. изложению новых, великих достижений науки за пятьдесят лет. Но и здесь мы не будем гнаться за сколько-нибудь исчерпывающим изложением даже весьма важных результатов научной, творческой работы; и здесь эти результаты послужат нам лишь материалом, на котором мы построим наши окончательные выводы.

Однако, прежде чем приступить к нашей, не только довольно трудной и сложной, но и можно сказать, совершенно новой задаче, я должен сказать несколько слов pro domo mea. У читателя не может не возникнуть мысль о том, что дух эволюции физики за последние пятьдесят лет может надеяться уловить только тот, перед глазами которого прошли эти долгие годы, и кто за все это время действительно занимался физикой и следил за ее успехами, за ее внешним и внутренним развитием. Чтобы хотя бы несколько уменьшить весьма естественные в этом отношении сомнения, я решаюсь указать на следующее. Я поступил в Петроградский университет в 1869 году, намереваясь посвятить себя изучению физики, и окончил этот университет в 1873 году, т.-е. как раз пятьдесят лет тому назад. С этого момента я занимался исключительно физикой (сперва один год в Лейпцигском университете), стараясь, по мере сил и возможности, следить за ее развитием.

Желая выяснить, каким, за последнее полу столетие, физика подверглась внешним и внутренним изменениям, мы должны прежде всего указать, какие стороны этой науки не могли измениться; этот вопрос не следует смешивать с вопросом о том, что именно за рассматриваемое время, т.-е. до сих пор еще осталось без всякого изменения, но, может быть, изменится в будущем. Мы же хотим выдвинуть те стороны физики, которые навсегда останутся неизменными признаками этой науки, без которых физика перестала бы быть физикой и должна была бы получить какое-нибудь новое название. Таких вековых признаков или сторон физики, которые не могут измениться, существует три, а именно:

I. Предмет или задача физики.

II. Схема практического постепенного решения этой задачи.

III. Схема построения физических теорий.

Из них наиболее важны первая и третья стороны физики; здесь уже безусловно никогда никакой перемены произойти не может. Относительно второй, может быть, и мыслимы споры; быть пророком — трудно. Но, во всяком случае, пока никакой перемены не произошло, не предви-

дится и не предчувствуется и было бы весьма мудрено указать на такое направление, в котором могло бы произойти изменение этой стороны физики. Рассмотрению этих трех сторон и посвящена настоящая глава.

§ 2. Предмет и задача физики. Открытие и исследование явлений. Задаче физики, в самом обширном смысле слова, можно дать следующую формулировку: изучить свойства мертвой (неорганизованной) материи, все те явления, которые в этой материи обнаруживаются и те законы, которым эти явления подчиняются. Это определение задачи физики приходится несколько сузить, так как существует еще одна наука, которая также имеет дело с неорганизованной материей, а именно — химия. Но она изучает лишь ту специальную группу явлений, при которой происходит изменение состава вещества. Ее задача — анализ и синтез вещества. Поэтому мы должны добавить к вышеприведенному определению задачи физики слова: за исключением тех явлений, при которых происходит анализ или синтез материи.

Может казаться, что существует еще ряд наук, которые также имеют дело с мертвой, неорганизованной материей, а именно: астрономия с астрофизикой, минералогия, геология, кристаллография и геофизика. Однако, данное нами определение задачи физики к этим наукам не подходит, так как они имеют дело не с материей, как таковую, но с определенными телами, хотя и состоящими из неорганизованной материи. Это становится очевидным, если только вспомнить, в чем заключаются задачи только что перечисленных наук.

Общая задача физики, которую мы формулировали, конечно, не могла измениться и никогда не изменится. Свойства организованной материи и происходящие в ней особые явления, только для нее характерные, никогда не войдут в область тех исследований, которыми занимаются физики. Фантазируя, можно себе, пожалуй, представить, что когда-нибудь возникнет какая-то совершенно новая наука, которая также будет иметь своим предметом неорганизованное, мертвое вещество, и притом такая же самодовлеющая, как в настоящее время химия, так что ее нельзя будет, без большой натяжки, считать за отдел физики. Тогда

придется к вышеприведенным ограничительным словам, относящимся к химии, прибавить еще новую оговорку. Но даже в этом случае нельзя будет сказать, что изменилась задача физики.

Выполнение задачи физики распадается на три части: открытие, исследование и объяснение тех явлений, которые происходят в неорганизованной материи, и которые мы далее будем просто называть физическими явлениями. Первые две части составляют предмет экспериментальной физики, если исключить те редкие случаи, когда новое явление было открыто, т.е. предсказано теорией. Мы уже указали на три примера таких открытий, а именно на независимость теплопроводности и внутреннего трения в газах от степени их уплотнения или разрежения (стр. 30 и 31) и явление конической рефракции (стр. 48). Вообще можно сказать, что открытие физических явлений может происходить: 1) случайно, 2) неслучайно, и 3) предсказанием на основании теоретических выводов. Первый и третий пути открытия новых физических явлений представляют величайшую редкость. Может казаться, что случайные открытия происходят довольно часто, но это не верно. Трудно подыскать примеры таких открытий, случайность которых была бы точно установлена. Итальянский врач Гальвани (а может быть и его жена) случайно заметил (1789) судорожные сокращения мышц лягушки, явление скорее физиологическое, которое затем привело итальянского физика Вольта (Volta) к открытию, уже не случайному, электрического тока. Утверждают, что Эрстедт (Oerstedt) заметил (1820), во время лекции, что магнитная стрелка, случайно стоявшая на столе недалеко от проволоки, через которую проходил электрический ток, начала двигаться, и что, таким образом, впервые была открыта связь между явлениями электрическими и магнитными. Но другие утверждают, что Эрстедт искал действия тока на магнитную стрелку и, следовательно, сделал это великое открытие (см. ниже) „не случайно“¹⁾. Рентген, несомненно, случайно заметил (1895), что флуоресцирующая

¹⁾ Биография Эрстедта, вышедшая в 1919 году, оставляет вопрос открытым.

пластинка, светящаяся под влиянием ультрафиолетовых лучей, начинала светиться, хотя на нее такие лучи не падали. Она случайно находилась на столе, на котором Рентген производил опыты над свечением разреженного газа под влиянием проходящего через него электрического тока, при чем трубка, в которой находился этот газ, была обернута черной бумагой, не пропускающей ультрафиолетовых лучей. Ясно, что трубка испускала какие-то лучи, свободно проходившие через черную бумагу; это и были „рентгеновы лучи“. Трудно подыскать дальнейшие примеры несомненно случайных открытий важных физических явлений; они столь же редки, как и третий путь, приводивший иногда к таким открытиям, путь предсказания их на основании чисто теоретических выводов.

Можно сказать, что почти все открытия физических явлений были сделаны не случайно; постараемся выяснить смысл этого термина. Мы ниже рассмотрим, как строятся физические теории на основании предвзятой гипотезы о тех закулисных причинах, недоступных нашему непосредственному наблюдению, которые принимаются за первоисточники изученных физических явлений. Оказывается, что ученый не может сделать ни одного шага при своих научных работах без помощи какой-либо предвзятой гипотезы. Действительно, какого бы рода ни была эта научная, творческая работа, вникая в „механизм“ ее возникновения, мы убеждаемся, что ученый при ее выполнении руководствуется некоторой гипотезой, и легко в этом убедиться. Всякая научная работа должна производиться планомерно. Благодаря своим знаниям и своей опытности, ученый ясно представляет себе все уже изученные детали тех явлений, к области которых относится заинтересовавший его и избранный им вопрос. Знание и опытность заставляют его предположить, что при определенных новых условиях следует ожидать чего-то нового. Ясно, что никто не станет делать опыта, ничего от него не ожидая, а в этом ожидании, в этом предположении, что получится нечто новое, и скрыта руководящая гипотеза. В этом случае ученый исходит из гипотезы о существовании явления при чем само явление, его характер и облик ему еще неизвестны, или рисуются лишь туманно и в общих чертах. Вопрос о правильности или ложности гипотезы решается, как только

опыт произведен. Во втором случае ученый обычно несколько меняет гипотезу, стараясь найти ожидаемое явление при так или иначе измененной обстановке.

Аналогичным путем открываются новые законы. Положим, что исследование какого-либо явления указало ученому на существование такой связи между двумя физическими величинами, которая, несомненно, должна выражаться каким-то количественным законом. Ученый ищет этот закон и для этого пробует разные законы, представляющиеся ему возможными, т. - е. исходит из ряда последовательно допускаемых гипотез, что тот или другой закон может „подойти“, т. - е. оказаться в согласии с той зависимостью, которая в действительности наблюдается на опыте.

Другой случай научной, творческой работы мы имеем перед собой, когда ученый, на основании иногда весьма общих соображений, приходит к мысли, что между двумя группами явлений, которые до того казались ничего общего между собою не имеющими, должна существовать связь, например, какое-нибудь влияние одного из двух явлений на возникновение или на форму другого. Это будет гипотеза о связи, которая, благодаря ее мало определенной форме, не может быть непосредственно проверена. Исходя из своей гипотезы о связи, ученый ищет эту связь и при этом строит ряд новых гипотез относительно того, в каком виде и при каких обстоятельствах предположенная связь могла бы обнаружиться. Каждая из этих добавочных гипотез заставляет его произвести соответствующий опыт в надежде найти по пути, указанному этой гипотезой, искомую связь. Когда обнаруживается, что избранный путь верен, тогда и основная гипотеза о существовании связи оказывается подтвержденной. Так, Фарадей искал связь между явлениями световыми и магнитными и, наконец (1845), нашел то магнитное вращение плоскости поляризации светового луча, о которой мы уже говорили (стр. 57). Мы упомянули выше о может быть случайном открытии Эрстедтом связи между магнитными и электрическими явлениями. Позже оказалось, что эта связь более глубокая, и было открыто возбуждение магнетизма при помощи электрического тока (электромагниты), а затем Фарадеем (1831) возбуждение токов (индукционных) магнитами и другими токами. Клод Бер-

нар (Claude Bernard), знаменитый физиолог, говорит: „Предвзятая мысль или гипотеза есть необходимая точка исхода всякого опытного исследования. Без нее немислимо открыть что-либо новое“. От умения избрать правильную гипотезу, т.-е. идти по такому пути, который может привести к цели, зависит успех научной работы, и этим умением определяются все степени талантливости ученых, во главе которых стоят такие гении, как Ньютон, Фарадей, Френель, Герц и другие, коими гордится человечество. Все вышеизложенное достаточно разъясняет, в чем заключается „неслучайность“ почти всех открытий в области физических явлений, и какую роль играли знание, опытность и талант при постановке руководящих гипотез, заменяющих слепой случай.

Вторая из трех частей, на которые распадается выполнение общей задачи физики, заключается в исследовании физических явлений. Оно представляет главную часть деятельности физика-ученого. Оно может относиться как к вновь открытым, так и к давно известным явлениям. Во втором случае почва, вообще говоря, оказывается более подготовленной, и исследователю легче найти те направления, в которых он может работать с некоторою надеждой найти что-либо новое, относящееся к данному явлению. Исследование может быть качественное или количественное. В первом случае речь идет только о тех различных формах или видах, которые изучаемое явление принимает при разнообразных частных условиях, например, при различных температурах или давлениях, или вообще при различной интенсивности того или другого воздействия, могущего изменить характер явления. Сюда может относиться влияние света, электрических или магнитных сил, присутствие различных посторонних веществ и т. д.

Более важной задачей оказывается изучение количественных сторон физического явления, т.-е. тех количественных зависимостей, которые существуют между различными величинами, играющими ту или иную роль в рассматриваемом физическом явлении. Результатом количественных исследований является открытие тех законов, которым данные физические явления подчиняются. Эти законы нередко представляют наиболее характерную и важную часть исследуемого явления, дающую нам возможность наиболее глубоко

проникнуть в самую сущность явления, в те скрытые от нас корни, из которых оно вырастает, и в те причины, которые влияют на его форму и его течение. Количественное исследование явления всегда сводится к производству каких-либо измерений. Физика имеет дело с огромным числом разнообразнейших величин. Для их измерения существуют особые приборы или инструменты, имеющие иногда весьма сложное устройство. Они постоянно подвергаются разного рода изменениям, усовершенствованиям, цель которых — достичь возможно большей точности, а также удобства и быстроты при производстве измерений. Следует помнить, что в физике простое наблюдение без измерений играет, сравнительно, небольшую роль. Производство точных измерений есть величайшее искусство, которому, как и всякому другому искусству, не всякий может научиться. Задача заключается в том, чтобы при помощи данного прибора достичь наилучших, т.-е. точнейших результатов; иначе говоря, чтобы ошибка, неизбежная при всяком измерении, была бы по возможности мала, составляла бы возможно малую процентную часть измеряемой величины. Самая важная, но и самая трудная сторона дела заключается в необходимости принять во внимание все те внешние обстоятельства, которые могут влиять на измерения и исказить их результат. Необходимо в такой степени изучить все свойства измерительного прибора и всего, что может влиять на его показания, и так „наловчиться“ во всех манипуляциях, сопровождающих самое измерение, чтобы не только достигнуть крайней точности результатов, но в то же время иметь возможность определить степень достигнутой точности, вероятную величину оставшейся ошибки. Мы видим из всего вышеизложенного, что выполнение второй из трех частей, на которые распадается задача физики, а именно исследование явлений, сводится к постановке опытов и, почти всегда, к производству измерений разного рода физических величин.

Открытие и исследование физических явлений есть задача экспериментальной физики. В этом заключается то, что мы на стр. 78 назвали „схемой практического постепенного решения основной задачи физики“. Эта схема не подверглась, за последнее полувековье,

никаким изменениям, и даже фантазируя, трудно себе представить, чтобы она когда-либо могла измениться по существу.

§ 3. Объяснение физических явлений. Построение физических теорий. Открытие и исследование явлений приводит, в окончательном итоге, к ознакомлению человека с огромным числом фактов. Таковыми, понятно, оказываются все явления с их характерными и многосторонними особенностями, а также все те законы и правила, которым эти явления подчиняются и которые, строго говоря, входят, как составные части, в существо самих явлений и, во всяком случае, представляют важнейшую, неотъемлемую часть их сколько-нибудь полной характеристики. Однако, все эти факты, как бы они ни были многочисленны, разнообразны и интересны, вместе взятые, еще не составляют того, что было бы достойно названия науки. Это не более, как огромная куча кирпичей и камней, из которых еще только предполагается построить здание науки. Для этого необходимо, прежде всего, из общей кучи фактов подобрать по возможности большую группу таких, которые представляются, более или менее очевидно, родственными между собой. В научном здании, которое должно быть построено, все явления, вошедшие в одну группу, иногда весьма обширную, а иногда и довольно малочисленную, объединяются некоторою общей мыслью, укладываются на одном общем фундаменте, который и должен служить для объяснения всех явлений, входящих в данную группу. Чем обширнее группа явлений, объяснение которых вытекает из одного общего фундамента, тем выше развитие науки. Если бы для каждого отдельного явления было придумано свое, вполне самостоятельное объяснение, то это никого бы не удовлетворило, и такую кучу фактов и объяснений никто не назвал бы наукой.

Что же служит объединяющей основой при объяснении группы физических явлений, в чем заключается тот фундамент, на котором строится научное здание, которое мы назовем теорией отобранной нами группы фактов? Все эти факты находятся перед нами, как бы на открытой сцене, за кулиссами которой находятся, недоступные нашему непосредственному наблюдению, первоисточники этих фактов с их характерными качественными и количе-

ственными законами. Об этих закулисных первоисточниках мы можем только догадываться, выдумывать предположение, т.-е. принимать определенную гипотезу. Вот эта-то гипотеза и служит фундаментом того научного здания, которое мы назвали теорией группы физических явлений. Она служит тем объединяющим началом, из которого эти явления вырастают, как необходимые и логически выводимые следствия. Таким образом, теория является результатом перехода от груды фактов, этих кирпичей и камней, к постройке соответствующей им части научного здания. Исходя из гипотезы, выводятся, путем логического рассуждения (математической дедукции), объяснения явлений, т.-е. всех их качественных и количественных сторон, всех наблюдаемых правил и законов. Но от физической теории мы в праве ожидать еще большего, чем только объяснения всех уже известных фактов; мы ожидаем, что она сумеет предсказать и новые явления. Действительно, из гипотезы, положенной в основу теории, должно оказаться возможным вывести все вытекающие из нее следствия, т.-е. исчерпывающе ответить на вопрос: какие явления должны существовать и каким правилам и законам должны эти явления подчиняться, если та закулисная причина, наличие которой предполагается принятой нами гипотезой, действительно существует? Невероятно, чтобы все явления, существование которых вытекает из данной гипотезы, были бы уже открыты и исследованы. Таким образом, теория может указать такие явления, которые еще неизвестны, а иногда и на такие, существование которых не могло подозреваться, хотя бы вследствие их полной новизны. В других случаях теория предсказывает какие-либо новые качественные стороны или количественные законы, относящиеся к таким явлениям, которые уже давно известны, хотя то, что о них предсказывает теория, еще не было замечено. Всякого рода предсказания теории должны быть проверены на опыте. Если опытное исследование обнаруживает, что явление или закон действительно существуют, то мы можем сказать, что данная теория торжествует; она показала свою силу, не только объясняя известное, но и раскрывая перед нами новое, остававшееся до того неизвестным.

Не следует, однако, придавать таким удачным предсказаниям теории слишком большого значения, и было бы весьма легкомысленно, на основании немногих или даже только одного правильного предсказания, утверждать, что избранная гипотеза верна, что вся теория построена правильно и уже навсегда останется неизменно воздвигнутой частью научного здания. Несомненно, что ясное и без натяжек объяснение многочисленных известных нам явлений и законов, и правильное предсказание новых, сильно говорят в пользу данной гипотезы и построенной на ней теории. Но они, все-таки, никогда не могут служить безусловным доказательством справедливости гипотезы. Дело в том, что одна и та же группа явлений может быть следствием многих, весьма различных закулисных причин; задача науки и заключается в отыскании той из этих возможных причин, которая представляется наиболее вероятной.

Всякая гипотеза, вместе с построенной на ней теорией, представляет, как учит история физики, нечто эфемерное, преходящее, легко уязвимое и погибающее от удара как будто бы сравнительно и небольшого. Сколько бы данная гипотеза ни объясняла и предсказала явлений и законов, от нее наука немедленно отказывается, если хотя бы один из ее выводов не оправдывается на опыте, или если открывается новое явление, не укладывающееся в рамки теории, т.-е. необъяснимое на основании данной гипотезы, или даже несомненно ей противоречащее. Тогда приходится гипотезу, переставшую быть возможной, заменить другою и подвергнуть всю соответствующую часть научного здания более или менее значительной перестройке. На стр. 46—49 был характеризован блестящий расцвет теории колебания упругого эфира; мы увидим, как эта теория рухнула на заре новой физики. Чем больше число различных явлений, объясняемых одной гипотезой, тем лучше. Идеальной законченности достигла бы наука, если бы в ней осталась только одна единственная гипотеза, из которой вытекала бы совокупность всех наблюдаемых явлений со всеми их количественными законами.

Мы назвали гипотезы и построенные на них теории эфемерными. Они, в большинстве случаев, не обладают долгою жизнью; они, после расцвета, иногда пышного и блестящего, подвергаются постепенному упадку, оказываются

„устарелыми“, не соответствующими новым требованиям науки и, в конце концов, должны быть навсегда отвергнуты. Если все это так, то спрашивается: какое же значение могли иметь все эти гипотезы и теории, которые, очевидно, неверны, так как их пришлось заменить другими? Но мы здесь не входим в разбор важного вопроса об историческом значении гипотез; он подробно рассмотрен в моей книге „Физика и ее значение для человечества“, глава II, § 6.

Говоря о теориях, мы совершенно исключаем те части физики, которые содержат выводы из какого-либо экспериментально установленного физического закона, и которые также принято называть „теориями“. Сюда относятся, например, теория теплопроводности, теория упругости, теория потенциала и др. Эти теории, в которых всегда много математики, а иногда очень мало физики, вековечны, так как они построены на твердо установленной, т.е. несомненно существующей закономерности.

Формулируем, на основании предыдущего, в чем заключается та третья часть общей задачи физики, которая должна объяснить явления. Мы видим, что объяснение дается теорией, построенной по следующей схеме:

1) В основе теории лежит гипотеза о законной причине группы физических явлений.

2) Из этой гипотезы должна логически вытекать необходимость существования всех явлений данной группы. В этом и заключается их „объяснение“.

3) Вновь открываемые явления, принадлежащие к той же группе, должны укладываться в рамки данной теории, т.е. объясняться на основании той же гипотезы.

4) Все предсказания теории должны оправдываться на опыте.

Все, что не подходит строго под эту схему, не заслуживает названия физической теории.

В заключение подведем итог этой главы, в которой мы намеревались указать, что именно не могло измениться в физике за последнее пятидесятилетие. На стр. 78 были указаны три вековых признака, три навсегда

неизменные стороны физики. Повторим их в несколько измененной формулировке:

I. Предмет или задача физики.

II. Экспериментальный метод открытия и исследования физических явлений.

III. Тот метод объяснения физических явлений или, что то же самое, та схема построения физических теорий, которую мы только что формулировали в четырех пунктах.

Эти три стороны физики не изменились, не могли измениться и никогда не изменятся (см. оговорку насчет пункта II на стр. 48). Говоря о явлениях, мы подразумевали не только их качественную сторону, их облик, но и сторону количественную, т.-е. те законы, которым явления подчиняются.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

Новая физика, как расширение физики старой.

§ 1. Введение. В главе второй мы характеризовали физику начала семидесятых годов прошлого столетия, а в главе третьей мы указали на те стороны физики, которые должны оставаться навсегда незабываемыми, так как ими определяется существо этой науки. Теперь мы должны перейти к физике новой, т.-е. к той ее эволюции, которая явилась результатом пятидесятилетней творческой работы ученых. Прежде всего необходимо точнее формулировать нашу задачу и выяснить, что мы, главным образом, будем, понимать под эволюцией физики. В § 1 главы первой уже было сказано, что хотя мы и озаглавили эту книгу „Характеристика развития физики за последние пятьдесят лет“ мы, однако, имеем в виду не столько „характер эволюции физики“, сколько „эволюцию характера физики“. Поэтому необходимо выяснить, от каких сторон физики зависит характер, можно еще сказать — „дух“ физики. Вспомним еще раз ту картину, которую мы заимствовали от театра, то деление на открытую сцену и на область закулисную. На первой находятся все „факты“, которые мы можем непосредственно наблюдать, т.-е. физические явления с их качественными и количественными характеристиками; к последним относятся все законы и правила, которым эти явления подчиняются. Их открытие почти целиком, а их исследование целиком составляют предмет экспериментальной физики. Если часть явлений была открыта благодаря предсказаниям теории, то это обстоятельство для нас здесь никакой роли не играет; ведь и в этом случае явление стало для нас реальным фактом только после экспериментального подтверждения предсказания тео-

рии. За кулисами находятся недоступные нашему наблюдению первоисточники физических явлений; гипотеза о их сущности лежит в основе теории, которая строит научное здание из тех кирпичей и камней, роль которых играют „факты“, наполняющие открытую сцену. Мы не изменили заглавия этой книги; это значит, что мы намереваемся коснуться всех сторон физики, т.-е. и открытой сцены с ее фактами, и закулисной области с ее гипотезами и теориями, которые составляют существенное содержание физики, как науки. Но нас особенно интересует эволюция характера (духа) физики, а потому следует выяснить, чем определяется этот характер, этот дух физики, — фактами или теориями? Ясно, что исключительно только теориями. Накопление новых фактов, т.-е. явлений и законов, конечно, характеризует эволюцию науки, но не связано с той эволюцией ее характера, которую мы в этой книге, главным образом, имеем в виду. Если число фактов увеличилось в 2, 3 или даже в 10 раз, то это представит эволюцию чисто количественную, но не ту качественную, которая меняет характер или дух физики. Несомненно, что огромное число новых фактов находится в теснейшей связи с новыми теориями, но это для нас сейчас значения не имеет; история появления новых фактов для нашей темы никакой роли не играет, и мы можем всю наличность новых фактов рассматривать, как нечто данное, как историческое событие, как важную составную часть эволюции физики. Она частично определяет „характер эволюции“, но не имеет никакого отношения к „эволюции характера“.

Итак, ответ на поставленный нами вопрос ясен. Чтобы решить главную задачу этой книги, мы должны сосредоточить наше внимание на „закулисной“ области, т.-е. рассмотреть эволюцию теоретической физики. Однако, по двум причинам мы не можем обойти молчанием и те количественные изменения, которые произошли на открытой сцене, иначе говоря — результаты физики экспериментальной. Во-первых, эти результаты характеризуют ту общую эволюцию физики, которая соответствует заглавию этой книги. Во-вторых — и это главное — наши закулисные искания вызываются и направляются исключительно только тем, что наблюдается на открытой сцене.

Проще говоря: новая теоретическая физика есть результат новой экспериментальной физики. Они тесно переплетаются, и понять первую, конечно, нельзя без второй. Но из всего сказанного ясно, что мы можем ограничиться простым перечнем вновь открытых явлений, обращая особенное внимание на те из них, которые теснейше связаны с новыми теориями, а потому и с нашей главной задачей: выяснить эволюцию характера или духа физики за последнее пятидесятилетие.

§ 2. Новые факты. Молекулярная физика. Под фактами мы условились понимать физические явления; они почти всегда были открыты и безусловно всегда изучены, как с качественной стороны, так и с количественной (законы), экспериментальной физикой. Число новых фактов, появившихся за последние пятьдесят лет на открытой для нас сцене, несомненно, равно многим тысячам, а если считать и более мелкие, то — десяткам и сотням тысяч. Мы ограничиваемся простым перечнем наиболее важных, раскрывших новые научные горизонты, и повлиявших на развитие теорий и на наше миропонимание; таких мы выбираем всего 27 новых фактов, которые мы распределяем в порядке обычных отделов физики. При этом мы во многих случаях помещаем под одним номером не один какой-либо факт, но целую группу новых фактов, тесно между собой связанных и составляющих в некоторых случаях обширную новую главу физики, для сколько-нибудь полного изложения которых требуется многотомное сочинение. Мы совершенно оставляем без внимания те сотни тысяч новых фактов, которые представляют лишь увеличение числа фактов того же рода, известных пятьдесят лет тому назад. Об их числе можно получить некоторое представление, если сравнить таблицы физических величин, вышедшие в 1923 году (Landolt-Börnstein), с подобными же таблицами 1873 года. Впрочем, мы к этому вопросу, хотя и вкратце, еще раз вернемся. Новыми фактами первейшей важности нам представляется нижеследующие.

1. Атомы и молекулы. Существование атомов и молекул стало фактом. Пятьдесят лет тому назад можно было говорить только о гипотезе, хотя и весьма правдоподобной, но все же вызывавшей скептическое к ней отно-

шение некоторых ученых, которое с течением времени весьма заметно возрастало. В девяностых годах дело дошло до того, что некоторые из наиболее выдающихся ученых относились весьма отрицательно к мысли о реальном существовании атомов и молекул; к этим ученым принадлежал знаменитый физико-химик В. Оствальд. Однако, дальнейшее развитие науки превратило атомную гипотезу из более или менее вероятной в достоверную, вследствие чего она перестала быть гипотезой и превратилась в достоверный факт. Новые опытные исследования доказали существование атомов с такою очевидностью, что и В. Оствальд сдался, отказавшись от своего скептицизма. Не останавливаясь на этих новых исследованиях, упомянем только об опытах, в которых можно было отметить и сосчитать отдельные атомы гелия (потерявшие каждый два электрона, так называемые частицы α), влетающие через узенькую щель в закрытый цилиндрический сосуд. Атомы и молекулы, находившиеся в закулисной области, недоступной непосредственному наблюдению, вышли из этой области на открытую сцену, на которой находятся наблюдаемые факты.

2. Кинетическое состояние атомов и молекул. И к нему относится все то, что сейчас было сказано о самом существовании атомов и молекул. Что последние непрерывно движутся, и что живую силу этого движения определяет тепловой их запас, перестало быть гипотезой и сделалось фактом. Такой эволюции, такому переходу из таинственной и всегда сомнительной закулисной области на открытую сцену, способствовало всестороннее изучение явления Броуна, английского врача, который еще в 1827 году заметил, что весьма мелкие твердые частицы, взвешенные в жидкости (растительный сок) и наблюдаемые под микроскопом, обнаруживают непрерывное движение, напоминающее неправильное дрожание. Это движение, никогда не прекращаясь, почти не зависит от разного рода внешних влияний. На это явление, в течение долгого времени, не было обращено того внимания, которого она заслуживает и лишь сравнительно недавно оно подверглось всестороннему, систематическому исследованию, которое не оставило ни малейшего сомнения в том, что видимые движения частиц происходят от тех толчков, которым они подвергаются со стороны

движущихся молекул жидкости, внутри которой они находятся.

3. Строение кристаллов. В вопросе о строении кристаллов, т.-е. о расположении в них частиц или атомов новая физика не только превратила гипотезу в достоверный факт, но в то же время обогатила картину, которую рисовала гипотеза, в высшей степени замечательными и неожиданными деталями. Уже старая физика предполагала, что в кристаллах частицы вещества расположены в вершинах параллелепипедов, ребра которых образованы тремя системами параллельных линий, составляющих так называемую пространственную решетку. Для кристаллов правильной системы эти параллелепипеды обращаются в кубы. При помощи рентгеновых лучей удалось и эту гипотезу, как таковую, уничтожить и поставить на ее место неподлежащий ни малейшему сомнению достоверный факт. Для кристаллов весьма большого числа различных веществ ныне с точностью известна внутренняя структура. При этом была открыта весьма неожиданная и важная деталь: оказалось, что в вершинах параллелепипедов расположены не молекулы, но отдельные атомы или группы атомов, из которых состоят молекулы рассматриваемого кристалла. Так, в простейшем случае хлористого натрия (каменная соль), который кристаллизуется в правильной системе, в углах кубов находятся не молекулы хлористого натрия, но отдельные атомы натрия и хлора, чередующиеся если идти вдоль любой из прямых линий, образующих пространственную решетку. Ясно, что вокруг каждого из атомов натрия расположены, на равных от него расстояниях, шесть атомов хлора, и что, таким же образом, каждый атом хлора окружен шестью атомами натрия. Учение о структуре кристаллов составляет ныне обширную и весьма интересную главу физики, в основе которой лежит уже не гипотеза, но достоверный факт.

4. Новые элементы и изотопы. За последние пятьдесят лет был открыт целый ряд новых элементов, общее число которых возросло до 87, если не считать изотопы, о которых мы сейчас скажем, за отдельные элементы. К вновь открытым элементам относятся благородные, одноатомные газы (аргон, неон, криптон, ксенон и гелий), целые ряды редких, щелочно-земельных металлов, радиоактивные

элементы и ряд других. Последним был открыт (1922) гафний. Мы увидим в последующих главах, какое огромное значение имеет ныне порядковое число Z элемента, которое получается, если в периодической системе Менделеева последовательно занумеровать все элементы. Далее мы увидим, что число элементов от водорода до урана должно равняться 92; из них пять еще не найдены на земной поверхности. Когда были открыты радиоактивные элементы (см. ниже), то оказалось, что под одним и тем же порядковым числом (или номером) Z должны быть помещены несколько элементов. Так, например, под номером $Z = 82$ находятся шесть элементов: *RadG*, свинец, *ThD*, *RadD*, *AcB*, *ThB* и *RadB*. Такие элементы называются изотопами. Спор о том, следует ли изотопы считать за различные элементы или за разновидности одного и того же элемента, в вышеприведенном примере — за разновидности свинца, до сих пор нельзя считать окончательно решенным, хотя, по видимому, большинство ученых, но не все (Зоммерфельд), склоняются в пользу второго решения вопроса. Изотопы обладают совершенно одинаковыми химическими свойствами, а потому не могут быть отделены друг от друга химическими способами. И физические свойства изотопов тождественны, за исключением тех свойств, которые зависят от массы атомов или, что то же самое, от их атомного веса, который неодинаков для группы изотопов, имеющих, как сказано, один и тот же порядковый номер. Для шести изотопов группы свинца ($Z = 82$) мы имеем следующие атомные веса:

<i>RadG</i>	свинец	<i>ThD</i>	<i>RadD</i>	<i>AcB</i>	<i>ThB</i>	<i>RadB</i> .
206,2	207,2	208,0	210	(210)	212	214.

Первые три числа были определены непосредственным измерением; последние два вычислены, а атомный вес *AcB* (активный *B*) указан гадательно. Мы видим, что атомные веса изотопов, действительно, отличаются друг от друга на далеко не малые величины.

До 1919 г. изотопы были известны только в области наиболее тяжелых элементов, с порядковыми числами от $Z = 81$ до $Z = 92$, т. е. в области элементов радиоактивных. В 1919 году было сделано великое открытие, что и между

более легкими, не-радиоактивными элементами встречаются изотопы. Нам нет надобности останавливаться на описании того экспериментального метода, который привел к этому неожиданному открытию. Дж. Дж. Томсон (J. J. Thomson) дал основы этого метода; Астон (Aston) усовершенствовал его. По новейшим данным Астона (декабрь 1923 г.) оказалось, что *Li, B, Ne, Mg, Si, Cl, A, K, Ca, Fe (?) , Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Se, Br, Kr, Rb, Ag, Sn, Sb, X* и *Hg*, имеют или, вернее говоря, состоят из изотопов ¹⁾. Последнее означает, что те вещества, которые мы обычно встречаем в природе или добываем из их химических соединений, суть смеси нескольких разновидностей одного элемента. Так, например, оказалось, что существуют две разновидности хлора, два изотопа, атомные веса которых 35 и 37; обыкновенный же хлор есть смесь приблизительно трех частей Cl_{35} и одной части Cl_{37} . Обыкновенная ртуть (атомный вес 200,6) есть смесь семи изотопов, как бы семи различных „ртутей“, атомные веса которых имеют различные значения от 197 до 204. *Li, B, Ne, Si, Cl, A, K, Ca, Ni, Cu, Ga, Kr, Rb, Ag* и *Sb*, имеют всего по два изотопа; *Mg* и *Ge* имеют три, *Se, Kr* и *Hg* по шести, *Sn* и *X* по семи изотопов. Атомные веса изотопов криптона колеблются между 78 и 86. Наиболее важный результат заключается в том, что атомные веса изотопов, этих действительных элементов, т.-е. тел простых, суть целые числа. Это открытие имеет огромное значение.

5. Раздробление атомов. В этом перечне вновь открытых „фактов“ мы совершенно не касаемся теоретических вопросов, связанных с закулисным царством разного рода гипотез. Поэтому мы пишем „раздробление атомов“, а не „раздробление ядер атомов“. Мы ограничиваемся указанием факта, который заключается в следующем. Выше уже были упомянуты частицы α , которые суть атомы гелия, снабженные, каждый, определенным зарядом положительного электричества, или, что то же самое, лишенные определенного заряда отрицательного электричества, а именно, как мы увидим ниже, двух элементарных зарядов, т.-е. электронов. Резерфорд (Rutherford) открыл, что если быстро

¹⁾ Изотопия железа остается под сомнением.

движущиеся, частицы α ударяют в атомы азота, то эти последние раздробляются, причем одним из продуктов раздробления является атом водорода. Нет надобности указывать на огромное значение этого факта. Он воочию показывает, что атомы не суть однородные зернышки, какими их представляли себе в прежнее время, но имеют какое-то сложное устройство, какую-то структуру. Не останавливаемся на аналогичных опытах Резерфорда, в которых, вместо азота, другие вещества подвергались действию частиц α . Существенно, что под влиянием весьма сильных ударов атомы различных элементов разрушаются, при чем одною из получаемых при этом частей оказывается атом водорода.

§ 3. Новые факты. Учение о тепловых явлениях.

6. Сгущение газов и достижение низких температур. В 1873 году были превращены в жидкое состояние, а отчасти и в твердое, все известные в то время газообразные вещества, за исключением следующих пяти: кислород, азот, водород, окись азота (NO), окись углерода (CO) и метан (CH₄); кроме того не были известны в жидком состоянии фтор, озон и еще некоторые газы. Первые пять назывались тогда постоянными газами. В 1877 г. Кальетэ (Cailletet) и, независимо от него, Пиктэ (Pictet), сгустили кислород и окись углерода, а затем им и другим ученым удалось сгустить и остальные газы кроме водорода, который впервые получил в жидком состоянии Дюар (Dewar) весной 1888 года. Далее были ожижены фтор (1897), озон и COS. После того как были открыты благородные газы: аргон, неон, криптон, и ксенон, и их довольно скоро удалось сгустить. Но когда на земной поверхности был открыт гелий, то оказалось, что он сгущается еще труднее, чем водород, и только 10 июля 1908 года Камерлинг-Оннес (Kamerlingh-Onnes) впервые получил жидкий гелий, точка кипения которого, при нормальном атмосферном давлении оказалась равной 4,29° шкалы абсолютной температуры, т.е. — 268,71° Ц. Подвергая ожиженные газы дальнейшему охлаждению, оказалось возможным все газы, кроме гелия, получить и в твердом состоянии. Камерлинг-Оннесу удалось достичь темпе-

ратуры в $0,9^\circ$ абсолютной температуры, при которой, однако, гелий не затвердел.

Ожижение и затвердевание упомянутых здесь газов могло быть получено только благодаря тому, что удалось постепенно достигать все более и более низких температур. Пятьдесят лет тому назад, самые низкие температуры, до которых могли доходить, были не очень много ниже -100°Ц. Мы только что упомянули, что в настоящее время достигнута температура около -272°Ц. , которая всего на один градус, а может быть и еще несколько меньше, отстоит от абсолютного нуля температуры. Благодаря такому огромному расширению области достижимых температур, возникла новая „физика низких температур“. Оказалось, как и следовало ожидать, что свойства различных веществ, качественная и количественная стороны многих явлений существенно изменяются при очень низких температурах.

7. Теплоемкость. Учение о теплоемкости подверглось, в особенности за последние тридцать лет, глубокому изменению (см. мою книгу „Эволюция учения о теплоемкости“, 1921 г.). Оставляя совершенно в стороне теоретические вопросы, мы ограничимся перечнем важнейших фактов, полученных на основании опытных исследований. Эти факты следующие:

а) Давно было известно, что теплоемкость многих тел, в особенности твердых, уменьшается при понижении температуры. Когда оказалось возможным достичь тех низких температур, о которых мы только что говорили, можно было проследить зависимость теплоемкости от температуры гораздо полнее, чем это было достижимо в прежние годы. При этом оказалось, что при очень низких температурах начинается весьма быстрое уменьшение теплоемкости многих веществ. В некоторых случаях теплоемкость делалась столь малою, что ее уже не оказалось возможным измерить; она практически равнялась нулю. В виде примера приведем некоторые числа для алмаза, атомная теплоемкость (произведение теплоемкости на атомный вес 12) которого при комнатной температуре равна 1,35. При температуре 220° abs. (-153°Ц.) атомная теплоемкость уже равна 0,72; при 205° abs. (-168°Ц.) она равна 0,62; при 92° abs. (-281°Ц.) она равна 0,03; ниже 46° abs. (-227°Ц.) она неизмеримо мала. То же самое отно-

сится к карборунду (SiC). Для меди атомная теплоемкость при комнатной температуре равна 5,9; при 50° abs. (-223° Ц.) она равна 1,434, а при $14,5^\circ \text{ abs.}$ ($-258,5^\circ \text{ Ц.}$) она падает до 0,0396, т.-е. уменьшается почти в 150 раз. Камерлинг-Оннес и Гольст (Holst) измерили теплоемкость (не атомную) ртути при температуре между $2,93^\circ \text{ abs.}$ и $3,97^\circ \text{ abs.}$ ($-270,07^\circ \text{ Ц.}$ и $-269,03^\circ \text{ Ц.}$), при чем она оказалась равной 0,000534, между тем как при комнатной температуре она равна 0,333. Любопытно, что удалось измерить теплоемкость ожиженных и даже затвердевших газов; и для них обнаружилось уменьшение теплоемкости при понижении температуры.

б) Для одноатомных газов атомная теплоемкость вовсе не зависит от температуры и всегда равна 3; это подтвердилось, например, для гелия от -258° Ц. до $+2000^\circ \text{ Ц.}$

в) Для двух- и многоатомных газов теплоемкость растет с повышением температуры. Для водорода молекулярная теплоемкость равна 4,75 при 0° Ц. ; при 2000° она равна 6,0; ниже -223° Ц. она делается равной 3,0 (как для одноатомных газов!) и остается таковою до -238° Ц. Для углекислого газа молекулярная теплоемкость растет от 6,80 при 0° Ц. до 11,5 при 2000° .

г) Для одноатомных газов отношение теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме равна 1,66; это число впервые нашли Кундт и Варбург (Kundt, Warburg) в 1876 г. для паров ртути, а затем другие ученые для паров калия, натрия и кадмия, а также для аргона, неона, криптона, ксенона и гелия.

§ 4. Новые факты. Учение о лучистой энергии.

8. Лучи инфракрасные и ультрафиолетовые. Мы видели (стр. 63), что пятьдесят лет тому назад были известны спектр видимого света от красного конца до фиолетового, а также спектры невидимых лучей, инфракрасный и ультрафиолетовый. Из них инфракрасный спектр (солнца) только начинал подвергаться исследованию; точных измерений длин волн еще почти не было произведено в двух невидимых частях спектра. Совокупность всех видимых и невидимых лучей мы назовем лучистой

энергией. Напомним, что длины волн всевозможных лучей принято выражать в единицах длины: $\mu = 0,001$ мм, $\mu\mu = 0,001 \mu = 10^{-6}$ мм и Å (онгстрем) $= 0,1 \mu\mu = 10^{-7}$ мм; в последнее время стали пользоваться еще одной единицей длины, которая получила странное название „икс“ и обозначение $X = 0,001 \text{Å} = 10^{-10}$ мм. Видимый спектр тянется примерно от длины волны $\lambda = 076 \mu = 7600 \text{Å}$ до $\lambda = 0,4 \mu = 4000 \text{Å}$; вся его длина не достигает даже одной октавы. Вся область лучистой энергии, которую, пятьдесят лет тому назад, можно было считать раскрытой, не превышала 2,5 октав. С тех пор исследованная область спектра лучистой энергии чрезвычайно расширилась в обе стороны от видимой части. Инфракрасная часть спектра выслежена, в особенности благодаря работам Рубенса (Rubens, род. 1865, умер 1923) в Берлине, примерно до $\lambda = 315 \mu = 0,315$ мм, т.е. почти до λ , равной одной трети миллиметра. Вся длина этого спектра равна 8,5 октавам. Ультрафиолетовая часть, во всяком случае, раскрыта от $\lambda = 4000 \text{Å}$ до $\lambda = 500 \text{Å}$, а по новейшим сведениям даже почти до 100Å , что составляет более 5 октав. Вся длина спектра между крайними инфракрасными и ультрафиолетовыми лучами равна ныне $8,5 + 1 + 5 = 14,5$ октавам, из которых менее одной приходится на лучи видимые. Мы имеем здесь не столько открытие вполне нового явления, сколько огромное расширение самого понятия о некотором, уже известном явлении. Число октав, из которых состоит спектр лучистой энергии увеличился, по крайней мере, в шесть раз. Существование далеких (по длине волны) от видимого спектра инфракрасных и ультрафиолетовых лучей есть факт, экспериментально твердо установленный.

9. Лучи Герца (H. Hertz, род. 1857, умер 1894). Это и есть то величайшее открытие (1888), к которому мы (см. главу первую, введение) сочли возможным приурочить возникновение новой физики. Оставляя и здесь в стороне все теоретические соображения, мы ограничиваемся описанием нового явления, т.е. того, что в нем оказывается экспериментально установленным фактом.

Всем известно явление электрического разряда, которое происходит между двумя проводниками электри-

чества, наэлектризованными неодинаково, т.-е. до неодинаковых потенциалов, когда эти тела находятся достаточно близко друг к другу. Вообразим себе два металлических шара A и B , находящихся на некотором расстоянии друг от друга. Соединим их толстою металлическою проволокой, от которой отрежем небольшой кусок, как раз посредине между A и B . К концам двух, образовавшихся при этом, проволок прикрепим два маленьких шарика a и b . Положим, далее, что шар A наэлектризован положительно, шар B —отрицательно. Если шарики a и b находятся достаточно близко друг к другу, то между шарами A и B произойдет электрический разряд, между шариками a и b появится электрическая искра. Давно было известно, что, при заданных здесь условиях, электрический разряд не есть простое, так сказать, единичное явление, но что он состоит из целого ряда частичных разрядов, происходящих в попеременно противоположных направлениях; иначе говоря, электрический разряд имеет колебательный характер, так что мы говорим о колебательном разряде. Такое явление теоретически предсказал В. Томсон (W. Thomson, впоследствии lord Kelvin) еще в 1853 году; его существование обнаружил экспериментально Феддерзен (W. Feddersen) в 1859 году. С чисто описательной стороны, это явление заключается в следующем. Мы предположили, что сначала шар A был наэлектризован положительно, шар B отрицательно. Когда произошел первый из частичных разрядов, то шары оказываются переэлектризованными, т.-е. шар A наэлектризованным отрицательно, шар B —положительно. Вслед затем происходит второй частичный разряд, после которого шар A опять будет иметь положительный заряд, а шар B —отрицательный; после третьего частичного разряда шар A имеет отрицательный, шар B —положительный заряд и т. д. Период (время) электрических колебаний зависит, прежде всего, от формы и от размеров тел, между которыми происходит разряд. Чем меньше размеры этих тел, при заданной их форме, тем меньше период колебаний, т.-е. тем быстрее эти колебания следуют друг за другом. Электрические колебания почти всегда принадлежат к быстро затухающим; их число порядка одного или двух десятков. Это значит, что последовательные заряды шаров A и B делаются

все меньше и меньше, пока дальнейшие частичные разряды уже перестают быть возможными; иначе говоря, разность потенциалов шаров A и B уменьшается после каждого из частичных разрядов. Чтобы дать понятие о быстроте колебаний при электрическом разряде, приведем такой пример: положим, что диаметр равновеликих шаров A и B равен 30 см, длина всей проволоки 1 метр, ее толщина 5 мм; тогда период колебаний приблизительно равен одной тридцатимиллионной доле секунды.

Герц открыл, что от того места, где происходит электрический колебательный разряд, распространяются особого рода лучи, которые обладают всеми теми свойствами, которые общи для лучей видимых, инфракрасных и ультрафиолетовых. Лучи, направление которых перпендикулярно к направлению электрических колебаний, обладают наибольшей интенсивностью, которая равна нулю по направлению самих колебаний. Эти новые лучи называются электрическими или лучами Герца; ими пользуются в беспроволочной телеграфии и телефонии. Их скорость распространения в пустоте равна скорости распространения лучистой энергии, например, света (300.000 км в секунду). Они отражаются, преломляются и интерферируют по тем же законам, как и лучи световые; они обнаруживают явления диффракции, поляризации и двойного лучепреломления и могут образовывать стоячие волны. Все это доказывает с несомненностью, что лучи Герца представляют одну из разновидностей лучистой энергии. Число колебаний в секунду в лучах Герца должно равняться числу электрических колебаний, возбуждающих эти лучи. Герц, в своих первых опытах, пользовался двумя шарами и проволокой, размеры которых были выше приведены; мы видели, что они дали бы около тридцати миллионов электрических колебаний в секунду, если не происходило бы их быстрое затухание. Отсюда следует, что таковым же должно быть число колебаний в лучах, которые возбуждались первым прибором Герца. Разделив скорость распространения этих лучей (300.000 км в секунду) на число колебаний, мы находим, что длина волны λ должна равняться 10 метрам. Более точное вычисление показывает, что длина волны λ равнялась 9 метрам. Сравнивая эту длину с длиной волны

крайних инфракрасных лучей, мы видим, что те лучи, которые Герц получил в своих первых опытах, расположены в спектре лучистой энергии весьма далеко за лучами инфракрасными. Впоследствии Герцу удалось получить лучи, длина волны которых равнялась 66 сантиметрам. П. Н. Лебедев (в Москве) первый получил (1895) лучи, длина волны которых равнялась всего только шести миллиметрам. Самые короткие волны, которые до сих пор удалось получить, но не точно измерить, во всяком случае, не меньше четырех или трех миллиметров.

Прибор, в котором происходят электрические колебания, и который служит для возбуждения лучей Герца, называется в и б р а т о р о м. Увеличивая размеры этого прибора, мы получаем более медленные электрические колебания, возбуждающие лучи с бóльшею длиною волны. В этом направлении нет предела; если мы станем, хотя бы рукой двигать взад и вперед наэлектризованный шарик, так что продолжительность каждого колебания будет равна одной секунде, то получатся лучи, длина волны которых равна 300.000 км; однако, такие лучи научного интереса не представляют. Ограничиваясь лучами, которыми пользуются в телеграфии без проводов, мы возьмем за предельный луч тот, длина волны которого равна 4 километрам, а число колебаний равно 75000 в секунду. Вся длина спектра лучей Герца от произвольно принятого нами крайнего луча $\lambda = 4$ км до луча $\lambda = 3$ мм, равняется 20-ти октавам. Строго говоря, этот спектр неограничен в сторону больших длин волн. Ограничиваясь тою его частью, которая представляет практический или чисто научный интерес, мы видим, что эта часть более чем в двадцать раз длиннее всего спектра лучей видимых. Если мы условимся располагать спектр лучистой энергии так, чтобы длины волн уменьшались слева направо, то мы можем сказать, что спектр лучей Герца находится далеко на лево от лучей инфракрасных.

10. Лучи Рентгена. Вообразим себе стеклянную трубку (или шар), в которой находится разреженный газ; внутри трубки помещены две металлические пластинки, от которых проведены через стекло две проволоки, соединенные с источником электрического тока, например, с катушкой Рум-

корфа. Тогда электрический ток проходит через газ, при чем между пластинками появляется, при не очень большой степени разрежения газа, светящаяся полоса. Та пластинка, через которую в газ вступает отрицательное электричество, называется катодом, другая — анодом. При высокой степени разрежения картина меняется: от катода распространяются, перпендикулярно к его поверхности, прямолинейные лучи, путь которых слабо освещен. Эти лучи называются катодными; ниже мы к ним еще раз возвратимся. То место поверхности стекла, в которое эти лучи ударяются, весьма ярко светится, при чем цвет этого свечения зависит от сорта стекла; обыкновенно этот цвет — зеленый. Рентген (Röntgen, умер 1923) открыл, что от светящейся поверхности стекла исходят особого рода лучи, которые он назвал X-лучами; мы их называем рентгеновыми лучами. Только в 1912 году удалось раскрыть истинную природу этих лучей, при чем оказалось, что они также представляют частный случай лучистой энергии, но их спектр находится далеко за ультрафиолетовой частью, т. е. направо от последней. Их длина волны во много раз меньше длины волны лучей ультрафиолетовых; в этом отношении они представляют как бы крайнюю противоположность лучам Герца. Оставляя в стороне некоторые новейшие исследования, результаты которых еще нельзя назвать окончательно выясненными, и ограничиваясь более старыми наблюдениями, мы можем сказать, что спектр рентгеновых лучей занимает область от $\lambda = 12\text{Å}$ до $\lambda = 0,071\text{Å}$. Для сравнения вспомним, что предел исследованной части ультрафиолетовых лучей соответствует лучам, длина волны которых равна приблизительно одной сотне онгстремов. Спектр рентгеновых лучей занимает семь октав; его середина находится на расстоянии 13 октав от середины спектра видимых лучей, а его конец ($\lambda = 0,071\text{Å}$) на расстоянии почти 15 октав от крайних видимых фиолетовых лучей. Расстояние от видимых лучей до начала рентгеновых ($\lambda = 12\text{Å}$) приблизительно равно расстоянию от видимых лучей до начала лучей Герца ($\lambda = 3\text{ мм.}$). Если спектр лучей Герца произвольно ограничить, со стороны больших длин волн, лучем, для которого $\lambda = 4\text{ км}$ (см. выше), то весь спектр лучистой

энергии от $\lambda = 4$ км до $\lambda = 0,071\text{Å}$ составляет 50 октав. В действительности он, в сторону возрастающих длин волн (медленных колебаний) не имеет конца. Отношение длин волн $\lambda = 4$ км и $\lambda = 0,071\text{Å} = 0,071 \cdot 10^{-7}$ мм равно $5 \cdot 10^{14}$, т.-е. полумиллиону миллиардов, и таково же отношение чисел колебаний в одну секунду: 75.000 и $4 \cdot 10^{19}$. Принятый нами крайний луч слева имеет длину, равную 4 километрам, между тем как длина волны крайнего луча справа примерно равна $\frac{1}{15}$ линейных размеров атома.

В спектре лучистой энергии остаются, в настоящее время, две незаполненные области. Первая из них находится между крайними достигнутыми инфракрасными лучами ($\lambda = 0,314$ мм) и началом спектра лучей Герца ($\lambda = 3$ мм); длина этой области равна 3,5 октавы. Вторая часть находится между крайними ультрафиолетовыми лучами и началом фактически исследованных рентгеновых лучей ($\lambda = 12\text{Å}$); длина этого промежутка равна 3 октавам. Но в настоящее время уже имеются указания на возможные случаи возникновения лучей, принадлежащих к этой области, и нет сомнения, что она в недалеком будущем будет заполнена. Можно надеяться, что современем то же самое произойдет и с первой из вышеуказанных, пока еще неисследованных областей.

Подведем итоги тому, что было здесь указано под номерами 8, 9 и 10. Пятьдесят лет тому назад были известны: видимый спектр, часть ультрафиолетового и начало инфракрасного. Весь исследованный спектр лучистой энергии имел длину около 2,5 октав; отношение длин волн его крайних лучей равнялось примерно шести. В настоящее время один инфракрасный спектр имеет длину, равную 8,5 октавы; длина ультрафиолетового спектра увеличилась почти в четыре раза и открыты лучи Герца и лучи Рентгена. Спектр лучистой энергии растянулся на 50 октав, если его начало, совершенно произвольно, принять у длины волны $\lambda = 4$ км. Сохраняя предел у $\lambda = 4$ км, мы видим, что отношение крайних длин волн возросло от шести до полумиллиона миллиардов. Оказалось, что видимый свет составляет ничтожно малую долю беспредельного, по разнообразию своих форм, явления лучистой энергии, истинный характер которой раскрыли

нам, как мы увидим ниже, лучи Герца. Все здесь изложенное дает нам картину одного из величайших достижений физики за последнее полу столетие.

11. Закономерности в спектрах. Мы видели (стр. 63), что пятьдесят лет тому назад уже были хорошо известны спектры большого числа светящихся газов и паров. Существовали списки длин волн отдельных линий этих спектров и притом не только для видимых лучей, но и для лучей ультрафиолетовых. Однако, изучение этих списков не обнаружило никаких закономерностей. В настоящее время обширное учение о закономерностях в спектрах, и притом не только в линейных, но и в полосатых, составляет один из важнейших и интереснейших отделов физики. Первую закономерность нашел Бальмер (Balmer) в 1885 году в спектре водорода и тем обессмертил свое имя; совокупность тех линий водорода, к которым относится открытая им закономерность, ныне составляет так называемую бальмеровскую серию. Эта закономерность может быть выражена формулой вида

$$\nu = A \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right).$$

Здесь ν число колебаний для одного из лучей, A число постоянное, $k=3, 4, 5$ и т. д., при чем $k=3$ дает число ν для первой (красной) линии спектра водорода, $k=4$ соответствует второй (зеленой), $k=5$ — третьей (синей) и т. д. линиям. Впоследствии были найдены 29 линий (из них 24 находятся в ультрафиолетовой части спектра), которые соответствуют числам от $k=3$ до $k=31$. Если подобрать число A , то оказывается, что формула Бальмера дает числа ν для всех 29 линий с такою точностью, которая почти не имеет себе подобной в других частях физики. Благодаря почину Бальмера, а затем работам большого числа других ученых, удалось найти в спектрах многих элементов серии линий, очевидно чем-то между собою связанных, при чем величины ν для всех линий одной серии связаны общею формулой вида.

$$\nu = C - F(k),$$

где C постоянное для данной серии число, а $F(k)$ такое выражение, в состав которого входит величина k , принимающая для последовательных линий одной серии значения, равные последовательным целым числам, начиная, например, от 2-х, от 3-х, редко от 4-х. В частном случае водородной серии Бальмера мы имеем $C = A : 4$, $F(k) = A : k^2$ и k начинается от $k = 3$. Серии, которые выражались бы формулой того же вида, как и формула Бальмера, найдены еще в спектре водорода (две серии, кроме бальмеровской) и в спектре гелия (ионизированного, см. ниже). В спектрах других элементов найдено большое число серий, для которых $F(k)$ имеет, однако, более сложный вид, чем в формуле Бальмера. Нам нет надобности входить в какие-либо дальнейшие подробности. Достаточно повторить, что ныне расцвела обширная и чрезвычайно важная наука о закономерностях в спектрах.

Светящиеся пары химических соединений дают спектры, состоящие из полос, при чем каждая полоса имеет с одной ее стороны резкий, с другой — неопределенный, расплывчатый край. При достаточно сильной дисперсии, такая полоса распадается на большое число тонких линий. Многочисленные закономерности в распределении этих линий, а также самих полос, были впервые открыты Деландром (Deslandres).

12. Спутники спектральных линий. Спектральные линии считались до 1892 года за линии монохроматические, т.-е. соответствующие, каждая, одной определенной длине волны. В указанном году Мейкельсон (Michelson) первый показал, что некоторые спектральные линии имеют сложную структуру, т.-е. состоят из группы весьма близких друг другу линий. Впоследствии эта структура была изучена целым рядом ученых для большого числа спектральных линий. Оказалось, что весьма часто одна из линий, основная, обладает большою яркостью, между тем как остальные сравнительно очень слабы. Они называются спутниками или трабантами. Не были найдены спутники в спектрах Zn , Al , Mg , Ag , Sn и Ne . Не имеет спутников красная линия кадмия ($\lambda = 6438,47 \text{ \AA}$). Много линий со спутниками найдены у Mn и Hg . Особый интерес представляет зеле-

ная линия ртути, которая состоит из 11 или 12 отдельных линий, при чем ее нельзя рассматривать, как состоящую из главной линии и из спутников, так как многие из ее составных частей обладают почти одинаковой яркостью. Расстояние спутников друг от друга весьма мало; разность длин волн соседних спутников измеряется сотыми долями онгстрема. Возникновение спутников впервые объяснил Зоммерфельд (Sommerfeld) в 1917 году, о чем еще будет подробно сказано.

13. Абсолютно черное тело. Испускательная и поглощательная способности данного тела суть функции абсолютной температуры T тела и длины волны λ тех лучей, к которым эти две способности отнесены; мы обозначим их через $e(\lambda, T)$ и $a(\lambda, T)$. Здесь идет речь о калорическом испускании и поглощении, которые вызываются тепловым состоянием, в отличие от люминесценции, к которой относятся, например, фосфоресценция и флуоресценция. По закону Кирхгофа (Kirchhoff), мы имеем для двух произвольных тел пропорцию

$$\frac{e(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = \frac{e_1(\lambda, T)}{a_1(\lambda, T)}$$

где e и a относятся к одному, e_1 и a_1 к другому телу. Назовем абсолютно черным такое тело, которое при всех температурах вполне поглощает всю лучистую энергию, каковы бы ни были длины волн падающих на него лучей. Если для такого тела ввести, вместо e и a обозначения E и A , то мы по условию имеем $A(\lambda, T) = 1$ при всех λ и T . Для двух абсолютных черных тел предыдущая формула дает

$$\frac{E(\lambda, T)}{A(\lambda, T)} = \frac{E_1(\lambda, T)}{A_1(\lambda, T)}$$

или, так как $A(\lambda, T) = A_1(\lambda, T) = 1$,

$$E(\lambda, T) = E_1(\lambda, T) \dots \dots \dots (1)$$

Это показывает, что калорическое лучеиспускание $E(\lambda, T)$ есть одинаковая для всех абсолютно черных тел функция от T и λ . Это какая-то мировая функция, независящая от рода (материала)

абсолютно черного тела. Такое тело не следует себе представлять непременно черным в обычном смысле слова. Оно действительно черное при невысоких температурах, но при достаточно высокой температуре оно испускает видимый свет и может нам представиться до-бела раскаленным. Если предположить, что второе из двух тел, к которым относится формула Кирхгофа, есть тело абсолютно черное, то $e_1(\lambda, T) = \dot{E}(\lambda, T)$ и $a_1(\lambda, T) = A(\lambda, T) = 1$, так что получается

$$\frac{e(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = E(\lambda, T) \dots \dots \dots (2)$$

Это значит, что отношение калорического лучеиспускания к калорическому поглощению есть одинаковая для всех тел функция от T и λ , равная той мировой функции $E(\lambda, T)$, которая определяет калорическое лучеиспускание абсолютно черного тела. Вид этой мировой функции $E(\lambda, T)$ был впервые теоретически найден Планком (Planck) около 1900 года. Явилась весьма важная задача о практическом осуществлении абсолютно черного тела. Уже сам Кирхгоф немногими словами указал на возможность следующего решения этой задачи. Вообразим себе сосуд из материала, не пропускающего лучистую энергию, например, металлический, со всех сторон закрытый, при чем, однако, в одном месте имеется маленькое отверстие в стенке сосуда. Весь сосуд находится при одной и той же температуре T . Тогда можно доказать, что поток лучистой энергии, выходящий из сосуда через малое отверстие наружу, по составу тождествен с тем потоком, который испускается абсолютно черным телом при температуре T . Разлагая лучи, выходящие из отверстия, в спектр, можно практически изучить зависимость функции $E(\lambda, T)$ от λ при данном T . Меняя температуру T от самых низких до самых высоких, можно получить значения функции $E(\lambda, T)$ при всевозможных λ и T , и таким образом, изучить ее все-сторонне. Фактически построили одновременно такое „абсолютно черное тело“ впервые Кристиансен (Christiansen) и Больцман (Boltzmann) в 1884 году, но как-то мимоходом и случайно. Затем построили такое тело и занялись исследованием потока лучистой энергии, выходящей из упомянутого.

малого отверстия, впервые Луммер и Вин (Lummer, Wien) в 1895 году. Про этих ученых и говорят, что они, не то открыли, не то изобрели абсолютно черное тело. В 1901 году Луммер и Курльбаум (Kurlbaum) дали подробное описание „электрически накаляемого абсолютно черного тела“. Наиболее удобной формой такого тела, оказалась форма цилиндрическая, двустенная из огнеупорного материала. В промежутке между обеими стенками помещен платиновый цилиндр, нагреваемый электрическим током до желаемой температуры T , которая измеряется термоэлектрической парой, помещенной во внутреннем цилиндре. У одного из оснований этого цилиндра находится маленькое отверстие, из которого выходит „черное излучение“, спектр которого соответствует мировой функции $E(\lambda, T)$ при данной температуре T . Открытие или изобретение абсолютно черного тела сыграло весьма большую роль в истории физики.

14. Давление лучистой энергии. Электромагнитная теория света, созданная Максвеллом (Maxwell), приводит к замечательному результату, что поверхность тела, до которого распространяется поток лучистой энергии, подвергается давлению, величина которого на единицу поверхности численно равняется полному количеству энергии, содержащейся в единице объема, когда поверхность абсолютно черная и поток падает нормально к этой поверхности; на других случаях мы не останавливаемся. Бартоли пришел к тому же результату, исходя из термодинамических соображений. Любопытно, что уже Кеплер (1619) высказал мысль о давлении света; этим давлением он даже пытался объяснить происхождение кометных хвостов, обращенных от солнца. Первый П. Н. Лебедев в Москве обнаружил путем опыта давление света. Его замечательная работа, прославившая его имя на весь мир, появилась в 1892 году; давление оказалось равным тому, которое предвиделось теориями Максвелла и Бартоли. Никольс и Гулл (Nichols, Hull) также измеряли давление лучистой энергии, и получили результаты, согласные с теорией. Когда лучи падают наклонно к поверхности тела, то на это тело должна действовать тангенциальная сила, параллельная самой поверхности. Пойнтингу (Poynting) удалось (1904) доказать существование этой силы и измерить ее величину.

Лучеиспускающее тело должно подвергаться давлению по направлению, прямо противоположному направлению испускания; это давление аналогично так называемой „отдаче“, например, пушки. Пойнтинг доказал (1910) на опыте существование этой отдачи.

На основании этих работ вновь возникла мысль, высказанная Кеплером, о той роли, которую может играть световое давление в космических явлениях, например, при образовании кометных хвостов. Первый П. Н. Лебедев (1892) сравнил световое отталкивание с ньютоновским притяжением и указал, что для тел, размеры которых достаточно малы, первое может быть больше второго. Дело в том, что притяжение уменьшается пропорционально кубам, а отталкивание пропорционально квадратам линейных размеров тел. Далее, необходимо иметь в виду, что около поверхности солнца интенсивность лучистой энергии в 46.000 раз больше, чем около земли, между тем как ньютоновское притяжение только в 27,5 раз больше, чем сила тяжести на поверхности земли.

15. Стоячие световые волны и цветная фотография. Если в некоторой упругой среде распространяются два колебательных движения одинаковой частоты и, допустим для упрощения, одинаковой амплитуды, в направлениях друг другу прямо противоположных (встречные колебания), то образуются так называемые стоячие волны, в которых чередуются пучности и узлы. В первых амплитуда колебаний наибольшая, во вторых она, при указанных условиях, равна нулю. Расстояние пучностей друг от друга, а также узлов друг от друга равно полуволне; расстояние соседних пучности и узла равно одной четверти длины волны. Такие стоячие волны легко наблюдаются при распространении встречных колебаний в твердых и газообразных телах, менее легко в телах жидких; в твердых телах стоячие волны получаются как при продольных, так и при поперечных колебаниях. В звучащих трубах мы имеем стоячие звуковые волны.

Полагая, что свет есть распространяющееся колебательное движение, можно было надеяться получить и световые стоячие волны. Это впервые удалось Винеру (O. Wiener) в 1889 году, заставляя действовать на светочувствительный

слой (коллодий, содержащий хлористое серебро) однородные лучи света, идущие прямо от источника (натриевое пламя) и лучи, отраженные от стеклянной пластинки, на которую эти лучи падают нормально. Прямые и отраженные лучи образуют стоячие волны, которые обнаруживаются после проявления светочувствительной пластинки, на которую производится наибольшее действие в пучностях и наименьшее, или равное нулю, в узлах. Не останавливаемся на дальнейших деталях этого, исторически весьма важного, открытия.

В тесной связи с работой Винера находится цветная фотография, изобретенная Липманом (Lippmann) в 1891 году. Ее задача — осуществить давнишнюю мечту получить при фотографировании предметов их изображения не в серых и черных тонах, но с тою полною окраской, которой этот предмет обладает. Мы не описываем способа Липманна; он дает особенно хорошие результаты при фотографировании спектра. Замечательные по чистоте (однородности) цветов фотографии спектров получил Усагин (в Москве). Вообще же следует сказать, что изобретение Липманна не оправдало тех надежд, которые первоначально на него возлагались, и что мечта изобрести практически удобный и по результатам удовлетворительный способ цветной фотографии до сих пор остается неосуществленной.

§ 5. Новые факты. Явления магнитные.

16. Явление Земана (Zeeman). Физика обогатилась за последнее пятидесятилетие двумя новыми, обширными главами, магнитооптикой и электрооптикой. В них рассматриваются две группы новых явлений, имеющих огромное значение для теории; во всех этих явлениях мы имеем дело с влиянием сильных магнитных и электрических полей на явления световые. До 1873 г. было известно только одно такое явление, открытое Фарадеем в 1845 г., а именно вращение плоскости поляризации светового луча, распространяющегося внутри прозрачного тела вдоль линий сил магнитного поля; об этом явлении уже было сказано на стр. 57. Из целого ряда магнитооптических и электрооптических явлений, которые с тех пор были открыты и изучены, мы ставим на первое место явление, открытое в 1896 г. голландским ученым Земаном.

В этом явлении впервые обнаружилось влияние магнитного поля (магнитных сил) на лучеиспускание светящихся тел, а именно паров и газов, дающих линейный спектр. Заключается это явление в следующем. Поместим в сильном магнитном поле, например, между полюсами большого электромагнита, светящийся пар или газ и будем наблюдать одну из линий его спектра при помощи спектроскопа, обладающего высокою степенью рассеяния. Пока электрический ток не проходит через обмотку электромагнита и, следовательно, нет магнитного поля, мы видим одну тонкую спектральную линию; предполагаем, что спутники ее не видны. Если замкнуть ток, так что светящееся тело будет находиться в магнитном поле, то мы замечаем расщепление спектральной линии на несколько отдельных линий, расстояние между которыми, вообще говоря, растет при возрастании напряжения магнитного поля. Явление Земана имеет различный вид смотря по тому, наблюдаем ли мы лучи, испускаемые по направлению магнитных линий или перпендикулярно к этим линиям. В первом случае мы говорим о продольном эффекте Земана, во втором — о поперечном эффекте. Оказывается, что для различных линий и различных светящихся веществ явление Земана имеет весьма неодинаковый вид. Принято отличать нормальную форму этого явления от аномальной. Первая форма явления заключается в следующем. Если наблюдать по направлению, перпендикулярному к магнитным линиям сил, то оказывается, что спектральная линия расщепляется на три линии, из которых средняя занимает место первоначально существовавшей линии, а две другие расположены с двух ее сторон на равных от нее расстояниях. Эти линии составляют так называемый нормальный триплет и мы имеем дело с нормальным поперечным явлением Земана. Оказывается далее, что все три линии вполне линейно поляризованы, и притом в средней линии колебания происходят параллельно линиям сил, в двух крайних — перпендикулярно к этим линиям. Две крайние линии вдвое слабее средней. Если наблюдать лучи, испускаемые по направлению магнитных линий сил, то спектральная линия оказывается расщепленной на две линии, равноотстоящие, с двух его сторон, от положения первоначальной.

чальной линии. Это нормальный дублет при продольном явлении Земана. Оба луча вполне поляризованы, но поляризация круговая, при чем в одной линии вращение происходит по, в другой — обратно движению часовой стрелки. Обе линии одинаковой яркости.

Рассмотренное здесь явление, представляющее явление Земана при лучеиспускании, можно назвать прямым, в отличие от явления обратного, которое наблюдается при поглощении лучистой энергии при ее прохождении через тело, находящееся в магнитном поле. Если поместить между полюсами электромагнита слабосветящиеся пары и пропустить через них белые лучи от яркого источника, то при отсутствии магнитного поля наблюдается известное явление обращения спектра: на фоне сплошного спектра белых лучей появляются темные линии, согласно закону Кирхгофа. При возбуждении магнитного поля наблюдается расщепление темных линий, одинаковое с расщеплением линий спектра, испускаемого данными парами.

Мы выше описали „нормальное“ явление Земана. Исследования показали, однако, что для огромного числа спектральных линий явление Земана имеет гораздо более сложный вид. Ограничиваемся поперечным эффектом. Оказывается, что, вместо трех линий, могут получаться 4, 6, 7, 9, 13 и даже 15 линий; кроме того и триплет может быть аномально раздвинут. Линия D_1 натрия дает квадруплет, линия D_2 — секстет. В настоящее время учение о явлении Земана составляет обширную главу физики, даже если ограничиться фактической стороною, т.-е. описанием непосредственно наблюдаемых явлений. Были открыты разного рода закономерности, из которых приведем только закон Престона (Preston): тип расщепления линии, поляризация и относительные интенсивности отдельных линий одинаковы для всех линий одной серии (стр. 106), у какого бы элемента эта серия ни встречалась. Влияние магнитного поля на спутники спектральных линий также подробно изучено. Мы не вдаемся в дальнейшие подробности, ибо для наших целей достаточно указать на экспериментально доказанный факт влияния магнитного поля на лучеиспускание и поглощение лучистой энергии. Американский астроном Гел (Hale) нашел в 1908 г. расщепление спектральных линий лучей,

испускаемых такими местами поверхности солнца, в которых замечаются вихревые движения; таким образом было доказано существование сильных магнитных полей на солнце.

17. Другие магнитооптические явления. Кроме явлений Фарадея (стр. 57) и Земана был открыт еще ряд других магнитооптических явлений, которые мы бегло перечислим.

I. Явление Керра (Kerr). Американский ученый Керр открыл в 1877 году следующее явление, относящееся к отражению поляризованного светового луча от полированной поверхности намагниченного железа или иного ферромагнитного вещества. Заметим, что когда прямолинейно поляризованный луч падает на металлическую поверхность, то отраженный луч, вообще говоря, оказывается эллиптически поляризованным, т.-е. как бы состоящим из двух прямолинейно поляризованных лучей, при чем их плоскости поляризации взаимно перпендикулярны, амплитуды колебаний и их фазы неодинаковы. Явление Керра обнаруживается при различных условиях намагничивания железа и направления падающих лучей; мы укажем только главный случай так называемого полярного намагничивания, когда магнитные линии сил выходят из железного зеркала перпендикулярно к его поверхности. Если поляризованный луч падает нормально или почти нормально на такую поверхность, то плоскость поляризации отраженного луча оказывается повернутой относительно плоскости поляризации падающего. Вращение называется положительным, если оно происходит по направлению электрического тока, намагничивающего железо (или амперовых токов в последнем), и отрицательным при вращении в обратном направлении. Вращение оказывается отрицательным для зеркал из железа, стали, кобальта, никеля, инвара ($Fe + 36\% Ni$), сплава Гейслера (см. ниже) и для Fe_3C ; оно положительное для магнетита (Fe_3O_4) и пирротина (Fe_7O_8). Более точные исследования показали, что отраженный луч поляризован не вполне прямолинейно, но по весьма растянутому эллипсу. Когда прямолинейно поляризованный луч падает на магнитное зеркало под углом, то отраженный луч, вообще говоря, оказывается поляризованным эллиптически. Величина вращения

зависит, при данной интенсивности намагничения зеркала, от длины волны падающего луча; бывают случаи, когда вращение, при изменении длины волны, меняет знак, переходя через нуль. Влияние магнитного зеркала на поляризованный луч существует и в том случае, когда намагничение параллельно поверхности зеркала. Не входим в дальнейшие подробности; для нас достаточно указания на важный факт влияния намагниченного вещества на световой луч, отражающийся от его поверхности.

II. Явление Макалузо и Корбино (Macaluso, Corbino). Названные ученые открыли в 1898 году влияние магнитного поля на луч, распространяющийся в теле, обладающем линиями или полосами поглощения. Здесь мы имеем дело со специальным влиянием, которое имеет более общий характер, чем то, которое обнаруживается в явлении Фарадея. В явлении Макалузо и Корбино мы имеем весьма сильное вращение поляризованных лучей, длина волны которых близка к длине волны лучей, поглощаемых средой. Если таковой является пламя, содержащее пары натрия (явление Фарадея в нем незаметно слабо), то поляризованные лучи, проходящие через это пламя, помещенное в магнитное поле, по направлению магнитных линий сил, подвергаются вращению на огромные углы, если длина волны лучей близка к длинам волн лучей D_1 или D_2 . Макалузо и Корбино наблюдали вблизи линии поглощения вращение до 27° ; Вуд (Wood) достигал вращений в 1350° в слое паров натрия, толщина которого равнялась 10 сантиметрам.

III. Двойное лучепреломление в магнитном поле. Вообразим себе вновь среду, имеющую линии или полосы поглощения, находящуюся в магнитном поле. Если через нее проходит луч, по длине волны близкий к лучу поглощаемому, то наблюдается явление двойного лучепреломления. Это явление впервые наблюдал Фогт (Voigt) 1892, а затем и ряд других ученых. Майорана (Majorana) 1902 и особенно Котон и Мутон (Cotton и Mouton) 1910 наблюдали двойное лучепреломление в жидкостях, помещенных в магнитное поле, а именно Майорана в некоторых препаратах гидрата окиси железа, Котон и Мутон в различных органических жидкостях и в серни-

стом углеводе. В этих явлениях двойное лучепреломление не связано с явлением поглощения света.

18. Явление Холля (Hall) и его аналоги; явления гальваномагнитные и термомагнитные. Заимствуем обзор этих явлений из статьи К. К. Баумгарта помещенной в последнем томе моего „Курса физики“ (гл. XIII, § 9). Все сюда относящиеся явления заключаются в появлении разностей потенциалов (электрическое явление) или разностей температур (тепловое явление) при следующих условиях: проводник (пластинка), по которому проходит электрический ток, помещают в магнитное поле. Тогда могут обнаружиться два электрических явления (продольная и поперечная разности потенциалов) и два тепловых явления (продольная и поперечная разности температур). Эти четыре явления носят общее название гальваномагнитных. Если по проводнику течет не электрический, а тепловой ток (два края пластинки поддерживаются при разных температурах), то также могут обнаружиться четыре явления, два электрических и два тепловых, которые носят названия термомагнитных явлений. Все поперечные явления происходят в направлении перпендикулярном, как к направлению линий сил магнитного поля, так и к направлению первоначально данного тока, электрического или теплового. Они меняют знак, как при изменении направления тока, так и при изменении направления магнитного поля. Все продольные явления происходят в направлении данного тока и не меняют знака при изменении направления магнитного поля. По отношению к расположению пластинки в магнитном поле можно различать три случая:

I. Линии сил магнитного поля перпендикулярны к плоскости пластинки. Это расположение чаще всего применялось. Наблюдаются как поперечные, так и продольные явления.

II. Линии сил магнитного поля перпендикулярны к направлению тока, но параллельны поверхности пластинки. Поперечные явления здесь происходят поперек пластинки, т.-е. между точками, лежащими на двух боковых поверхностях пластинки. Продольные явления происходят как и в первом случае, вдоль плоскости пластинки в направле-

нии тока. В случае пластинки из вещества сильно магнитного, сказывается различие при положениях I и II.

III. Линии сил магнитного тока параллельны первичному току и плоскости пластинки. Возможны только продольные явления.

Первое из восьми наблюдаемых явлений было открыто Холлем в 1879 году и носит его имя. Оно поперечное, гальваномагнитное и электрическое; оно наблюдается следующим образом. В магнитное поле помещают прямоугольную пластинку в положение I. Две средние точки коротких краев пластинки соединяют с источником электрического тока; около средин двух длинных краев пластинки отыскивают две точки, которые при отсутствии магнитного поля, находятся при одинаковых потенциалах и, следовательно, при соединении с гальванометром не дают отклонения в последнем. Если возбудить магнитное поле, то в гальванометре появляется ток. В 1886 году Нернст и Эттинггаузен (W. Nernst, v. Ettinghausen) открыли в тепловом токе явление, соответствующее явлению Холля, т.-е. явление термомагнитное, поперечное и электрическое: появляется разность потенциалов, направленная поперек первичного теплового потока и поперек линиям сил магнитного поля. Затем Эттинггаузен открыл в 1887 г. гальваномагнитное поперечное тепловое явление, т.-е. появление поперечной разности температур в установке Холля; провода, идущие к гальванометру, заменены двумя чувствительными термоэлементами, обнаруживающими возникновение разности температур. В том же году Ледюк (Leduc) и Риги (Righi), независимо друг от друга, обнаружили термомагнитное, поперечное тепловое явление; они показали, что появляется поперечная разность температур, если по пластинке, помещенной в магнитное поле, проходит не электрический (Эттинггаузен), но тепловой ток.

Не останавливаемся на четырех продольных явлениях. Достаточно и приведенных четырех явлений, чтобы выяснить опытно установленный факт нового влияния магнитного поля.

19. Магнитные сплавы из немагнитных металлов. Немецкий инженер Гейслер (Heusler) открыл в 1900 году весьма странный факт, заключающийся в том, что немагнитный сплав, состоящий из 30% *Mn* и 70% *Cu*

приобретает магнитные свойства, если к нему прибавить один из металлов *Al*, *Sn*, *Sb*, *Bi* (диамагнитный!), а также *As* и *B*, между тем как прибавка 1,2% *Pb* не вызывает магнитных свойств. Наиболее сильно ферромагнитные сплавы получают, если прибавить алюминий, т.-е. если образовать сплав из *Mn*, *Cu* и *Al*, при чем наилучшею пропорцией оказывается такая, при которой *Mn* и *Al* соответствуют соединению *MnAl*, т.-е. когда марганца приблизительно вдвое больше по весу, чем алюминия. Прибавка небольшого количества свинца еще более усиливает магнитность сплава. Особенно удивительно здесь огромное влияние таких, совершенно немагнитных металлов, как алюминий и свинец.

§ 6. Новые факты. Явления электрические.

20. Электрон и его магнитное поле. В нашем перечне наиболее важных из тех тысяч и десятков тысяч новых фактов, доказанных экспериментальным путем и обогативших нашу „открытую сцену“, мы под № 1 указали на атомы и молекулы, существование которых, в течение долгого времени, представляло гипотезу, так что сами атомы и молекулы находились в „закулисной“ области физики. Но в современной физике эта гипотеза перестала быть гипотезой, и существование атомов и молекул сделалось несомненным фактом. Нечто вполне аналогичное относится ныне к электронам, но, соответственно более быстрому темпу развития физики, здесь переход от закулисной области на открытую сцену произошел гораздо быстрее. Сравнительно совсем недавно, около 1900 года, возникла электронная теория, основанная на гипотезе, что отрицательное электричество имеет как бы „атомное“ строение, т.-е. состоит из мельчайших частиц, которые и были названы электронами. В настоящее время, после опытов А. Ф. Иоффе и других исследователей, существование электронов должно считаться доказанным, и мы переносим его из закулисной области гипотез на открытую сцену фактов. Отрицательный электрический заряд не что иное, как скопление электронов. Электрический ток в проводниках представляет течение электронов. Ныне с большою точностью известны величина заряда и масса электрона. Мы к этому вопросу еще возвратимся.

Мы знаем, что в пространстве, окружающем проводник, через который течет электрический ток, возникает магнитное поле. Отсюда мы заключаем, что движущийся электрон возбуждает в окружающем пространстве магнитное поле. Если это так, то и при простом механическом перемещении заряда должно возникать магнитное поле. Заметим, что механически перемещаемый заряд представляет то, что называется конвекционным током, в отличие от обыкновенного тока проводимости. Правильность приведенного заключения была впервые доказана в 1876 году американским ученым Ролендом (Rowland) в лаборатории Гельмгольца (Helmholtz), а затем и многими другими учеными. Конвекционные токи могут происходить и в непроводниках; они были открыты Рентгеном и всесторонне изучены А. А. Эйхенвальдом (в Москве, 1901 и 1903—1904). Говоря о лучах Рентгена, мы на стр. 104 упомянули катодные лучи, которые мы определили как потоки отрицательного электричества. Теперь мы можем точнее сказать, что это потоки быстро движущихся электронов. Поэтому катодные лучи должны вызвать в окружающем пространстве магнитное поле. Доказать существование этого поля и измерить его величину удалось впервые А. Ф. Иоффе (в Петрограде, 1911).

21. Электрооптические явления. Между магнитооптическими явлениями, которые были приведены под № 17, было указано и на двойное лучепреломление в магнитном поле, не связанное с наличием линий или полос в спектре поглощения данного вещества; это явление было открыто в 1910 году. Гораздо раньше (1875) Керр (Kerr) открыл, что стекло, находящееся в сильном электрическом поле, делается анизотропным и обнаруживает явление двойного лучепреломления. В 1880 г. Керр опубликовал результаты аналогичных наблюдений над большим числом жидкостей, которые также делаются двупреломляющими, если их поместить в электрическое поле. По причинам симметрии ясно, что лучи должны проходить через жидкость по направлению не параллельному, лучше всего — перпендикулярному к линиям сил электрического поля. Многие ученые изучали это электрооптическое (как его называют в отличие от прежде описанного магнитооптического при

отражении лучей от магнита) явление Керра; между прочим, оно наблюдалось и в некоторых газах и парах, например в CO_2 , NH_3 , HCN , CH_3Cl , CH_3Br , C_2H_5Cl и др.

22. Явления, наблюдаемые при прохождении электричества через газы. И здесь мы соединяем под одним номером огромное число явлений, которые были открыты и всесторонне изучены за последнее пятидесятилетие. Их сколько-нибудь полное описание заполняет толстые книги. Отметим, прежде всего, два явления:

I. Катодные лучи, возникновение которых уже было описано под № 10 (лучи Рентгена); они были замечены Гитторфом (Hittorf) еще в 1869 г. и изучены Круксом (Crookes) в 1879 г. Выше мы уже указали, что катодные лучи представляют потоки электронов.

II. Каналовые лучи, открытые в 1876 г. Гольдштейном (Goldstein). Если в трубке, описанной под № 10, сделать ряд маленьких отверстий (каналов) в пластинке, служащей катодом, то в пространстве за катодом обнаруживается слабое, в воздухе желтоватое, в водороде розоватое свечение, соответствующее лучам, выходящим из отверстий или каналов в катодной пластинке. Мы видели (см. № 20), что катодные лучи суть потоки электронов. Исследования показали, что каналовые, или как их иногда называют, закатодные лучи, состоят из материальных частиц, т.-е. атомов или молекул; поток этих частиц, как нечто целое, несет с собою заряд положительного электричества. Однако, более точное исследование показало, что отдельные частицы, из которых состоят каналовые лучи, наэлектризованы весьма различно; некоторые из них несут положительный заряд, по величине равный отрицательному заряду одного электрона; другие имеют положительный заряд, в два раза больший; далее, в том же потоке существуют частицы нейтральные, т.-е. вовсе не несущие электрического заряда; наконец, попадают также, хотя и в меньшем количестве, частицы, наэлектризованные отрицательно. Каналовые лучи возникают в пространстве, прилегающем к катоду с передней его стороны; здесь они состоят из материальных частиц первой из тех разновидностей, которые мы только что перечислили; они первоначально все наэлектризованы положительно. Они притяги-

ваются отрицательно наэлектризованным катодом, при чем некоторые из них, пройдя через каналы, образуют за катодом каналовые лучи. На своем пути частицы подвергаются частым изменениям электризации, при чем возникают другие из вышеперечисленных разновидностей частиц.

III. Ионизация газов. Выше было сказано, что мы здесь под одним номером помещаем совокупность огромного числа новых фактов, открытых и изученных за последние пятьдесят лет. Это в особенности относится к необъятной области явлений, которые мы соединяем общим названием ионизации газов. В нашем перечне наиболее важных новых фактов, мы тщательно избегали даже намека на соответствующие им отделы теоретической физики, построенные на каких-либо гипотезах. Но в учении об ионизации газов мы имеем дело с одною из бывших гипотез, переставших быть гипотезой и перешедшей из области закулисной в область достоверных фактов. Об этом факте, одном из важнейших достижений современной физики, мы и должны сказать. Мы называем нейтральным такой атом или такую молекулу, которая не представляется нам электрически заряженной; от нее никакие электрические силы не исходят. Можно было бы думать, что такие атом или молекула вообще не содержат электричества, но это неверно. Наука установила, как достоверный факт, что атомы и молекулы содержат, как отрицательное, так и положительное электричество. Как они в атоме или молекуле расположены, и какую роль эти заряды играют, это уже вопрос теории, и тут начинается область гипотез. В нейтральном атоме или молекуле оба заряда количественно одинаковы. Как факт установлено, что от атома или молекулы могут отделиться один или несколько электронов, после чего остаток представляется положительно заряженным. Возможны и такие случаи, когда атом или молекула присоединяет к себе один или несколько электронов, после чего они оказываются заряженными отрицательно.

Если частицы газа перестают быть нейтральными, то мы говорим, что газ ионизирован. Обычно имеют в виду случай выделения электронов. Мы говорим, что частица газа при ионизации распадается на две части, которые

называются ионами. Один из них, отрицательный, представляет свободный электрон, другой же, положительный есть частица газа, лишенная электрона, как бы приобретающая положительный заряд, равный заряду электрона. Газ, все частицы которого нейтральны, не может проводить электрического тока; он идеальный изолятор. Ионизация газа делает его проводником.

Возбудителями ионизации оказываются: химические процессы, в особенности горение, катодные лучи, лучи Рентгена, ультрафиолетовые лучи, электрическая искра, нагретые тела (см. ниже под № 23), освещенные тела (см. под № 24), высокая температура газа, сильный удар, которому подвергается нейтральная частица со стороны быстро движущегося электрона, лучи радиоактивных веществ (см. под № 27), и др. К последним из перечисленных относятся лучи α , которые суть потоки уже упомянутых частиц α ; эти частицы суть атомы гелия, как бы вдвойне ионизированные, т.-е. потерявшие каждая два электрона. Из множества вопросов, которые были подвергнуты многостороннему исследованию упомянем лишь следующие: подвижность ионов, возникновение новых ионов в электрическом поле, образование нейтральных частиц вследствие „рекомбинации“ ионов, конденсация паров на ионах, возникновение тяжелых скоплений (агрегатов) ионов, внешний вид столба газа, через который проходит электрический ток, распределение потенциала вдоль такого столба. Особенный интерес представляет вопрос об ионизации от удара; здесь идет речь о той скорости, которую должен иметь электрон, чтобы при ударе о нейтральную частицу (атом или молекулу) вызвать ее ионизацию. В особенности за последние годы появилась обширная литература по этому весьма важному вопросу.

23. Испускание электронов горячими телами. Этот замечательный факт был исследован весьма многими учеными. В некоторых случаях горячие тела испускают материальные частицы, заряженные положительно, т.-е. потерявшие каждая по одному электрону.

24. Фотоэлектрические явления. Сущность этого важного открытия заключается в том, что многие тела испускают потоки электронов, когда на их поверхность падают видимые или ультрафиолетовые лучи. В 1887 году

Герц (Hertz) заметил, что ультрафиолетовый свет, испускаемый одной электрической искрой, облегчает разряд в соседнем искровом промежутке, если при этом освещается отрицательный электрод. В 1888 г. Галвакс (Hallwachs) открыл испускание телами отрицательного электричества под влиянием света. Если тело уже заряжено отрицательным электричеством, то лучи, падающие на его поверхность, вызывают рассеяние заряда в окружающий газ; положительный заряд рассеянию не подвергается. А. Г. Столетов (в Москве) и многие другие ученые подробно изучали эти явления, названные фотоэлектрическими. Ленард (Lenard) показал, что оно происходит и в пустоте. Эльстер и Гейтель (Elster, Geitel) открыли что щелочные металлы, а именно калий, натрий и рубидий, весьма чувствительны и к видимым, световым лучам. Из множества закономерностей, относящихся к фотоэлектрическим явлениям, мы здесь упомянем только об одном: скорость, с которой вылетают электроны из данного тела, не зависит от интенсивности падающего на его поверхность светового потока. Эта скорость зависит только от длины волны падающих лучей; с уменьшением длины волны, т.-е. с увеличением частоты колебаний, увеличивается скорость электронов. Весьма важно, что существует селективный эффект: для определенной длины волны наблюдается резкое повышение эффекта. Фотоэлектрические явления наблюдаются не только на металлах, но и на непроводниках.

25. Сверхпроводники. Под № 6 было упомянуто что Камерлинг-Оннес в Лейдене достиг температур, отстоящих от абсолютного нуля (-273°C .) не более, чем на один градус. Этим низким температурам соответствует как бы своя особая физика. Свойства тел, качественная и количественная стороны физических явлений здесь могут существенно отличаться от тех, которые наблюдаются при не столь низких температурах. Мы уже указали что теплоемкость тел быстро уменьшается и иногда практически доходит до нуля. Можно было бы еще упомянуть, что подобному же быстрому уменьшению подвергается для многих веществ коэффициент теплового расширения. Но самое поразительное из сюда относящихся новых

фактов открыл Камерлинг-Оннес (1911): электрическое сопротивление некоторых проводников делается практически равным нулю при температуре жидкого гелия (около 4° абс. температуры). Такой проводник назван сверхпроводником.

Мы привыкли к мысли, что электрический ток в замкнутой цепи должен непрерывно поддерживаться действующей в этой цепи электродвижущей силой; вместе с последней моментально исчезает и ток, так как энергия движущихся электронов, преодолевающих сопротивление проводника, немедленно переходит в энергию тепловую. Однако, если охладить замкнутую проволоку до 4° абс. температуры (-269° Ц.), то оказывается, что возбужденный в ней индукционный ток, обычно весьма кратковременный, продолжает течь непрерывно в продолжение долгого времени (целый час и больше) без того, чтобы в цепи действовала электродвижущая сила! Электроны, не встречая на своем пути заметного сопротивления, продолжают двигаться по инерции.

26. Явление Штарка (Stark). Под № 16 мы познакомились с явлением Земана влияния магнитного поля на лучеиспускание газов и паров, выражающееся в расщеплении спектральных линий на два, три и большее число отдельных линий. В 1913 году немецкий ученый Штарк открыл, что и электрическое поле влияет на лучеиспускание газов и паров и также дает расщепление спектральных линий. Почти одновременно наблюдал это явление итальянский ученый Ло Сурдо (Lo Surdo), но в менее совершенной форме. И это открытие вызвало обширную литературу. Отметим только, что если исследовать линии одной спектральной серии (см. под № 11), то оказывается, что при переходе к лучам более короткой длины волны увеличивается число линий и величина самого расщепления. Последняя может доходить до десятков оугстремов, так что она во много раз превосходит расщепление, наблюдаемое в явлении Земана.

27. Радиоактивные явления. Если спросить, какие события из истории физики за последние пятьдесят лет следует считать наиболее важными, т. - е. имевшими наибольшее влияние на дальнейшее развитие этой науки, и

если оставить в стороне возникновение новых теорий, которые мы рассмотрим ниже, то, несомненно, придется поставить на первое место лучи Герца, лучи Рентгена и радиоактивные явления, открытые Г. Бекерелем (H. Becquerel, 1896) и супругами Кюри (Pierre и Marie Curie, 1898). Мы ограничиваемся кратким перечнем наиболее характерных из относящихся сюда фактов. Радиоактивные элементы встречаются, почти только между наиболее тяжелыми; атомный вес их не менее 204, порядковый номер не менее 81. Исключение составляют калий и рубидий, которые, несомненно, хотя и в слабой степени, радиоактивны. Радиоактивные элементы и все их химические соединения непрерывно испускают, главным образом, трех родов лучи: 1) лучи α , состоящие из частиц α ; 2) лучи β , состоящие из частиц β ; 3) лучи γ . Частицы α , уже упоминавшиеся нами, суть атомы гелия, потерявшие, каждый, два электрона; частицы β тождественны с электронами, так что лучи β вполне аналогичны катодным лучам; лучи γ суть лучи Рентгена наиболее малой длины волны. Лучи γ сопровождают лучи β и ими вызываются подобно тому, как лучи Рентгена вызываются катодными лучами. Лучи α лишь в немногих случаях сопровождаются слабым излучением γ . Заметим еще, что скорость, с которой вылетают частицы β (электроны), доходит до 0,995 скорости света. Физические и химические условия не имеют никакого влияния на радиоактивные явления, откуда следует, что радиоактивность есть явление, присущее атому. Различные радиоактивные элементы (не их смеси) испускают либо лучи α , либо лучи β , и лишь в немногих случаях один и тот же элемент способен испускать оба рода лучей. Особенность радиоактивных веществ заключается еще в том, что в них непрерывно происходит выделение теплоты, сопровождающее радиоактивное излучение. Один грамм радия (чистого) выделяет в продолжение одного часа около 130 малых калорий. Наиболее важным является, однако, тот факт, что при всяком испускании частицы α или частицы β радиоактивный элемент превращается в другой элемент, вообще говоря, также радиоактивный. Металл радий испускает частицу α , которая, присоединив к себе два из тех свободных электронов, которые, хотя и в малых количествах, везде существуют, пре-

вращается в атом гелия; то, что остается после потери частицы α , представляет новый элемент, газообразный, который называется эманацией радия или нитоном. Здесь мы имеем типичный пример распада одного элемента на два элемента и притом металлического на два газообразных. Эманация радия вновь испускает частицу α , при чем возникает гелий и новый элемент RaA ; тем же путем из RaA образуется RaB , который испускает частицу β , при чем возникает RaC и т. д. Таким образом получаются ряды радиоактивных элементов, из которых каждый возникает из предыдущего при выделении из последнего частицы α или частицы β . Таких рядов существует два. Родоначальниками их являются металлы уран и торий. Весь ряд урана состоит из 15 членов. После 5 превращений уран переходит в радий (вернее говоря, от урана остается радий), а последний, после 8 превращений, в RaG , нерадиоактивный изотоп свинца. При 14 превращениях от урана до RaG выбрасываются в восьми случаях частицы α и в 6 случаях частицы β . Аналогично устроен ряд тория; и в нем 5 превращений до газообразной эманации тория, но всего 10 превращений до ThD , также изотопа свинца. Боковым отвлечением от ряда урана является ряд актиния, оканчивающийся AcD опять изотопом свинца.

В радиоактивных явлениях мы имеем дело с совершенно очевидным фактом распада атома, с осуществлением мечты алхимиков, казавшейся абсурдной в течение всего XIX столетия. Время распада для различных радиоактивных элементов весьма неодинаково. Оно характеризуется временем, в течение которого половина имеющегося налицо чистого элемента подвергается разрушению; это время полураспада можно назвать периодом данного элемента. Для тория период T равен $1,5 \cdot 10^{10}$ лет, для урана $T = 4,5 \cdot 10^9$ лет, для иония, из которого возникает радий, $T = 10^5$ лет, для радия $T = 1600$ годам, для актиния T равен около 20 годам, для RaD имеем $T = 16$ годам, для мезотория I $T = 6,7$ года, для RaF $T = 136$ дням, для эманации радия $T = 3,81$ дня, для RaB $T = 26,8$ минуты, для RaA $T = 3$ минутам, для эманации тория 54,5 секунды, для эманации актиния 3,92 секунды, для тория A 0,14 сек.

и т. д. Нам нет надобности входить в дальнейшие подробности; сказанного достаточно, чтобы выявить важность и неожиданность этих новых фактов.

З а к л ю ч е н и е. Из необъятного моря новых фактов, которыми за последние пятьдесят лет обогатилась открытая перед нами сцена, мы выбрали те 27, которые нам казались особенно важными и имевшими наибольшее влияние на расцвет, на расширение и углубление новой физики. Мы на какой-либо законченности этого списка, конечно, не настаиваем; не трудно было бы увеличить число 27 в два, три и в десять раз, оставаясь в области важных и интересных фактов, и мы не будем спорить, если нам укажут, что между ними есть немалое число таких, которые не менее важны и интересны, чем некоторые из нами перечисленных. Мы полагаем, что перечисленных 27 фактов достаточно, чтобы характеризовать одну из сторон эволюции физики: накопление новых кирпичей и камней, служивших материалом для перестройки старых и для постройки тех новых теорий, в которых сосредоточена вся сущность физики как науки. Впрочем, некоторые дальнейшие факты, и притом из наиболее важных, будут упомянуты в § 8 этой главы, а также в последующих главах.

§ 7. Экспериментальное искусство. Эволюция коснулась не только результатов экспериментальной физики, обогативших „открытую сцену“ огромным числом новых фактов, но и тех методов, которыми экспериментальная физика пользуется. Приборы, как измерительные, так и служащие для наблюдений, которыми ныне пользуются ученые исследователи, представляются несравненно более совершенными, чем те, которые существовали пятьдесят лет тому назад. Точность измерений и наблюдений во много раз превышает прежнюю. Возник целый ряд новых приборов для измерения физических величин, с которыми имела дело и старая физика; достаточно указать хотя бы на ступенчатую диффракционную решетку (эшелон) и на микровесы. Кроме того были построены и постепенно усовершенствованы новые, по заданию, приборы для исследования тех новых явлений, которые нами перечислены в предыдущих параграфах; и здесь достаточно одного примера: приборы, служащие для исследования радиоактивных явлений. Усовершенствование

приборов поддерживалось, во многих случаях, развитием теории этих приборов. Так, например, теория микроскопа, развитая Аббе (Abbe), дала возможность достичь громадного усовершенствования этого прибора. Нечто подобное относится вообще к оптическим приборам. Развилась обширная наука, оптотехника, вмещающая теорию и практику оптических инструментов. Аналогичное можно сказать относительно приборов, служащих для электрических измерений, а также для измерения длин, углов, времени и т. д. Не менее велико усовершенствование разного рода вспомогательных приборов, как, например, делительные машины, насосы, прессы (динамометры) и т. под. Достигнута возможность получения огромных давлений, весьма низких температур, о чем уже было сказано, а также очень высоких температур, например, при помощи печи Моассана (Moissan) или по способу Луммера (Lummer), повидимому, до 6000° Ц.

Новые приборы и методы дали возможность достичь несравненно большей точности измерений, чем 50 лет тому назад. Длины волн световых лучей измеряются ныне с точностью до сотых и даже тысячных долей онгстрема, т.-е. до 10^{-11} см! Подробно выработаны новые остроумные способы для точного измерения весьма малых промежутков времени, например, времени удара двух упругих тел (шаров, цилиндров). Особенно важное значение имеет создание точной термометрии; даже ртутный термометр сделался весьма точным прибором благодаря многолетним работам целого ряда ученых. Особенный интерес представляет возникновение точной пирометрии, т.-е. искусства измерять весьма высокие температуры. Возникла уже в текущем столетии новая отрасль оптическая пирометрия, задача которой заключается в определении температуры раскаленного тела путем исследования испускаемого им света.

Увеличение точности измерений потребовало гораздо более точной установки единиц меры различных физических величин. В этом направлении было сделано очень много. Относительно некоторых из единиц были даже заключены международные договоры. Любопытно, что при этом отчасти пришлось отступить от первоначально установленных, теоретических значений этих единиц. Приведем несколько примеров.

1. Единицы длины и массы. В 1791 г. было во Франции постановлено принять за единицу длины десяти-миллионную долю четверти меридиана, а за единицу массы (вернее — веса) массу кубического дециметра чистой воды при 4° Ц. (вернее — вес на 45° северной широты и на уровне океана). В 1799 году были изготовлены прототипы метра и килограмма, так называемые архивные метр и килограмм. С течением времени выяснилось, что эти два прототипа не вполне соответствуют заданию. В 1872 г. международная комиссия ученых постановила отказаться от задания 1791 года и за единицы длины и массы принять, сохраняя названия метр и килограмм длину и массу двух прототипов 1799 года. В 1875 году была заключена в Париже международная конвенция, на основании которой было принято постановление 1872 года, и было решено учредить Международное Бюро мер и весов для изготовления копий прототипов 1799 года. Это бюро было устроено около Парижа в парке Сен-Клу в павильоне Бретейль. В 1889 году копии были изготовлены и, по жребию, распределены между государствами, подписавшими договор 1875 года. Так как метр и килограмм получили независимое друг от друга определение, то ясно, что первоначально установленная между ними связь была нарушена. Термин „литр“ был сохранен для объема одного килограмма чистой воды при 4° Ц. Оказалось, что один куб. дециметр равен 0,99997 литра. В 1902 г. Майкельсон и Беноеа (Michelson, Benoît) сравнили длину метра с длинами волн трех кадмиевых линий, красной, зеленой и голубой. В 1907 году это измерение повторили Беноеа, Фабри и Перо (Fabry, Perot). Они нашли, что длина λ красной линии кадмия равна

$$\lambda = 6438,4696 \text{ J. \AA.}$$

J. \AA. означает „интернациональные онгстремы“. Дело в том, что приведенное число решено признать за окончательное и не вводить в него никаких поправок. Ясно, что этим самым вводится для спектроскопии специальная единица длины, может быть не тождественная с онгстромом, определенным равенством $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см.}$

2. Электрические единицы. Ом, ампер и вольт, как единицы сопротивления, силы тока и электродвижущей

силы, были введены как раз пятьдесят лет тому назад; раньше употреблялась единица Сименса (Siemens), равная сопротивлению при 0° ртутного столба длиною в один метр и в один кв. миллиметр площади поперечного сечения, а за единицу электродвижущей силы бралась электро-двигательная сила элемента Даниеля. По первоначальному определению должны были равняться: ом $= 10^9 C. G. S.$ электро-магнитным единицам сопротивления, ампер $= 0,1 C. G. S.$ электро-магнитные единицы силы тока, вольт $= 10^8 C. G. S.$ электро-магнитной единицы электровозбудительной силы. Для практического осуществления этих теоретических определений собирался целый ряд конференций, комиссий и т. д. из ученых различных стран. Они остановились (Международный съезд в Лондоне, 1908 г.) на следующем решении:

Международный ом равен сопротивлению при 0° ртутного столба, поперечное сечение которого везде одинаковое, масса которого 14,4521 грамма, и длина которого 106,300 см (два нуля прибавлены, чтобы выразить, что это число уже не будет изменено).

Международный ампер равен силе тока, выделяющего 1,11800 mgr. серебра в одну секунду.

Международный вольт есть электродвижущая сила, дающая в одном международном оме один международный ампер.

Комиссия из ученых разных стран нашла, что электродвижущая сила элемента Вестона (Weston) при $20^\circ C.$ равна 1,0183 международного вольта.

Совокупность первых трех постановлений представляет отказ от вышеприведенных теоретических определений.

3. В настоящее время разрабатывается, особенно в Америке, система единиц, которыми следует пользоваться в фотометрии.

Огромное увеличение степени точности, достижимой при всякого рода измерениях, дало возможность несравненно точнее прежнего определить численные значения всевозможных физических величин. То же самое относится к разного рода „мировым постоянным“. Приведем несколько примеров. Число Авогадро (Avogadro), т. е. число частиц в грамм-молекуле вещества, еще недавно считалось равным $7 \cdot 10^{23}$. Новейшие исследования Милликена (Millikan)

дали число $6,062 \cdot 10^{23}$. Для механического эквивалента 15° -ной малой калории найдено число 4,1842 джулей (джуль равен 10^7 эргам); для газовой постоянной определено число 1,985 в малых калориях на грам-молекулу вещества. Сюда же мы можем отнести новейшие определения з а р я д а e электрона; оказалось $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$ C. G. S. электростатической единицы.

В главе, посвященной тем достижениям новой физики, которые можно рассматривать как расширение содержания физики старой, мы не можем обойти молчанием возникновение и пышный расцвет трех новых, обширнейших наук, всецело выросших на фундаменте, построенном физикой. Мы имеем в виду электротехнику, астрофизику и физическую химию. Нам нечего добавлять; достаточно назвать эти три науки, которыми вправе гордиться человечество.

§ 8. Достигнутое более глубокое понимание. В этом параграфе мы рассмотрим некоторые из тех достижений новой физики, в которых мы имеем дело не только с расширением, но, и это, пожалуй, самое важное, с углублением старой физики. Конечно, мы и здесь совершенно исключаем „закулисную“ область, т.-е. все то, что построено на гипотезах. Ясно, что более глубокое понимание достигается, прежде всего и больше всего, введением новых гипотез и построением на них теорий соответствующих им групп физических явлений. Ведь задача гипотез и теорий и состоит в том, чтобы объяснить явления, т.-е. сделать их понятными. Но мы знаем, что гипотеза представляет ненадежный фундамент теории, и что явление, казавшееся нам понятным, внезапно делается для нас непонятным, когда приходится отказаться от данной гипотезы, а вместе с нею и от теории, фундаментом которой она служила (см. § 3 главы третьей, стр. 87). О новых теориях будет сказано ниже. Здесь мы рассмотрим некоторые случаи, когда более глубокое понимание было достигнуто без введения какой-либо гипотезы.

I. Второе начало термодинамики. В § 5 главы второй мы рассмотрели второе начало в том виде, в котором оно представлялось ученым пятьдесят лет тому назад; в конце этого параграфа мы в семи пунктах характеризовали эту старую, как ее ныне называют, классическую термодинамику. Мы не повторяем здесь этих пунктов, но просим

читателя их еще раз пересмотреть. Наиболее важны пункты второй и четвертый: мировая тенденция принималась как факт, но невыясненным оставался основной вопрос о первоисточнике этой тенденции, а в связи с этим оказался неразрешимым приведенный в пункте четвертом нелепый псевдо-силлогизм, относящийся к необратимым процессам. Благодаря работам Больцмана (Boltzman), Джибса (Gibbs) и других ученых, мировая тенденция стала понятной, и загадка псевдо-силлогизма была разрешена. Весь вопрос может быть поставлен так: почему все фактически происходящие физические явления текут в определенном направлении, которое, как мы видели, может быть различно характеризовано (Клаузиус, В. Томсон), или, еще проще: почему все физические явления необратимы? Больцман дал простой ответ: все фактически происходящие физические явления обратимы, но обратные им явления обладают столь невообразимо малою вероятностью, что их возникновение нельзя ожидать хотя бы один раз в квадриллионы лет. То, чего нельзя надеяться увидеть, потому что оно, хотя и возможно, но чудовищно невероятно, представляется нам невозможным. Таким образом наш псевдо-силлогизм превращается в силлогизм логически правильный, ибо третью строку следует заменить словами: все физические явления обратимы.

Поясним сказанное одним примером, разъясняющим почему расширение газа в пустоту, есть явление необратимое. Вообразим закрытый со всех сторон ящик, разделенный внутренней перегородкой, которую можно выдвигать и вдвигать, на две равные части, правую и левую. Положим, что правая часть совершенно пуста, а в левой находится газ. Допустим, что этот газ состоит всего из четырех частиц, быстро движущихся и отскакивающих от стен ящика (§ 4 главы второй). Вынем перегородку; частицы начинают двигаться в обеих частях ящика, газ расширился. Но недолго придется ждать момента, когда все четыре частицы случайно окажутся в левой половине ящика. В этот момент мы вдвигаем перегородку; весь газ находится в левой половине — расширение газа оказалось обратимым процессом. В этом случае существуют $2^4 = 16$ возможных распределений

частиц между двумя половинами ящика и вероятность наступления момента, когда все частицы соберутся в левой половине, равна $\frac{1}{16}$, т.-е. довольно велика. Положим теперь, что газ состоит из 10 частиц. Тогда число различных возможных их распределений между двумя половинами ящика равняется $2^{10} = 1024$; из них одно соответствует присутствию всех частиц в левой половине. Вероятность такого события $\frac{1}{2^{10}} = \frac{1}{1024}$; придется ждать некоторое время пока случайно это событие будет иметь место. Вдвинем перегородку и расширение газа оказалось обратимым. При 20 частицах мы имеем 2^{20} , т.-е. около одного миллиона возможных распределений частиц между двумя половинами ящика и между ними опять только одно соответствует переходу всех частиц в левую половину, так что вероятность этого события равна одной миллионной; дождаться этого события нетрудно, и мы опять имеем обратимое расширение газа в пустоту. При 50 частицах указанная вероятность падает до $1:2^{50}$, или $1:10^{15}$, а при 100 частицах до $1:2^{100}$, т.-е. $1:10^{30}$. Здесь мы имеем уже очень малую вероятность, но дело еще небезнадёжно. Вообще при n частицах имеем, что случайное сосредоточение всех частиц в левой половине есть событие, вероятность которого равна $\frac{1}{2^n}$. Как бы ни было велико число частиц n , эта вероятность не делается равной нулю; но она невообразимо мала при большом n . Если мы имеем действительный газ, то число частиц очень велико; оно равно примерно 10^{22} , когда объем половины ящика равен 300 куб. см и газ находится при комнатной температуре и атмосферном давлении. Тогда вероятность обратного процесса равна $\frac{1}{2^n}$, где $n = 10^{22}$, т.-е. единица, деленная на единицу с 10^{21} нулями! Это чудовищно малая дробь, но не нуль. Вероятность обратного процесса не нуль, но она до смешного мала и ожидаемого события, т.-е. обратного процесса мы не дождемся и в квадрильоны лет! Этот пример все объясняет. Процессы необратимы, не потому что обратные им невозможны, а потому что они чудовищно мало вероятны.

Не входим в дальнейшие весьма интересные подробности, ограничиваясь еще несколькими замечаниями. Во-первых, мы видим из приведенного примера ту глубокую связь, которая существует между фактом необратимости физических процессов и молекулярно-кинетическим строением материи, прежде всего — громадностью числа молекул даже в небольшом объеме. Но чем меньше рассматриваемый объем, тем чаще в нем могут замечаться местные отступления от второго начала, могут, например, в газе происходить местные, кратковременные разрежения и сгущения газа. Это так называемые флюктуации, чисто математическая теория которых подробно разработана. Далее, мы теперь можем указать на новую формулировку второго начала, разъясняющую ту „тенденцию“, о которой мы говорили раньше. Эта тенденция оказывается стремлением от менее вероятного состояния к более вероятному.

Тот метод математического исследования физических явлений, которого мы только слегка коснулись, разъясняя причину необратимости расширения газа в пустоту, называется методом статистическим. Он был применен к разнообразным физическим явлениям, и в результате возникла новая наука: статистическая физика, относительно содержания которой мы здесь в дальнейшие подробности входить не можем.

Благодаря работам Гельмгольца, Джибса и Дюгема (Duhem), классическая термодинамика обогатилась многими новыми отделами. Было выяснено значение, кроме энергии и энтропии, еще целого ряда других функций состояния, как свободная энергия, разного рода термодинамические потенциалы. Первая из них равна $U - TS$, где U энергия, T абсолютная температура и S энтропия. Все это относится к теоретической термодинамике. На ее почве выросло знаменитое правило фаз, одна из основ физической химии; к сожалению, его разъяснение заняло бы слишком много места. То же самое относится к не менее ныне знаменитой теореме Нернста (Nernst, 1906), которую иногда называют третьим началом термодинамики. Она относится к весьма низким температурам и заключается в утверждении, что энергия системы

и ее свободная энергия делаются одинаковыми при температурах, недалеких от абсолютного нуля.

Параллельно с развитием теоретической термодинамики шли ее многочисленные приложения к анализу таких явлений, которых эта наука пятьдесят лет тому назад еще не касалась. Упомянем лишь о некоторых из этих новых достижений, в которых термодинамика вновь и вновь показала, каким она служит могучим орудием исследования окружающих нас явлений.

Гельмгольц применил в 1882 г. термодинамику к теории элемента (так называемого обратимого) и дал точную формулу, связывающую электродвижущую силу элемента с тепловым эффектом происходящих в нем химических реакций. Он же первый показал, как следует прилагать термодинамику к явлениям химическим. Планк (Planck) развил (1887) теорию слабых растворов. Бартоли (Bartoli, 1876, 1884) вывел термодинамически, что лучистая энергия (например свет) производит давление на поверхность тела; кроме того он доказал справедливость закона Стефана (Stefan), гласящего, что полное лучеиспускание абсолютно черного тела пропорционально четвертой степени абсолютной температуры.

II. Принцип сохранения масс и принцип сохранения энергии. Эти два принципа, из которых второй был рассмотрен в § 3 главы второй, составляли, пятьдесят лет тому назад, один из главных, и, казалось, незыблемых фундаментов физики. Они стояли рядом, независимыми друг от друга, ничем не связанные, как две истины, характеризующие ту закономерность, которая господствует в явлениях нашего мира. Новая физика в двух направлениях коренным образом изменила наш взгляд на эти два принципа, а также на взаимное их отношение, связав их в одно неразрывное целое.

Масса тела измеряется той силой, которая нужна, чтобы придать телу определенное, избранное ускорение. Предполагалось, что эта сила везде и при всех обстоятельствах одна и та же, т.е. что масса данного тела есть величина безусловно постоянная. При физических и химических процессах может происходить перегруппировка частиц, но общая их масса остается неизменной. Новая физика рассталась

с представлением о постоянстве массы и показала, что масса m данного тела зависит от его скорости v по формуле

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где m_0 масса покоящегося тела и c скорость света. Это значит, что если тело движется относительно некоторой системы, то в этой системе должна на тело действовать тем большая сила, чем больше его относительная скорость, чтобы придать ему заданное ускорение w . Чем больше v , тем больше масса m ; при $v = c$ масса делается бесконечно большой, откуда следует, что скорость c не может быть достигнута. Сказанное не есть только результат теории; это — факт, установленный опытами над быстро движущимися электронами.

Еще более радикальным представляется то изменение основных понятий, которое связано с новым достижением современной физики, которая учит, что энергия обладает массой, и всякая масса тождественна с некоторым запасом энергии, и притом, сравнительно, чудовищно большим. Формула

$$m = \frac{E}{c^2}$$

дает массу m энергии E . Так как скорость света c весьма велика, то ясно, что даже огромный запас энергии обладает весьма малою массой. Так, например, $2,2 \cdot 10^{10}$ больших калорий обладают массой, равной одному грамму. Этим уничтожается принцип сохранения масс, как его понимали раньше и клали в основу при составлении химических уравнений, выражающих химические реакции. Так, при соединении 2-х граммов водорода и 16 граммов кислорода выделяются $2,87 \cdot 10^{20}$ эргов тепла, вследствие чего получаются не 18 граммов воды, как того требует старый принцип сохранения масс, но менее на $3,2 \cdot 10^{-6}$ миллиграмма! Если всякая энергия E обладает массой $E:c^2$, то следует заключить, что масса и энергия друг другу эквивалентны и что, следовательно, всякая покоящаяся масса m_0

тождественна с колоссальным запасом энергии

$$E_0 = m_0 c^2.$$

Эта энергия почти вся остается в теле при абсолютном нуле температуры. Читатель может мне указать, что я, приняв последние две формулы, удалился от „открытой сцены“, которой посвящена эта глава, и перешел в область теорий. Это верно, но я думаю, что эти две формулы выражают ныне вполне достоверные факты, и я не хотел об них умолчать в параграфе, посвященном тем достижениям новой физики, которые сводятся к более глубокому пониманию истин, открытых физикой старой.

III. Периодическая система элементов и порядковое число. В § 1 главы второй было сказано о периодической системе Д. И. Менделеева. Существование периодичности в свойствах элементов представлялось до 1913 года как факт, очевидно, весьма важный, но таинственный и непонятный; об его первоисточнике не существовало даже каких-либо догадок. Действительное понимание периодической системы началось с того момента, когда было открыто значение порядкового числа элемента, т.-е. простого его номера в ряде элементов, расположенных в порядке периодической системы. Оказалось, что от водорода до урана может быть не более 92 элементов, если считать изотопы за разновидности одного элемента (глава четвертая, § 2 № 4). Порядковое число оказывается главной характеристикой элемента; оно становится на место атомного веса, потерявшего свое первенствующее значение после того, как обнаружилось, что атомный вес есть число случайное, зависящее от относительных количеств изотопов, входящих в состав обычно исследуемых элементов. Однако, истинное, глубокое уразумение сущности периодической системы получилось в связи с новой теорией строения атома. К этому вопросу мы еще возвратимся. Но мы сочли нужным упомянуть об нем уже здесь, так как и в этом случае мы имеем дело с достигнутым правильным пониманием давно известного старого, являющегося ныне перед нами в совершенно новом освещении.

IV. Замена старого, неверного объяснения новым, правильным, без введения новых гипо-

тез. Таких случаев можно указать много. Ясно, в чем тут дело, и мы можем ограничиться одним примером, а именно введения теории диффракции в разбор таких явлений, которые старая физика считала возможным рассматривать, как состоящих из простых отражений и преломлений световых лучей, т.-е. пользуясь только элементарной геометрической оптикой. Сюда относится уже упомянутая нами точная теория микроскопа, которую дал Аббе. Другим примером может служить теория радуги, которую дал Декарт (Descartes) в 1637 году и которая до сих пор пользуется наибольшею известностью, хотя она совершенно неверна и не может объяснить многих явлений, как, например, распределение цветов в радуге, добавочные дуги и др. Правильную диффракционную теорию дал уже Эри (Airy) в 1837 г., ею занимались еще другие ученые до 1873 года, но на все эти работы не было обращено должного внимания. Только после исследований Маскара (Mascart), Пульфриха (Pulfrich, 1888) и в особенности Пернтера (Pernter, 1897—1900) новая теория была общепринята. Ясно, что мы и здесь имеем дело с достижением более глубокого понимания того, что уже прежде было известно.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

Новые теории в старом духе.

§ 1. Введение. Электроны. „Дух“ старой физики подробно характеризуем нами в конце § 9 главы второй. Из новых теорий, возникших за последние пятьдесят лет, мы в этой главе рассмотрим те, общий характер которых не отличается от характера теорий, созданных старою физикой. В них мы имеем ясно высказанную и „понятную“ нам гипотезу, соответствующую механическому миропониманию, имеем дело с силами и движениями, пользуемся принципами механики и термодинамики. Все это также относится к расширению старой физики и могло бы быть рассмотрено в предыдущей главе. Но мы рассмотрели в той главе факты, а здесь мы обращаемся к новым теориям. Таких теорий мы укажем семь и на первом месте мы ставим электрон. Но мы не имеем в виду так называемую „электронную теорию“, которая представляет видоизменение теории Максвелла. Здесь идет речь только о гипотезе, что отрицательное электричество обладает атомным строением, т.е. состоит из отдельных, одинаковых между собою частиц, называемых электронами. Однако, эта гипотеза перестала быть гипотезой и в § 6 главы четвертой мы под № 20 внесли существование электронов в список новых фактов. Все же мы сочли нужным упомянуть об этой прежней гипотезе, так как ее введение в науку (около 1900 года) представляет одно из важнейших и плодотворнейших событий в истории новой физики. Однако, эта гипотеза представляет для главной темы этой книги еще специальный интерес, так как она дает нам возможность впервые указать на один из тех отрицательных элементов эво-

люции физики, в которых нельзя не видеть, в некотором определенном отношении, несомненного шага назад. Старая физика считала (стр. 70) два электричества как бы равноценными; допуская их существование и приписывая им определенные силовые поля, она рисовала ясную, „понятную“ картину. Новая физика дала детальное описание отрицательного электричества, и в этом виден большой шаг вперед. Но в то же время она превратила положительное электричество в что-то совершенно туманное, непонятное, можно просто сказать — неизвестное. Она видит элементарный заряд положительного электричества в ядре атома водорода (см. ниже), приписывая ему массу, которая в 1840 раз больше массы электрона, и в то же время объем, который чрезвычайно мал даже сравнительно с объемом электрона. Но даже и эта картина, которую трудно считать приемлемой, далеко еще не представляется окончательно установленной и общепринятой. Простая, ясная и, можно сказать — законченная мысль заменена сложной, непонятной и, пока еще, даже в главных чертах, недосказанной.

§ 2. Учение о растворах. Электролиз. Теория гальванического элемента, данная Нернстом (Nernst). Новое учение о растворах развилось в тесной связи с учением об электропроводности растворов и о так называемых химических действиях тока, которые ныне объединяются названием „электролиза“. В § 8 главы второй было указано, как наука смотрела пятьдесят лет тому назад на явления электролиза. Напомним, прежде всего, терминологию, постепенно вошедшую в употребление. Мы называем электролитами такие вещества, растворы которых подвергаются воздействию электрического тока, т.-е. электролизу; прежде говорили, что они „разлагаются током“. К ним принадлежат кислоты, основания и соли. Вещества, непосредственно (первично) выделяющиеся на электродах, называются ионами, при чем катион выделяется на катоде, анион — на аноде. Современное учение о прохождении электрического тока через растворы электролитов распадается на две части; одна из них рассматривает вопрос об электрическом сопротивлении растворов электролитов, вторая — вопрос о механизме электролиза и различ-

ных сопровождающих его явлений. Эти два вопроса нераздельно связаны, как между собою, так и с вопросом о строении растворов. Начнем с последнего. Ионы суть составные — части электролита. В большинстве случаев катионом является металл или водород, анионом — группа остальных атомов, входящих в состав молекулы электролита. Ионы всегда оказываются наэлектризованными, а именно катион — положительно, анион — отрицательно. Заряд катиона состоит из одного, двух и т. д. электронов, положительный заряд аниона эквивалентен одному, двум и т. д. электронам; заряды аниона и катиона одного и того же электролита, понятно, одинаково велики, так как ионы получаются при распаде нейтральной молекулы. Положительное зарядение катиона следует рассматривать как результат потери одного, двух и т. д. электронов нейтральным атомом или группой атомов.

Современное учение предполагает, что в растворах электролитов часть молекул последних диссоциирована (распала) на ионы; это так называемая электролитическая диссоциация. Мысль о такой диссоциации высказали впервые Вильямсон (Williamson, 1851) и Клаузиус (Clausius, 1857). Гельмгольц (1880) предполагал, что диссоциация полная. Истинным творцом учения об электролитической диссоциации следует признать Аррениуса (Arrhenius), который изложил основные положения своей теории в 1887 и 1888 годах. Он полагает, что во всяком растворе электролита часть частиц последнего диссоциирована. Степень диссоциации, т.-е. отношение числа диссоциированных частиц ко всему числу частиц в растворе, зависит от концентрации раствора и растет с уменьшением концентрации.

Если в раствор электролита опустить электроды и замкнуть ток, то происходит явление электролиза, и ионы начинают появляться на электродах. Старая физика полагала, что ток „разлагает“ электролит на составные части, которые, ничем не обнаруживая своего присутствия внутри раствора, появляются на поверхностях электродов и здесь выделяются, если не происходят вторичные химические реакции. Для механизма перемещения ионов к электродам старая физика не могла дать удовлетворительного объяснения. Новая теория говорит, что не только ток не разлагает элек-

тролитов, но что внутри раствора вообще нет того электрического тока, который существует вне раствора в цепи, т.-е. нет потока свободных электронов. Эта теория рисует следующую картину. Когда мы опускаем электроды в раствор электролита, то под влиянием электродвижущей силы, действующей в цепи, катод заряжается отрицательно, на нем появляются свободные электроны; катион заряжается положительно, это значит, что из него электроны переходят в те проводники, из которых состоит цепь. Вследствие этого, уже находящиеся в растворе ионы начинают перемещаться по направлению к электродам, катионы к катоду, анионы к аноду. Дойдя до анода, анионы теряют находящиеся на них электроны, которые переходят на анод и затем движутся дальше по цепи; сами же анионы делаются нейтральными и выделяются на аноде. Катионы, дойдя до катода, берут от него столько электронов, сколько им недостает, делаются нейтральными и выделяются у поверхности катода. Таким образом, поддерживается в наружной цепи непрерывное течение электронов от анода к катоду, т.-е. электрический ток. В самом растворе такого тока не существует; в нем электрический ток только и заключается в движении анионов и катионов в двух противоположных направлениях. Те и другие обладают определенною подвижностью; в слабых растворах подвижность определенного иона не зависит от рода второго иона, т.-е. от того электролита, составною частью которого он первоначально являлся. Электропроводность раствора электролита определяется суммою подвижностей тех двух ионов, на которые данный электролит распадается.

Нам нет надобности входить в дальнейшие подробности. Данный нами намек характеризует основную мысль того учения, которое разраслось в обширную науку, электрохимию, с её специальными учебниками, лабораториями, кафедрами и журналами.

Мы посвятили несколько строк учению об электролитической диссоциации в растворах. Теперь мы столь же кратко упомянем о другом учении, также относящемся к растворам; оно дано Вант-Гоффом (Van't-Hoff) в 1885 году. Это учение, опирающееся на опытные данные, утверждает

паразительное сходство, если не тождество целого ряда основных свойств растворенных веществ и газов, при чем на место давления газа становится осмотическое давление растворов, которое уже было известно старой физике, и потому здесь нами не рассматривается. Эти свойства растворенных веществ вполне соответствуют законам Бойль-Мариотта, Гей-Люссака и Авогадро и выражаются следующим образом.

I. Осмотическое давление при неизменной температуре пропорционально концентрации раствора, или обратно пропорционально объему раствора при данном количестве растворенного вещества (Бойль-Мариотт).

II. Осмотическое давление пропорционально абсолютной температуре, т. е. его температурный коэффициент равен 0,00367 (Гей-Люссак).

III. Одинаковые объемы изотонических растворов, т. е. обладающих одинаковым осмотическим давлением, содержат при данной температуре одинаковое число молекул, равное числу газовых молекул, находящихся в таком же объеме, при той же температуре и при давлении, равном осмотическому давлению раствора (Авогадро).

Эти законы непосредственно оправдываются для растворов не-электролитов, например, для раствора сахара. Для электролитов необходимо принять во внимание увеличение числа отдельных частиц вследствие диссоциации молекул, подобно тому, как это приходится делать для газов, отчасти диссоциированных, например J_2 и пары NH_4Cl при высоких температурах.

Теория электролитической диссоциации и учение Фант-Гоффа служат основой для обширной части физической химии. Из многочисленных их применений упомянем только об осмотической теории гальванического элемента, которую дал Нернст (Nernst) в 1889 году в связи с его же теорией диффузии растворенных веществ в жидкостях. Нернст приложил свое учение к вычислению: 1) электродвижущей силы соприкосновения растворов, отличающихся только концентрацией; 2) электродвижущей силы соприкосновения электрода с раствором одной из его солей; 3) электродвижущей силы концентрационного элемента, состоящего из двух одинаковых металлов, погруженных

в два раствора одной и той же соли того же металла, обладающих различной концентрацией; 4) электродвижущей силы элементов типа Даниеля. Следует заметить, что формулы, выведенные Нернстом, приложимы только к случаям слабых растворов.

§ 3. Еще некоторые важные новые теории. Из многочисленных новых теорий, в постройке которых незаметно какого-либо существенного отступления от „старого духа“ физики, мы упомянем здесь еще о немногих, особенно важных, ограничиваясь почти простым их перечнем.

I. Теория прохождения электричества через газы. К этой теории мы уже подходили, указывая на ионизацию газов, как на один из новых фактов (§ 6 главы четвертой под № 22). Основателем учения о прохождении электричества через газы, главным образом — разреженные, следует признать Дж. Дж. Томсона (J. J. Thomson, девяностые годы прошлого столетия). Согласно его учению, существует некоторая, хотя и небольшая аналогия между прохождением тока через разреженные газы и через растворы электролитов. В обоих случаях носителями тока являются ионы, с тою, однако, существенною разницей, что в растворах оба иона суть атомы или группы атомов, между тем как в газах роль отрицательного иона играют во многих случаях, свободные электроны, но возможно также и возникновение отрицательных материальных ионов. Вообще говоря, механизм прохождения тока через газы несравненно сложнее, и возможные частные явления гораздо более разнообразны, чем при прохождении тока через растворы электролитов. Нам нет надобности входить в дальнейшие подробности. Достаточно сказать, что теория Дж. Дж. Томсона, над дальнейшим развитием которой работали весьма многие ученые, имеет дело с движениями и силами и свободно укладывается в те рамки, которые характеризовали различные теории, господствовавшие в старой физике.

II. Новые теории магнетизма. Их задача — объяснить свойства ферромагнитных, парамагнитных и диамагнитных тел; отчасти они примыкают к старой теории магнетизма, которую дал Ампер (Ampère). Можно сказать, что во всех новых теориях главную роль играют электроны, движущиеся по круговым орбитам. Сюда относятся теории,

которые развили Дж. Дж. Томсон (1903), В. Фохт (W. Voigt, 1900 — 1903), Ланжевен (Langevin, 1904) и в особенности Вейс (P. Weiss, начиная с 1907 г.), теория которого привела к учению о магнетоне, и В. К. Аркадьев (в Москве, начиная с 1913 года). Магнетоном Вейс называет элементарный магнит, аналогичный электрону; атом элемента содержит целое число магнетонов. И ко всем этим, весьма интересным теориям относится то, что было сказано относительно теории прохождения электрического тока через разреженные газы. Исключение составляет работа Ланжевена (1912), в которой он указал на связь между магнетонной теорией и теорией квант.

III. Уравнение состояния реальных газов. Законы Бойль-Мариотта и Гей-Люссака дают для идеальных газов уравнение состояния, связывающее объем v , давление p и абсолютную температуру T , в виде

$$pv = RT \dots \dots \dots (1)$$

где R газовая постоянная, численное значение которой одинаковое для всех газов, если уравнение относить к грамм-молекуле вещества. Если величину pv , которая размера работы или, что то же самое, энергии, выражать в малых калориях, то $R = 1,985$, или приблизительно $R = 2$. Реальные газы не следуют строго упомянутым двум законам, а потому их уравнение состояния должно быть сложнее, чем выраженное формулой (1). Бессмертная заслуга Ван-дер-Вальса (Van-der-Waals) заключается в том, что он первый дал рационально обоснованное уравнение состояния и притом относящееся, как к газообразному, так и к жидкому состояниям вещества. Оно имеет следующий вид

$$\left(p + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT \dots \dots \dots (2)$$

где a и b две постоянные, зависящие от рода газа. Член $a : v^2$ получился вследствие того, что Ван-дер-Вальс принял во внимание силы сцепления, которые действуют между частицами реальных газов; член b появляется, если принять во внимание, что сами частицы занимают некоторую часть объема v . Пользуясь своей формулой, Ван-дер-Вальс

показал как выражаются критические температура, объем и давление через величины a , b и R . Кроме того, он создал учение о соответствующих состояниях, раскрывающее новые, широкие горизонты для понимания большого числа физических закономерностей.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

Новые теории в новом духе.

§ 1. Введение. Читатель, удостоивший эту книгу прочтения, или хотя бы только перелистывания, познакомившись с содержанием первых пяти глав и приближаясь к концу книги, с удивлением спросит: где же обещанная „эволюция духа“ физики (глава первая, § 1)? Где новый дух современной физики? Хотя книга и озаглавлена. „Характеристика развития и т. д.“, мы с самого начала поставили на первый план не характер эволюции, но эволюцию характера. Об этом до сих пор не было ни слова, хотя в главах четвертой и пятой было перечислено большое число достижений физики за последнее полустолетие, и притом не только новых фактов, установленных путем эксперимента, но и некоторых новых теорий. Все, что до сих пор было рассмотрено, представляет расширение и углубление старой физики; общий характер, „дух“ науки, здесь не обнаруживают сколько-нибудь заметного изменения. Много ли нам еще остается рассмотреть из важных новых достижений физики? Да, их немного, и они, понятно, могут относиться только к новым теориям. Скажем точнее — их только три, при чем относительно одной из них еще возможен спор о том, действительно ли в ней господствует тот новый дух, выяснению которого посвящена эта книга. Читатель спросит: неужели две или три новые теории могли играть такую огромную роль, что благодаря им в корне изменился дух науки, и в ней выдвинулось что-то совершенно новое, существенно и глубоко изменившее ее характер? И мы ответим: да, они могли это сделать, так как они завоевали всю физику, проникли

почти во все ее отделы; они руководят нашей научной мыслью, и они создали новое миропонимание, совершенно не похожее на то, которое господствовало в старой науке. Они постепенно как бы растворяют в себе всю физику, и ими определяется истинный современный дух этой науки. Рассмотрению этих новых теорий и посвящена эта глава.

§ 2. Теория Максвелла (Cl. Maxwell). Об этой теории нам уже многократно приходилось говорить. Мы упоминали о том, что она была создана еще в шестидесятих годах истекшего столетия, т.-е. более, чем пятьдесят лет тому назад, но что она добилась общего признания только после того, как Герц открыл (1888) те лучи, которые названы его именем. Мы здесь будем говорить только об уравнениях Максвелла и об электромагнитной теории света, которая на этих уравнениях построена.

Обратимся сперва к уравнениям Максвелла, которые мы, к сожалению, даже выписать не можем, так как они состоят из символов высшей математики, знакомство с которой мы не предполагаем у наших читателей. Однако, мы постараемся выяснить смысл и характер этих уравнений.

В § 8 главы второй под № IV мы упомянули о дальном действии (*actio in distans*), игравшем весьма существенную роль в физике XIX столетия (до 1888 года). В теории электрических и магнитных явлений существование непосредственного взаимодействия друг на друга двух агентов, находящихся на произвольном расстоянии друг от друга, резко выражалось в законах взаимодействия двух зарядов, двух намагниченных тел, двух электрических токов, а также магнитов и токов. Предполагалось, что в пустом пространстве (в эфире) эти агенты действуют непосредственно друг на друга без того, чтобы в промежуточном пространстве (в эфире) происходили какие-либо изменения. Если материальная среда, помещенная между упомянутыми взаимодействующими агентами, явно меняет те силы, которые действуют на каждый из двух агентов при наличии другого, то это легко объяснялось, как следствие тех электрических или магнитных состояний, которые возникают в промежуточной материальной среде под влиянием (также дальном действием) этих же двух агентов, причем появляются новые силы, исходящие от промежуточной среды и действующие

обратно на рассматриваемые два агента. Только один Фарадей не мог мириться с мыслью об *actio in distans*, о непосредственном действии одного агента на другой. Он полагал, что промежуточная среда, хотя бы эфир, играет существенную роль передатчика действия одного агента на другой, при чем в этой среде происходят определенного рода изменения вдоль тех линий сил, которых были известны и общепринятой теорией. Но эта теория не приписывала линиям сил реального существования, не предполагала, что вдоль этих линий фактически что-либо происходит в промежуточной среде; она смотрела на них как на чисто геометрические линии, служащие для удобного описания явлений, прежде всего — для определения, в любой точке пространства, направления силы, которая возникла бы в этой точке, если бы в нее поместить, смотря по случаю, заряд, или магнитный полюс, или проводник с электрическим током. Идеи Фарадея о реальности линий сил, вдоль которых происходит какое-то изменение в среде, и передается действие от одного агента к другому, казались его современникам туманными и мало понятными. Максвелл принял идеи Фарадея и создал свое учение, в которых знаменитые два уравнения играют основную роль. Следует упомянуть, что эти уравнения были приведены в окончательный, сравнительно простой и изящный вид Герцом и Хивизайдом (Heaviside). Постараемся выяснить смысл этих уравнений.

В каждой точке пространства может существовать некоторая электрическая сила E и некоторая магнитная сила H , которые, однако, реально существуют только в том случае, когда в этой точке находится заряд (сила E), или намагниченное тело, или ток (сила H). Изменение этих фиктивных сил происходит, когда меняется расположение или интенсивность действующих агентов, т.е. величина заряда, степень намагничения или сила тока. Но изменение чисто фиктивное; в рассматриваемой точке фактически ничего не происходит, ибо меняются величины и направления тех сил E и H , которые возникают только в том случае, когда в эту точку поместить заряд, магнит или ток. Теория Максвелла в самом корне меняет этот взгляд на силы E .

и H , полагая, что эти силы реально существуют в точках пространства, хотя бы в этих точках не было ни заряда, ни магнита, ни тока. Максвелл полагал, что наличие этих сил связана с какими-то механическими изменениями, происходящими в эфире. Забегая вперед, заметим, во-первых, что ни Максвеллу, ни другим ученым не удалось выяснить форму и характер тех механических изменений в эфире, которые соответствуют возникновению в нем сил E и H ; во-вторых, что широкое течение современной науки, которое вполне отрицает существование эфира, должно признать существование этих сил „в пространстве“, т.-е. в действительной, абсолютной пустоте.

Вообразим где-нибудь в пространстве три плоскости, взаимно перпендикулярные, т.-е. расположенные друг относительно друга так, как пол и две соседние стены обыкновенной, четырехугольной комнаты. Назовем их координатными плоскостями. Они пересекаются по трем прямым линиям (две—где встречается пол с двумя стенами, одна—где встречаются две стены), которые мы назовем координатными осями. Если мы из рассматриваемой точки опустим три перпендикуляра на координатные плоскости (в комнате один перпендикуляр будет иметь вертикальное, два других—горизонтальные направления), то длины этих перпендикуляров называются координатами данной точки; легко сообразить, что они вполне определяют положение этой точки в пространстве. Обозначим их через x , y , z . Если от данной точки перейти к соседней, то, по крайней мере, одна из трех координат изменится; в общем случае изменятся все три координаты. В данной точке и в данный момент времени, силы E и H имеют определенную величину и определенные направления; обозначим время, считаемое от произвольного начального момента, через t . Если от данной точки перейти к соседней, у которой другие координаты, то, вообще говоря, окажется, что силы E и H имеют в ней другие величины и направления. Поэтому мы можем сказать, что силы E и H , по величине и направлению, зависят от координат x , y , z . Если мы, оставаясь в данной точке, перейдем от одного момента времени к следующему, то, вообще говоря, силы E и H также изменятся по величине и по направлению. Из всего сказанного следует, что

каждая из сил E и H , по величине и по направлению, зависит от четырех величин x, y, z, t , т.е. от времени t и от координат x, y, z точки, в которой эти силы действуют (или к которой они приложены). В дальнейшем мы будем предполагать, что среда, окружающая рассматриваемую точку, не обладает электропроводностью; полагаем, что эта точка находится внутри непроводника электричества (диэлектрика) или в частном случае, в пространстве, не содержащем материи. Первое из уравнений Максвелла связывает между собою изменение силы E за малый промежуток времени с теми изменениями силы H , которые соответствуют весьма малым изменениям координат x, y, z , или, иначе говоря, со значениями силы H в рассматриваемой точке и в точках, окружающих последнюю. Аналогично, второе уравнение Максвелла связывает между собою изменение силы H за малый промежуток времени с теми изменениями силы E , которые соответствуют весьма малым изменениям координат x, y, z , или, иначе говоря, со значениями силы E в рассматриваемой точке и в точках, окружающих последнюю¹⁾.

¹⁾ Для читателей, хотя бы немного знакомых с началами высшей математики, дадим следующие разъяснения. Обозначим через X, Y, Z слагаемые силы E по координатным осям, и через L, M, N подобные же слагаемые силы H . Каждая из шести слагаемых есть функция четырех величин x, y, z, t ; полагаем, что среда не обладает электропроводностью. Первое из уравнений Максвелла распадается на три уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{k}{c} \frac{dX}{dt} &= \frac{dN}{dy} - \frac{dM}{dz} \\ \frac{k}{c} \frac{dY}{dt} &= \frac{dL}{dz} - \frac{dN}{dx} \\ \frac{k}{c} \frac{dZ}{dt} &= \frac{dM}{dx} - \frac{dL}{dy} \end{aligned}$$

где k диэлектрическая постоянная среды, c скорость света; здесь силы X, Y, Z выражены в электростатических, силы L, M, N — в электромагнитных единицах. Второе уравнение Максвелла распадается на следующие три:

$$\begin{aligned} \frac{\mu}{c} \frac{dL}{dt} &= \frac{dY}{dz} - \frac{dZ}{dy} \\ \frac{\mu}{c} \frac{dM}{dt} &= \frac{dZ}{dx} - \frac{dX}{dz} \\ \frac{\mu}{c} \frac{dN}{dt} &= \frac{dX}{dy} - \frac{dY}{dx} \end{aligned}$$

Здесь μ магнитная проницаемость среды. Для пустоты (эфира) $k = \mu = 1$

Таким образом, теории Максвелла чуждо всякое дальное действие, ибо ее уравнения связывают такие величины, которые относятся к одной и той же точке пространства. Величина и направление сил в данной точке и в данный момент зависит от величины и направления тех же сил в ближайших к данной точках в тот же момент и в момент, непосредственно предшествующий. Любопытно, что об электричестве, как реально существующем веществе, в теории Максвелла вовсе не упоминается.

Теория Максвелла просуществовала в „чистом“ виде всего около одного десятилетия. Ее пришлось видоизменить, когда возникло учение об электронах, существование которых мы признали за экспериментально подтвержденный факт. Видоизменение коснулось только тех формул, которые относятся к среде, обладающей электропроводностью¹⁾. Математическое исследование видоизмененных формул представляет предмет так называемой электронной теории, на которую можно смотреть, как на дальнейшее развитие теории Максвелла. Основателем электронной теории является Лоренц (H. A. Lorentz) в Голландии. Наиболее важную часть теории Максвелла мы рассмотрим отдельно в следующем параграфе.

§ 3. Электромагнитная теория света. Часть пространства, в которой действуют электрические или магнитные силы, называется, в первом случае, электрическим полем, во втором — магнитным полем; если одновременно существуют и те и другие силы, то поле называется электромагнитным. Заряженное тело окружено электрическим полем, магнит — магнитным полем; движущиеся электроны вызывают в окружающем пространстве поле электромагнитное. Старая теория, не примкнувшая к идеям Фарадея, считала во всех трех случаях силы чисто фиктивными, если в полях не находились тела (заряды, магниты или токи), на которые эти силы могли действовать. Фарадей же полагал, что среда, заполняющая поле (это может быть и эфир), находится в каком-то особом состоянии, о характере которого сам Фарадей ничего определенного не говорит; благодаря

1) Уравнения, написанные в предыдущем примечании, остаются без изменения для непроводящей среды.

этому состоянию, среда и действует на помещенные в ней заряды, магниты или токи. Таким образом, дальное действие заменено действием среды, непосредственно прилегающей к телу. В теории Максвелла особое состояние среды выявляется фактической наличием сил E или H или обеих сил E и H одновременно. Из своих уравнений Максвелл вывел поразительное следствие, подтверждение которых опытами Герца и сделалось источником возникновения новой физики. Мы, как и выше, будем говорить только о том случае, когда среда не обладает электропроводностью. Ее диэлектрическую постоянную обозначим опять через k , ее магнитную проницаемость через μ . Для пустоты (эфира) $k = \mu = 1$. Прежде всего мы должны познакомиться с тем явлением, которое называется электромагнитным возмущением.

Обозначим через A какую-либо точку в данной, непроводящей среде, каковою может быть и пустота (эфир). Через эту точку проведем мысленно две взаимно перпендикулярные прямые линии; в каждой из этих прямых будем, начиная от данной точки, одно направление считать положительным, противоположное — отрицательным. Пусть AP и AQ эти два, взаимно перпендикулярных, положительных направления, AP' и AQ' — направления отрицательные. В точке A нет ни заряда, ни намагниченного вещества, и уже, конечно, нет тока, так как среда, не проводящая электричество; точка может находиться и в пустоте. Представим себе, что в точке A разыгрывается следующее странное явление. В некоторый момент, для которого мы примем время $t = 0$, в точке A нет никаких электрических (E) или магнитных (H) сил. Но затем в A появляется сила E , которая имеет положительное направление AP и, начиная от $E = 0$, постепенно увеличиваясь, ко времени $t = T:4$ достигает наибольшего значения E_0 . Начиная с этого момента, сила E опять постепенно уменьшается и ко времени $t = T:2$ делается равной нулю. Немедленно после этого сила E вновь появляется, но ее направление теперь совпадает с отрицательным направлением AP' , вследствие чего мы и самую силу E будем считать отрицательной. Постепенно возрастая по абсолютной величине, сила E достигает ко времени $t = 3T:4$ наибольшего отрицательного значе-

ния — E_0 , после чего она уменьшается и ко времени $t = T$ делается равной нулю. Затем весь этот процесс повторяется вновь в течение времени от $t = T$ до $t = 2T$, т.-е. сила E растёт до E_0 , убывает, делается отрицательной, достигает величины — E_0 и убывает до нуля. Дальше тот же процесс повторяется в третий, в четвёртый раз и т. д. в течение времени, которое может быть громадно сравнительно со временем T одного единичного, вышеописанного процесса. Мы говорим, что величина силы E колеблется между значениями $+E_0$ и $-E_0$; время T называется периодом колебания, величина E_0 — амплитудой колебания. Для сокращения обычно говорят о колеблющейся силе E вместо о колеблющейся величине силы. То, что здесь было описано, составляет лишь одну половину того явления, которое происходит в точке A . Одновременно с возникновением электрической силы E в момент $t = 0$, появляется в точке A магнитная сила H по направлению AQ , т.-е. перпендикулярная к силе E . Ко времени $t = T : 4$ она достигает наибольшего значения H_0 , при $t = T : 2$ делается равной нулю, затем она по направлению AQ' постепенно растёт от нуля до $-H_0$ (в момент $t = 3T : 4$) и, опять убывая, исчезает при $t = T$. Этот процесс затем непрерывно повторяется. Сила H , вернее — величина силы H , колеблется с амплитудой H_0 и с периодом T . Итак, обе силы колеблются с одинаковым периодом T ; они одновременно равны нулю и одновременно достигают наибольших значений E_0 и H_0 . Описанное здесь странное явление и представляет происходящее в точке A электромагнитное возмущение.

Из уравнений Максвелла, путем математического их преобразования, легко получается следующий результат. Проведем через ту же точку A прямую линию AK , перпендикулярную, как к PP' , так и к QQ' ; она перпендикулярна к той плоскости, в которой происходит электромагнитное возмущение, т.-е. колеблются силы E и H . Прямую AK представим себе продолженной и по другую сторону от точки A ; обозначим это продолжение через AK' . Оказывается следующее: если в A возникает электромагнитное возмущение, то оно немедленно начинает распространяться в обе стороны вдоль

прямых AK и AK' . Это значит, что вслед за возникновением возмущения в точке A , начинается такое же возмущение в соседней точке, затем в следующей точке и т. д. Каждое следующее возмущение начинается немного позднее предыдущего. Чем дальше некоторая точка M на прямой AK или AK' отстоит от точки A , тем позже в ней начинается электромагнитное возмущение. То расстояние, на которое возмущение распространяется в одну секунду, определяет собою скорость распространения возмущения; обозначим ее через v . Оказывается, что скорость v определяется формулой

$$v = \frac{c}{\sqrt{k\mu}},$$

где c скорость света. В пустоте $k = \mu = 1$, и мы имеем

$$v = c.$$

В пустоте (эфире) скорость распространения электромагнитного возмущения равна скорости света. Прямую AK (или AK') мы назовем лучом. То место пространства, где происходит электромагнитное возмущение, содержит некоторое количество особого рода энергии, несомненно, кинетической. Эта энергия передается вдоль луча, и мы можем говорить о потоке энергии, распространяющейся вдоль луча от того места, где происходит и чем-то поддерживается электромагнитное возмущение. Максвелл нашел далее, что такой луч, если бы удалось его осуществить, должен обладать всеми свойствами лучей световых. Но это еще не все. Основываясь на своей теории, Максвелл мог предсказать существование двух новых закономерных связей между световыми и электрическими явлениями. Мы здесь не имеем надобности рассматривать эти связи; для нас достаточно отметить, что связи были предсказаны и затем, путем опытов, их существование было вполне подтверждено.

Все изложенное привело Максвелла к электромагнитной теории света, в основе которой лежит гипотеза, что свет (или вообще лучистая энергия) есть распространяющееся в пространстве электромагнитное возмущение того самого вида, который только что был нами подробно описан. Однако, с одной стороны, вся эта теория казалась все-таки

недостаточно обоснованной и, с другой стороны, самая мысль о колеблющихся электрических и магнитных силах представлялась малопонятной; вследствие этого, в течение довольно долгого времени, к этой новой теории примкнуло сравнительно небольшое число ученых, старавшихся дать ей дальнейшее развитие и более твердое обоснование. Положение совершенно изменилось после бессмертных работ Герца (1888), описанных в § 4 главы четвертой под № 9. Мы видели, что Герцу удалось осуществить те электромагнитные лучи, о которых говорится в теории Максвелла. Они возникают там, где происходит колебательное движение электронов. Так как покоящийся электрон вызывает в окружающем пространстве электрические силы, а движущийся электрон, кроме того, еще и магнитные силы, то ясно, что в пространстве, окружающем колеблющиеся электроны, должны возникнуть колеблющиеся по величине электрические и магнитные силы, то есть электромагнитные лучи Максвелла.

Опыты Герца, а также дальнейшие опытные и теоретические исследования многих ученых, дали теории Максвелла незыблемый фундамент и заставили окончательно отказаться от чисто механической теории колебательного движения частиц эфира. В настоящее время теория Максвелла принята всеми, без исключения, учеными, занимающимися физикой, но, конечно, с теми изменениями, которые внесло в нее учение об электронах. Дальнейшее за последние 35 лет, развитие науки еще яснее доказало справедливость основных положений теории Максвелла. Не может быть и тени сомнения в том, что свет, или вообще лучистая энергия, есть распространяющееся в пространстве электромагнитное возмущение такого вида, как нами было описано. В какой мере в этой теории проявляется специфический дух новой физики, будет рассмотрено впоследствии.

§ 4. Теория излучения и возникновение учения о квантах. Теперь мы рассмотрим вторую из тех новых теорий, которые наиболее ярко характеризуют новую физику. Не относясь к какой-либо сравнительно небольшой группе явлений, эта теория постепенно проникает почти во все отделы физики, заражая их—если можно так выразиться—

тою болезнью, тем разочаровывающим, неприемлемым духом, которым в настоящее время, будем надеяться, только временно, страдает физика. Нам нет надобности, хотябы вкратце, излагать теорию излучения, созданную Планком (Planck) около 1900 г., ибо мы не пишем ни истории физики за последнее полустолетие, ни — тем более — учебника. Мы хотим обнаружить и рельефно выдвинуть перед читателями те черты характера новой физики, которыми она круто отличается от физики старой. И эти черты мы можем обнаружить, не входя в изложение теории, которая родилась вместе с новым столетием и наложила свою тусклую печать почти на все отделы новой физики этого нового века.

В § 4 главы четвертой мы под № 13 указали на практическое осуществление абсолютно черного тела, излучение которого определяется мировой функцией $E(\lambda, T)$, где λ длина волны, T абсолютная температура. Этой функцией определяется распределение энергии в спектре черного (как мы для краткости будем писать) тела. Формула (1) на стр. 108 показывает, что $E(\lambda, T)$ одинаковая, для всех черных тел, функция. Но гораздо важнее формула (2), из которой видно, что испускательная способность $e(\lambda, T)$ произвольного тела связана с функцией $E(\lambda, T)$ равенством

$$e(\lambda, T) = a(\lambda, T) E(\lambda, T)$$

где $a(\lambda, T)$ поглощательная способность, т.-е. та дробная часть лучистой энергии длины волны λ , которая при температуре T поглощается телом. Исследуя спектр лучей, выходящих из маленького отверстия искусственного черного тела, можно было экспериментально определить зависимость величины E от λ и T . Явилась важнейшая задача: определить путем теоретических соображений истинную, математическую форму мировой функции $E(\lambda, T)$. Не останавливаемся на попытках решения этой задачи различными учеными. За ее решение взялся Планк. Нет сомнения, что испускание лучистой энергии происходит в определенных точках тела, в которых совершается какое-то движение, вызывающее в пространстве, окружающем эти точки, электромагнитное возмущение. Не может быть сомнения в том, что в этих точках происходит движение электронов. Важно отметить, что характер

этого движения не играет существенной роли в дальнейшем развитии теории. Планк предполагает, что в лучеиспускающих центрах происходит простое колебательное движение электрона. Назовем такой колеблющийся электрон осциллятором, или вибратором, и пусть он совершает ν колебаний в секунду. Тогда от него исходят лучи того же числа колебаний ν ; соответствующую длину волны обозначим через λ . Осциллятор испускает лучистую энергию насчет энергии своих колебательных движений; если его движение не поддерживается притоком новой энергии, то он должен быстро остановиться, израсходовав всю свою энергию движения, которая переходит в энергию лучистую. Однако, приток энергии к осциллятору существует. Дело в том, что если лучистая энергия частоты ν падает на осциллятор той же частоты (одинаково с нею настроенный), то она его раскачивает, причем лучистая энергия поглощается, переходя в энергию движения электрона. Мы имеем здесь известное явление резонанса: осциллятор, испускающий лучистую энергию частоты ν , в то же время играет роль резонатора, поглощающего лучи той же частоты ν . Положим, что внутри рассматриваемого лучеиспускающего тела находится громадное число одинаковых осцилляторов (одинаковой частоты ν). Тогда все междуатомное пространство тела наполнено лучистой энергией частоты ν , которая со всех сторон как бы льется на осцилляторы и ими поглощается. Ясно, что должно установиться такое равновесное состояние всей совокупности осцилляторов-резонаторов, при котором весь их запас энергии не меняется: они, в течение любого промежутка времени, **все вместе** столько же испускают лучистой энергии частоты ν , сколько они в то же время испускают. Допустим, далее, что в рассматриваемом теле находятся осцилляторы всевозможных частот ν , при чем в каждой группе осцилляторов, имеющих частоту, близкую к какому-либо ν , число их весьма велико. Оказывается, что, когда достигнуто равновесие во всех группах осцилляторов, то испускаемая телом лучистая энергия как раз соответствует черному лучеиспусканию $E(\lambda, T)$ ¹⁾. Пусть N число осцилляторов, частота коле-

¹⁾ Точнее говоря, количество лучистой энергии, которая обладает частотой между ν и $\nu + \Delta\nu$, и которая испускается в единицу времени, равна $E(\lambda, T)\Delta\nu$.

баний которых близка к некоторому определенному ν , и пусть вся их энергия равна J ; при достигнутом равновесии эта величина уже не меняется. Энергия U какого-либо одного резонатора есть величина непрерывно меняющаяся в зависимости от случайной интенсивности падающего на него потока лучистой энергии; эта энергия то возрастает, то убывает, смотря по тому, что в данный момент случайно больше, испускание или поглощение. Но средняя энергия \bar{U} осциллятора за не малый промежуток времени есть величина вполне определенная, очевидно, равная $J:N$. Та же величина равна средней энергии всех осцилляторов в произвольный момент времени. Она представляет функцию от λ и T ; она различна для различных групп осцилляторов (различные ν или λ) и зависит от температуры. Планк вывел важную формулу

$$E(\lambda, T) = 2\pi \frac{\nu^2}{c^2} \bar{U} \dots \dots \dots (1)$$

где c скорость распространения света. Остается найти величину \bar{U} . Для этого Планк сперва предположил, что энергия U одного осциллятора может, с течением времени принимать всевозможные значения, в зависимости от случайной обстановки, как было разъяснено выше. Однако, исходя из этого, столь естественного и, казалось бы, безусловно справедливого предположения, Планк получил для $E(\lambda, T)$ такую формулу, которая не оправдывается на опыте. Зависимость $E(\lambda, T)$ от λ , т.е. распределение энергии вдоль спектра абсолютно черного тела, определяемое теоретической формулой, не соответствовало тому действительному распределению, которое получалось при экспериментальном исследовании; сюда относятся, главным образом, исследования Луммера и Прингсгейма (Lummer, Pringsheim, 1897, 1900). Тогда Планку пришла в голову невероятно смелая мысль— и в этот момент он мощною рукою повернул рулевое колесо корабля, который называется физикой, и этот корабль пошел по новому направлению через странное, небывалое в истории его плаванья, сочетание яркого солнца и густого тумана; и до сих пор нельзя понять, куда его путь направлен, и когда этот туман рассеется. Эта мысль заключается в следующем: он предположил, что осциллятор не

может обладать произвольной энергией U , но что U всегда должно равняться целому кратному некоторого, вполне определенного, как бы элементарного количества энергии; играющего роль как бы атома энергии; обозначим его через ε . Итак U может иметь только значения

$$U = 0, \varepsilon, 2\varepsilon, 3\varepsilon, 4\varepsilon \dots, n\varepsilon \dots \dots \dots (2)$$

где n целое число. Величина ε называется квантой лучистой энергии. Осциллятор может обладать только целым числом квант энергии. Если это так, то отсюда следует, что осциллятор не может ни испускать, ни поглощать лучистую энергию непрерывной струей, так чтобы его энергия убывала или возрастала так, как убывает или возрастает любая непрерывная функция. Испускание и поглощение энергии происходит целыми квантами. Энергия U осциллятора меняется скачками. Заметим, что впоследствии Планк изменил свою мысль, допустив, что осциллятор испускает лучистую энергию квантами, но поглощает ее непрерывной струей. Однако, эта мысль не привилась, и в настоящее время сам Планк от нее, повидимому, отказался. Весь запас J энергии данной группы осцилляторов (данного ν , а следовательно и данного λ) состоит из $J : \varepsilon$ квант. Теория вероятности учит, какие в данный момент могут быть распределения этих квант между N осцилляторами, и как часто каждого рода распределение может случаться. Пользуясь теорией вероятности, законами термодинамики и одним свойством черного излучения, которое было теоретически строго доказано Вином (Wien, 1893) и вполне подтверждено опытами, Планк, мог сперва доказать, что кванты ε неодинаковы для различных групп осцилляторов, а именно, что кванты ε пропорциональны ν . Множитель пропорциональности он обозначил буквою h . Это знаменитая постоянная Планка, царица современной физики. Итак

$$\varepsilon = h\nu \dots \dots \dots (3)$$

Чем больше число ν колебаний, тем больше кванта энергии. Если ν относить, как всегда, к одной секунде и ε выражать в эргах, то оказывается, что

$$h = 6,54 \cdot 10^{-27} \text{ эрг.-сек.} \dots \dots \dots (4)$$

Величина h того же размера, как и та величина, которая в механике называется „действием“ и к которой относится знаменитый принцип наименьшего действия. Иногда h называют квантою действия; когда говорят просто о квантах, то всегда подразумевают кванту энергии, т.-е. величину ε . Для видимого луча $\lambda = 5.000 \text{ \AA}$ имеем $\varepsilon = 3,9 \cdot 10^{-12}$ эрга; для крайнего рентгенова луча $\lambda = 0,07 \text{ \AA}$ оказывается $\varepsilon = 2,7 \cdot 10^{-7}$ эрга.

Определив величину кванты в виде $\varepsilon = h\nu$, Планк мог затем определить вид функции $E(\lambda, T)$. Нам сейчас неважен тот путь дальнейших рассуждений и вычислений, который привел его, наконец, к желанной цели; неважен также и самый вид функции $E(\lambda, T)$, которую мы здесь, в виду ее сложности, даже не выписываем. Для всего дальнейшего имеют существенное значение два обстоятельства. Во-первых, то, что вывод формулы черного лучеиспускания основан на совершенно новой мысли о поглощении и испускании лучистой энергии не непрерывной струей, но отдельными квантами, величины которых зависят от частоты колебаний и определяются формулой (3). Во-вторых, что найденная Планком функция $E(\lambda, T)$ несомненно, выражает истинную, искомую зависимость лучеиспускания абсолютно черного тела от длины волны и от температуры. Самые точные экспериментальные исследования, произведенные над искусственным абсолютно черным телом при самых различных температурах T и для всех доступных наблюдению длин волн λ , показали полнейшее согласие измеренных энергий $E(\lambda, T)$ с теми, которые дает теоретическая формула Планка. Последние сюда относящиеся измерения были произведены Рубенсом (Rubens) в 1921 году; они окончательно доказали, что гипотеза о квантах действительно привела Планка к верному решению одной из важнейших задач физики.

Таким-то вот путем возникло на заре нового столетия учение о квантах, и появилась в физике новая величина h , постоянная Планка, численное значение которой дано в равенстве (4). В следующей главе мы познакомимся с некоторыми страницами из истории победоносного завоевания физики величиною h и квантами лучистой энергии.

§ 5. **Некоторые из приложений теории квант.** Мы здесь рассмотрим немногие из сравнительно второстепенных приложений учения о квантах; ознакомление с наиболее важным из завоеваний этого учения мы оставляем до следующего параграфа.

I. Световые кванты Эйнштейна. Осцилляторы, т.-е. в конечном итоге тела, в которых они находятся, испускают лучистую энергию частоты ν квантами $h\nu$; они же, т.-е. опять-таки материальные тела, поглощают ту же лучистую энергию также отдельными квантами. Итак, из одного тела A вылетают кванты, другое тело B поглощает кванты. Спрашивается: что же мы имеем в промежуточном между A и B пространстве? Эйнштейн высказал бесконечно смелую мысль, что и поток лучистой энергии состоит из отдельных квант, которые летят со скоростью c света. Мы назовем их световыми квантами, хотя мысль Эйнштейна, конечно, относится ко всем видам распространяющейся в пустом пространстве лучистой энергии. Введенное здесь, общепринятое название должно выразить, что наиболее близкая нам форма лучистой энергии, видимый свет, состоит, по мысли Эйнштейна, из отдельных частиц света, из квант $h\nu$, ничем, повидимому, между собой не связанных. Здесь мы имеем явное возвращение к теории Ньютона истечения света, с тою, однако, существенной разницей, что частицы света, или, вернее, лучистой энергии, могут содержать беспрельдно различные количества энергии в зависимости от характерной для каждого рода частиц величины ν . Однако, мы знаем, что огромное число разнообразных световых явлений сравнительно весьма легко и просто объясняется гипотезой, что свет, или вообще лучистая энергия, есть распространяющееся в пространстве колебательное движение, при чем частота ν , или связанная с нею длина волны $\lambda = c:\nu$, имеют простое, удобопонятное реальное значение. Сейчас для нас даже безразлично, принимать ли старую теорию колебания частиц эфира или электромагнитную теорию света. Волновая теория объясняет отражение и преломление, интерференцию и дифракцию, поляризацию, двойное преломление и т. д. и т. д. световых лучей. Ясно, что теория световых квант не может объяснить ни одного

из этих основных явлений, кроме, пожалуй, отражения. Из них самое типичное—интерференция лучей, возникновение которой невозможно себе представить иначе, как только сочетанием нескольких колебательных движений. И это еще не все! Летящая в пространстве кванта характеризуется содержащимся в нем запасом $h\nu$ энергии. Однако, величина ν взята из учения о колебательном движении (как и связанная с нею величина λ), где ее смысл понятен. Но какой же смысл имеет буква ν в теории световых квант? Летит клочок лучистой энергии, содержащий энергию $h\nu$. Тут ν является как бы простым численным коэффициентом, различным для различных существующих сортов квант. Тут совершенно отсутствует представление о числе, которое показывало бы, сколько раз некоторое событие совершается в единицу времени, и тем более такое событие, фаза которого периодически и непрерывно меняется. А, ведь, без этого вышеупомянутые световые явления, прежде всего—интерференция, поняты быть не могут. И тем не менее, мы немного ниже познакомимся с рядом таких явлений, которые громко говорят за теорию световых квант, а с точки зрения волновой теории столь же непонятны, как интерференция с точки зрения теории световых квант!

II. Фотоэлектрические явления. В § 6 главы шестой мы под № 24 познакомились с фотоэлектрическими явлениями. Если на поверхность тела падают монохроматические (однородные) лучи длины волн λ или частоты ν , то из этой поверхности вылетают электроны; назовем их фотоэлектронами. Оказывается следующее: 1) чем больше интенсивность лучей, тем больше число фотоэлектронов; 2) скорость v вылетающих фотоэлектронов не зависит от интенсивности лучей; 3) скорость v тем больше, чем больше ν (чем короче λ). Из видимых лучей действуют наиболее сильно фиолетовые, еще сильнее—лучи ультрафиолетовые; лучи желтые, красные и тем более, инфракрасные заметного действия не производят. Безнадежно пытаться объяснить приведенные три закона, в особенности второй и третий, исходя из представлений волновой теории, которая полагает, что световая энергия льется непрерывным потоком, наступая сплошным фронтом (волновой поверхностью).

Исходя из теории квант, легко понять все три закона, как впервые показал Эйнштейн. Лучистая энергия поглощается в поверхностном слое тела отдельными квантами $h\nu$, при чем каждая поглощенная кванта вырывает один электрон. При этом энергия $h\nu$ распадается на две части, из которых первая тратится на ту работу P , которая должна быть совершена, чтобы вырвать электрон из тела; вторая же часть переходит в кинетическую энергию движения электрона, равную $\frac{1}{2}mv^2$, где m масса электрона, v та скорость, с которою он покидает тело. Таким образом, мы получаем знаменитое уравнение Эйнштейна $h\nu = P + \frac{1}{2}mv^2$, или

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - P \dots \dots \dots (5).$$

Эта формула объясняет все три закона. Увеличение интенсивности света дает возрастание числа квант, которые имеются в распоряжении, а следовательно, и возрастание числа вылетающих электронов (закон первый). Но это увеличение интенсивности потока света не может влиять на скорость v электронов, так как на каждый вылетающий электрон приходится прежняя энергия $h\nu$, т.-е. одна кванта (закон второй). С увеличением числа ν , т.-е. при уменьшении длины волны падающего света, должна увеличиться скорость v (закон третий). Мы имеем здесь блестящий пример простого объяснения, на основании учения о квантах, такой группы явлений, которая представляется совершенно непонятной, если исходить из обычных представлений о характере лучистой энергии. Формула (5) показывает, что величина v^2 должна быть линейной функцией числа ν и должна при некотором $\nu = \nu_0 = P:h$ делаться равным нулю. Весьма точные опытные исследования подтвердили линейную зависимость v^2 от h и дали возможность из фотоэлектрических наблюдений определить величину h и величины P для различных металлов. Красные лучи вовсе не вызывают фотоэлектронов, так как их кванты слишком малы, чтобы совершить работу P .

III. Возникновение рентгеновых лучей. Когда катодные лучи, т.-е. поток электронов, ударяется об антикатод, то возникают рентгеновы лучи, дающие сплошной спектр (так называемые характеристические лучи мы сейчас

не рассматриваем). Этот спектр резко обрывается со стороны малых длин волн, т.-е. возрастающих ν . И это явление весьма просто объясняется теорией квант. Электрон, долетающий до антикатада со скоростью v , обладает энергией $\frac{1}{2}mv^2$; при остановке электрона, его энергия частью переходит в энергию рентгеновых лучей, причем возникает одна кванта $h\nu$. Ясно, что $h\nu$ может быть меньше $\frac{1}{2}mv^2$, а именно когда часть энергии электрона затрачивается на производство других видов энергии, например, на нагревание антикатада; но ни в каком случае не может быть $h\nu > \frac{1}{2}mv^2$. Предельное значение ν_0 определяется равенством

$$h\nu_0 = \frac{1}{2}mv^2 \dots \dots \dots (6)$$

дающим то ν_0 , у которого сплошной рентгеновый спектр резко обрывается. Опыты подтвердили точную пропорциональность между предельным ν и энергией электронов.

IV. Вторичные катодные лучи. Назовем поток электронов, ударяющихся в антикатод и вызывающих рентгеновы лучи, первичным катодным лучом. Когда рентгеновы лучи падают на поверхность какого-либо тела A , то из нее вылетают электроны, которые составляют вторичный катодный луч. Здесь мы имеем дело с фотоэлектрическим явлением в области рентгеновых лучей. Так как кванта этих лучей примерно в 10.000 раз больше кванты видимого света, то мы в формуле (5) можем пренебречь величиной P и написать ее в виде

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu \dots \dots \dots (7)$$

В высшей степени интересно, что скорость v вторичных электронов не зависит от расстояния, на котором тело A находится от рентгеновой трубки, т.-е. от источника рентгеновых лучей. Но еще важнее, что эта скорость примерно равна скорости электронов в первичном катодном луче. С точки зрения учения о квантах, все это вполне понятно, осо-

бенно когда возникают монохроматические рентгеновые лучи. В рентгеновой трубке энергия первичного электрона дает одну кванту $h\nu$, которая в поверхностном слое тела A опять переходит в энергию вторичного электрона. Независимость от расстояния объясняется тем, что возникают и поглощаются кванты одинаковой величины. Некоторые ученые видят в этой независимости существенную опору вышерассмотренной теории „световых квант“ Эйнштейна. Она чрезвычайно упрощает всю картину и облегчает понимание описанных здесь явлений. Но — остаются, конечно, в силе все те возражения против теории световых квант, которые мы выше указали.

V. Фосфоресценция, флуоресценция и ионизация. Когда на фосфоресцирующее или флуоресцирующее тело падают лучи частоты ν , то это тело испускает лучи частоты ν' , где $\nu' < \nu$; в этом заключается закон Стокса (Stokes), малопонятный с точки зрения волновой теории, но вполне ясный, если исходить из учения о квантах. На тело падают лучи, которые поглощаются его молекулами отдельными квантами $h\nu$; та же молекула испускает кванту $h\nu'$. По принципу сохранения энергии $h\nu'$ может быть только равно или меньше, но никогда не может быть больше $h\nu$. Но так как часть энергии $h\nu$ может переходить и в другие формы энергии, то получается $\nu' < \nu$, т.-е. закон Стокса. Еще удивительнее следующий факт: оказывается, что при освещении фосфоресцирующего тела лишь весьма немногие из его молекул подвергаются раздражению, т.-е. поглощают и испускают лучистую энергию. Это непонятно, если допустить существование сплошной волновой поверхности, которая должна коснуться всех молекул поверхностного слоя и дать им возможность поглощать лучистую энергию. Но, с точки зрения световых квант (Эйнштейн), явление понятно: волновой фронт не сплошной, но как бы покрыт отдельными пятнами, между которыми находятся части, не содержащие лучистой энергии; раздражаются лишь те молекулы, на которые попадают пятна, т.-е. кванты. Идею о пятнистом строении волновой поверхности давно высказал Дж. Дж. Томсон (около 1904 г.), чтобы объяснить, почему при ионизации газа ультрафиолетовыми или рентгеновыми лучами лишь весьма малая доля молекул газа подвергается

ионизации. Объяснение тождественно с только что приведенным.

Закон Стокса подтверждается и в области рентгеновых лучей. Если освещать тонкую пластинку вещества рентгеновыми лучами и измерять поглощение лучей, то при увеличении частоты ν достигается такое $\nu = \nu_0$, при котором поглощение внезапно чрезвычайно усиливается. В этот момент испытываемое вещество начинает испускать так называемые характеристичные рентгеновы лучи, дающие линейный спектр. Оказывается, что все линии имеют частоту ν , которая меньше ν_0 .

V. Теплоемкость. Первый из тех отделов физики, в которые постепенно проникло учение о квантах после его возникновения в теории лучистой энергии, был отдел о теплоемкости, которую обычно измеряют числом малых калорий, необходимых чтобы нагреть один грамм вещества на один градус. Молекулярная, или атомная (для одноатомных веществ) теплоемкость относится к грамм-молекуле или грамм-атому вещества; она равна произведению обыкновенной теплоемкости на молекулярный или атомный вес вещества. Эмпирически были установлены разного рода закономерности, относящиеся к теплоемкости; из них особенно важен так называемый закон Дюлонга и Пти (Dulong, Petit, 1819), по которому атомная теплоемкость твердых элементов близка к числу шесть. До 1907 г. появилось немалое число попыток теоретического объяснения этой и других закономерностей. Сюда относится, например, теория, основанная на законе равнораспределения кинетической энергии между степенями свободы, которыми обладает данная механическая система. Все эти попытки не привели к удовлетворительным результатам, так как ни одна из них не могла объяснить наблюдаемой зависимости теплоемкости от температуры, прежде всего сильного уменьшения этой величины при низких температурах. В 1907 г. Эйнштейн впервые развил совершенно новую теорию, которая привела его к формуле, выражающей зависимость теплоемкости от температуры. Эта теория основана на мысли, что тепловые вибраторы должны находиться в тепловом равновесии с теми вибраторами, испускающими лучистую энергию, которые мы выше еще назвали осцилляторами.

Для атомной теплоемкости C_v при постоянном объеме получается формула вида $C_v = F(h\nu, T)$; она содержит величину h , характерную для квантовой теории лучеиспускания. Формула Эйнштейна дает крутое понижение C_v при низких температурах; опыты, в общем, дают результаты, согласные с формулой, но понижение оказывается не столь крутым. Дебай (Debye) и другие ученые видоизменили теорию Эйнштейна, но основная, вышеуказанная мысль осталась без изменения. Заметим, что теория Дебая, а также Борна и Кармана (Born, Kármán), приводит к результату, что, вблизи абсолютного нуля температуры, теплоемкость должна расти пропорционально кубу абсолютной температуры. Этот закон вполне оправдался на опыте.

Мы ограничиваемся рассмотренными пятью вопросами, в которых теория квант и в особенности постоянная Планка h играют существенную роль. Мы могли бы прибавить еще другие вопросы. Сюда относится, например, вопрос о так называемой химической постоянной, значение которой для теории перехода вещества из твердого и жидкого состояний в газообразное (возгонка и испарение), а также для учения о химическом равновесии выдвинул Нернст (Nernst), и теоретическое выражение которой содержит величину h . Это выражение, которое вывел Штерн (O. Stern, 1913), дает превосходное согласие с результатами опытов. Мы могли бы еще указать на попытки введения представления о квантах в учение об электро- и теплопроводности. Переходим к самому важному из приложений теории квант, приведшему к понятию о квантовании.

§ 6. Строение атома, теория Бора (Niels Bohr). В 1913 году датский ученый Бор напечатал ряд статей, в которых он изложил новую теорию строения атома. Этот год можно считать за новый поворотный пункт в истории физики. В этих статьях величина h впервые выступила в новом освещении, выяснилось ее мировое значение, и в науке появился новый метод теоретического исследования физических явлений, метод, столь же могущественный, сколь и загадочный и непонятный. С этого момента вся физика была охвачена тем новым духом, характеристике которого

посвящена эта книга. С 1913 года следует считать новейшую историю физики.

Уже давно целый ряд фактов приводил ученых к мысли, что атомы не суть те простые зернышки, существенно различные для различных элементов, какими их прежде себе представляли. Постепенно выяснилось, что атомы должны иметь более сложное строение, и что в их состав должны входить электрические заряды. На это указывала та электролитическая диссоциация в растворах, о которой было сказано в § 2 главы пятой. Молекула электролита распадается на два иона, из которых анод содержит один или несколько электронов, а катион — соответствующий положительный заряд; проще всего допустить, что катион, первоначально сам по себе нейтральный, потерял электроны, которые перешли от него к аниону. Подобное же явление мы имеем при ионизации газов (§ 6 главы четвертой, № 22), с тою, однако, разницей, что отрицательный ион может быть свободным электроном. Весьма важно, что такой ионизации могут подвергаться и одноатомные газы, а это уже явно указывает, что заряды находятся не только в молекулах, но и в отдельных атомах. Последнее подтверждается радиоактивными явлениями (§ 6 главы четвертой, № 27), при которых из атомов вылетают, между прочим, частицы β , т.-е. электроны.

Не останавливаясь на прежних попытках построить „модель атома“, заметим только, что всякая модель должна считаться с тем, что каждый атом, в естественном, нейтральном состоянии должен содержать одинаковые, точнее говоря — эквивалентные, количества положительного и отрицательного электричества. Модель атома, которая ныне всеми принята, была предложена Резерфордом (Rutherford) в 1911 году. По мысли этого ученого, атом состоит из ядра, в котором находится весь положительный заряд атома; вокруг ядра вращаются электроны. Вся масса атома сосредоточена в ядре, которое может также содержать электроны. Положительный заряд эквивалентен сумме зарядов всех электронов, как внешних, вращающихся вокруг ядра, так и внутренних, т.-е. находящихся в самом ядре. Только ядро атома водорода не содержит электронов. Атом, по своей структуре, напоминает с о л-

нечную систему: тяжелое ядро играет роль солнца, а легкие электроны — роль планет. Различные элементы отличаются друг от друга числом внешних, находящихся вне ядра, электронов. В 1913 году Фан-ден-Брек (Van den Broek) первый высказал мысль, что число внешних электронов в атоме элемента равняется порядковому числу этого элемента в периодической системе Менделеева. Забегая несколько вперед, заметим, что в конце 1913 года и в начале 1914 появились две замечательные работы молодого английского ученого Мозли (Moseley, убит в 1915 г. во время войны), который, уже основываясь на теории Бора в ее применении к рентгеновым лучам, показал, что по спектру этих лучей, получаемых, когда элемент находится на антикатоде, можно определить порядковый номер этого элемента. Таким образом, Мозли определил порядковые номера всех известных элементов. Оказалось, что порядковый номер урана равен 92, и что, следовательно, до урана включительно не может быть более 92 элементов, если не считать изотопов (§ 2 главы четвертой, № 4); далее обнаружилось, что должны существовать пять еще не открытых элементов под номерами 43, 61, 75, 85 и 87. Итак, атом водорода состоит из положительного ядра, вокруг которого вращается один электрон; в атоме гелия имеются два внешних электрона; в атоме лития три электрона; в атоме бериллия — 4, углерода — 6, кислорода — 8, *Al* — 13, *K* — 19, *Fe* — 26, *Br* — 35, *Ag* — 47, *Ba* — 56, *Au* — 79, *Pb* — 82, *R* — 88, наконец, в атоме урана 92 электрона вращаются вокруг положительного ядра, внутри которого, несомненно, находится также большое число электронов.

Прежде, чем перейти к теории Бора, напомним и несколько дополним то, что в § 4 главы четвертой под № 11 было сказано о закономерностях в спектрах. Мы видели, что для бальмеровской серии спектральных линий водорода числа ν колебаний в секунду выражаются формулой (стр. 106).

$$\nu = A \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right) \dots \dots \dots (8)$$

где A постоянное, $k = 3, 4, 5$ и т. д. Здесь ν равно числу волн λ на длине c , где c скорость света, так как $\nu\lambda = c$.

Введем, вместо ν так называемое волновое число $n = \nu : c$, равное числу волн на длине одного сантиметра. Обозначим величину $A : c$ через R ; тогда формула (8) примет вид, так как $n = \nu : c = 1 : \lambda$, где λ выражено в сантиметрах,

$$n = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right) \dots \dots \dots (9).$$

Коэффициент R называется постоянной Ридберга (Rydberg); она равна

$$R(H) = 109677,691 \dots \dots \dots (10).$$

Мы написали $R(H)$, чтобы напомнить, что она относится к водороду. В спектре гелия существует серия линий, для которых волновое число выражается формулой

$$n = 4R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right) \dots \dots \dots (11)$$

при чем R , которое мы напишем в виде $R(He)$ отличается от $R(H)$, хотя и весьма мало:

$$R(He) = 109722,144 \dots \dots \dots (12).$$

Формулы (10) и (12) дают

$$\frac{R(He)}{R(H)} = 1,00041 \dots \dots \dots (13).$$

Переходим, наконец, к теории Бора который всецело принимает вышеописанную модель атома, предложенную Резерфордом. Эта теория относится, прежде всего, к атому, состоящему из положительного ядра, вокруг которого вращается один, единственный электрон, т.-е. к атому водорода и к атому ионизированного гелия, потерявшего один из своих двух электронов. Она относится также к атому лития, потерявшему два из своих трех электронов; но такую ионизацию паров лития до сих пор наблюдать не удалось. Мы не пишем учебника, а поэтому не намереваемся представить, хотя бы и краткого, очерка учения Бора, который можно найти в моей книге „Строение атома и рентгеновы лучи“, Петроград, 1923, издание Научного книгоиздательства. Мы изложим теорию Бора лишь настолько, чтобы оказалось возможным выдвинуть те

ее новые мысли, благодаря которым мы 1913 год назвали началом новейшей истории физики. Таких мыслей — три, и все они одинаково новы, одинаково смелы, одинаково поразительны и, скажем, забегая вперед, одинаково — непонятны. Эти три основные мысли мы теперь и разберем.

I. Вокруг положительного ядра вращается электрон. Взаимодействие ядра и электрона определяется законом Кулона, который по форме не отличается от закона всемирного тяготения. Поэтому и движение электрона вокруг ядра вполне аналогично движению планеты вокруг солнца; оно должно удовлетворять законам Кеплера, и в общем случае происходить по эллиптическим орбитам. Для простоты Бор рассматривает только круговые орбиты. По такой орбите электрон движется с постоянной скоростью v . Пусть m масса электрона, a радиус орбиты. Величина mv называется количеством движения, а произведение mva моментом количества движения электрона. Эта величина того же размера (ML^2T^{-1}), как и „действие“, а следовательно того же, как постоянная Планка h (стр. 161). Из элементарной механики следует, что электрон может двигаться по какой угодно круговой орбите, т.-е. что радиус a орбиты может иметь произвольную величину, от которой зависит скорость v движения электрона.

Первая мысль Бора заключается в следующем: электрон не может двигаться по орбите произвольного радиуса. Существует ряд вполне определенных, „возможных“ орбит, радиусы которых мы обозначим в возрастающем порядке через $a_1, a_2, a_3, \dots, a_i$ и т. д. Эти радиусы определяются условием

$$mv_i a_i = i \frac{h}{2\pi} \dots \dots \dots (14)$$

где i порядковый номер возможной орбиты и v_i скорость электрона на этой орбите. О знаменателе 2π будет сказано ниже. Условие (14) означает, что момент количества движения электрона должен равняться целому кратному числа $h:2\pi$. Из „возможных“ орбит наиболее устойчива ближайшая к ядру атома. Ее радиус a_1 , и на ней электрон может оставаться неопределенно долго. Формула (14) производит как бы отбор возможных орбит из

бесконечного числа мыслимых орбит; эти орбиты можно назвать стационарными.

II. Так называемая классическая электродинамика, нашедшая свое выражение в теории Максвелла и в ее изменении, электронной теории, учит, что если электрон движется с ускорением, то он безусловно должен излучать, т.-е. энергия его движения должна переходить в лучистую энергию. Это одинаково относится, как к случаю прямолинейного движения с непостоянной скоростью, так и к случаю криволинейного, хотя бы и равномерного движения, когда мы имеем дело с так называемым нормальным ускорением $v^2 : R$, где R радиус кривизны орбиты электрона в той точке, где его скорость равна v . Казалось совершенно невозможным, чтобы электрон, движущийся равномерно по круговой орбите, не терял бы непрерывно свою энергию движения на излучение; продолжая двигаться, он должен, наконец, остановиться.

Вторая мысль Бора. Электрон не излучает, когда он движется по одной из стационарных орбит, удовлетворяющих условию (14).

III. Обозначим через i и k порядковые номера двух стационарных, т.-е. „возможных“ орбит электрона, при чем $k > i$, так что i -тая орбита ближе к ядру, чем k -тая. Когда электрон движется по i -той орбите, то весь атом, т.-е. совокупность ядра и электрона, обладает некоторым запасом энергии, который мы обозначили через W_i . Она складывается из потенциальной энергии P_i притягивающихся ядра и электрона и из кинетической энергии L_i движущегося электрона, или, точнее — движущихся электрона и ядра, которые оба вращаются около их центра инерции. Когда электрон движется по k -той стационарной орбите, мы всю энергию атома обозначим через W_k . Вычисление (см. ниже) показывает, что, при $k > i$,

$$W_k > W_i \dots \dots \dots (15).$$

Когда электрон „перескакивает“ от k -той орбиты на i -тую, приближаясь к ядру, то атом теряет энергию $W_k - W_i$.

Третья мысль Бора. Когда электрон перескакивает от k -той орбиты к i -той, где $k > i$, то поте-

рянная атомом энергия $W_k - W_i$ переходит в одну кванту лучистой энергии. Это дает равенство.

$$W_k - W_i = h\nu \dots \dots \dots (16)$$

Число колебаний ν для возникающей, таким образом, лучистой энергии равна

$$\nu = \frac{1}{h} (W_k - W_i) \dots \dots \dots (17)$$

а волновое число

$$n = \frac{1}{hc} (W_k - W_i) \dots \dots \dots (18)$$

§ 7. Теория Бора (продолжение). В предыдущем параграфе мы резко выдвинули те три основные мысли, или гипотезы, как их обыкновенно называют, которые лежат в основе теории Бора. Теперь мы вкратце покажем, к каким формулам приводит эта теория. Пусть электрон, заряд которого $-e$, движется со скоростью v_i на i -той орбите, радиус которой a_i , и пусть E заряд ядра. Для атома водорода $E = e$, для атома гелия $E = 2e$; вероятно, ядро атома гелия содержит положительный заряд $4e$ и два электрона (заряд $-2e$); m масса электрона. Приравняв силу притяжения $Ee : a_i^2$ электрона ядром произведению массы m на нормальное ускорение $v_i^2 : a_i$, мы получаем

$$Ee = ma_i v_i^2 \dots \dots \dots (19)$$

Формулы (14) и (19) определяют радиусы a_i возможных (стационарных) орбит и скорости v_i на этих орбитах. Получается

$$a_i = \frac{h^2}{4\pi^2 m E e} i^2 \dots \dots \dots (20)$$

$$v_i = \frac{2\pi E e}{h} \cdot \frac{1}{i} \dots \dots \dots (21)$$

Мы видим, что радиусы возможных орбит растут, как квадраты последовательных целых чисел 1, 2, 3 и т. д. Для радиуса первой, наиболее устойчивой орбиты имеем ($i = 1$)

$$a_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 m E e} \dots \dots \dots (22)$$

Для водорода ($E=e$)

$$a_1(H) = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} \dots \dots \dots (23).$$

Для гелия ($E=2e$)

$$a_1(He) = \frac{1}{2} a_1(H) \dots \dots \dots (24).$$

Кинетическая энергия электрона равна, см. (14),

$$L_i = \frac{1}{2} m v_i^2 = \frac{E e}{2 a_i} \dots \dots \dots (25).$$

Потенциальная энергия

$$P_i = C - \frac{e E}{a_i} \dots \dots \dots (26)$$

где C потенциальная энергия при бесконечном удалении электрона от ядра. Вся энергия атома

$$W_i = L_i + P_i = C - \frac{e E}{2 a_i}.$$

Если подставить a_i из (20), то получается

$$W_i = C - \frac{2\pi^2 m e^2 E^2}{h^2 i^2} \dots \dots \dots (27).$$

Подобное же выражение получается для W_k ($k > i$). Если W_i и W_k вставить в (18), то получается

$$n = \frac{2\pi^2 m E^2 e^2}{c h^3} \left\{ \frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2} \right\}$$

В эту формулу надо ввести одну поправку. Мы предполагали, что электрон вращается около неподвижного ядра; в действительности, как уже было упомянуто, электрон и ядро вращаются с одинаковою угловою скоростью около их общего центра инерции. Пусть M есть масса ядра, т.-е. атомный вес элемента; тогда простое вычисление дает, вместо (27):

$$n = \frac{2\pi^2 m E^2 e^2}{c h^3} \cdot \frac{M}{M+m} \left\{ \frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2} \right\} \dots \dots \dots (28).$$

Полагая для водорода $M(H) = 1$, имеем $m = \frac{1}{1840}$ и для гелия $M(He) = 4$.

Для водорода имеем $E=e$ и

$$n = \frac{2\pi^2 m e^4}{c h^3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{1840}} \left\{ \frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2} \right\} \dots \dots \dots (29)$$

Для гелия $E'=2$ и

$$n = 4 \frac{2\pi^2 m e^4}{c h^3} \cdot \frac{4}{4 + \frac{1}{1840}} \left\{ \frac{1}{i^2} - \frac{1}{k^2} \right\} \dots \dots \dots (30)$$

Последние две формулы должны давать нам волновые числа всех лучей, которые испускаются водородом и гелием. Если положить $i=2$, т.е. если предположить, что электрон перескакивает с 3-ей, 4-ой, 5-ой и т. д. орбит на вторую, то получаются для n формулы, по виду вполне совпадающие с формулами (9) для бальмеровской серии водорода и (11) для одной из серий спектральных линий гелия. Сравнение (29) с (9) дает для постоянной Ридберга, если пренебречь вторым множителем, который мало отличается от единицы

$$R = \frac{2\pi^2 m e^4}{c h^3} \dots \dots \dots (31)$$

Подставим числа: заряд электрона $e = 4.774 \cdot 10^{-10}$ C. G. S. эл.-стат. единиц, масса электрона $m = 0,9 \cdot 10^{-27}$ грамма, $c = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{см}}{\text{сек.}}$, $h = 6,54 \cdot 10^{-17}$ эрг.-сек. см. (4) стр. 161; получается

$$R = 1,096 \cdot 10^5 \dots \dots \dots (32)$$

т.е. как раз то число, см. (10) и (12), которое было найдено эмпирически. Вторые множители в (29) и (30) показывают, что R должно иметь не вполне одинаковые значения для водорода и для гелия, а именно

$$\frac{R(\text{He})}{R(\text{H})} = \frac{4}{4 + \frac{1}{1840}} : \frac{1}{1 + \frac{1}{1840}} = 1,00041 \dots \dots \dots (33)$$

в поразительном согласии с выражением (13). Добавим, что если подставить вышеприведенные численные значения величин e , m и h в (23), то получается радиус первой стационарной орбиты электрона в атоме водорода

$$a_1(\text{H}) = 0,528 \cdot 10^{-8} \text{ см.} \dots \dots \dots (34)$$

Если в (29) и (30) подставить $i=1$, то получаются волновые числа серий спектральных линий, вызванных перескоком электрона со второй, третьей, четвертой и т. д. орбит на первую; если же положить $i=3$, то (29) и (30) определяет сериальные линии, вызванные перескоком с четвертой, пятой, шестой и т. д. орбит на третью. Линии, принадлежащие этим сериям действительно были найдены в спектрах водорода и гелия.

Все изложенное относится к случаю, когда вокруг ядра атома вращается один только электрон, т. е. к водороду и к ионизированному гелию. Мы видели (стр. 106), что спектральные серии других элементов выражаются более сложными формулами, и это легко объяснить. Когда вокруг ядра вращаются два электрона, то вопрос о их движении сводится к знаменитой в астрономии „задаче трех тел“, решение которой до сих пор не найдено. Когда число электронов больше двух, то о теоретическом исследовании их движений и речи быть не может. Впрочем, Зоммерфельду (Sommerfeld) удалось вывести предложенные эмпирические сериальные формулы, заменив выражение (26) для потенциальной энергии атома более сложную формулой.

На стр. 171 мы упомянули о работах Мозли. Повторим еще раз, что число электронов, вращающихся вокруг ядра атома, равно порядковому номеру элемента в периодической системе элементов.

Подведем итоги всего, что было сказано о модели атома, предложенной Резерфордом и о теории Бора.

I. Атом состоит из положительного ядра, вокруг которого вращаются электроны; число последних равняется порядковому номеру элемента. Элементы отличаются друг от друга только числом внешних (стр. 171) электронов. Таким образом, новое учение о строении атома раскрыло истинную сущность системы Менделеева (§ 8 главы четвертой, под № III).

II. Никакой особой „материи“ не существует. Существуют только два электричества, из которых соткан мир.

III. Теория Бора дала следующее:

1. Она объяснила, каким образом возникает видимая, ультрафиолетовая и, отчасти (см. ниже), инфракрасная лучистая энергия.

2. Она объяснила возникновение серий — спектральных серий.

3. Она дала точную величину постоянной Ридберга R , выразив ее через заряд e и массу m электрона и через постоянную Планка h .

4. Она объяснила почему $R(H)$ и $R(He)$ несколько отличаются друг от друга и с величайшей точностью определила их отношение.

Мы сейчас увидим, что этим дело далеко не ограничивается. Читатель найдет в следующем параграфе пятый пункт.

§ 8. Квантование. Объяснение Зоммерфельдом происхождения спутников спектральных линий. Формула (14) отбирает из всех мыслимых орбит те, которые фактически возможны, подвергая их радиусы определенному условию в котором наиболее характерным следует признать наличие величины $i\hbar$, где i целое число. Такое условие называется квантовым условием; установление такого условия называется квантованием, соответствующий глагол — квантовать. В данном случае мы, вводя условие (14), квантовали орбиты электрона, или, вернее говоря, так как орбита определяется одной величиной, а именно радиусом, мы квантовали радиус орбиты, что и дало возможные или, как еще говорят, дозволенные радиусы. Заметим, что каждому такому дозволенному радиусу соответствует определенный запас энергии системы, т.-е. атома; этот запас определяется формулой (27).

После 1913 года квантование проникло во все отделы физики, имеющие дело с атомными системами. Оно сделалось могущественным орудием при построении теорий самых разнообразных физических и даже химических явлений. Мы имеем здесь широкое обобщение того, что сделал Бор, вводя квантовое условие (14). Положим, что для всестороннего описания того состояния, в котором, в данный момент, находится атомная система, необходимо дать численные значения ряда независимых друг от друга величин A, B, C, D и т. д.; от этих же величин зависит запас энергии рассматриваемой системы. Теория квант или, лучше сказать, теория квантования исходит из следующего положения, которое имеет характер аксиомы:

Всякая атомная система может стационарно существовать только в некоторых определенных дозволённых состояниях, которым соответствуют определенные значения $A_1, A_2, A_3, \dots, B_1, B_2, B_3, \dots, C_1, C_2, C_3, \dots$ и т. д. тех независимых друг от друга величин A, B, C и т. д., которые необходимы, чтобы состояние системы всесторонне характеризовать. Различным возможным, стационарным состояниям системы соответствуют различные ее запасы энергии. Величины A, B, C и т. д., а также энергия системы могут меняться только скачками, которые надо себе представить совершающимися чрезвычайно быстро. Для определения стационарных состояний системы необходимо каждую из величин A, B, C и т. д. подвергнуть квантованию, т. е. написать для нее квантовое условие. Вильсон (Wilson) и Зоммерфельд, почти одновременно (1915) дали общее правило квантования. К сожалению, мы этого правила, избегая символы высшей математики, здесь привести не можем. Оно приводит к формулам вида

$$[A] = ih \dots \dots \dots (35)$$

где $[A]$ некоторое выражение, в которое входит величина A ; i целое число. Придавая числу i значения 1, 2, 3, 4 и т. д., мы получаем, по формуле (35), возможные значения величины A . Подобным же приемом определяются возможные значения для B, C и т. д. Состояние системы только тогда возможно, когда каждая из величин A, B, C и т. д. имеет какое-нибудь одно из возможных значений, т. е. удовлетворяющих соответствующему ему квантовому условию. Каждому из возможных состояний системы соответствует одно из возможных значений энергии системы. Если применить общее правило квантования, данное Вильсоном и Зоммерфельдом, к случаю движения одного электрона по круговой орбите, то получается как раз квантовое условие (14) и, таким образом, объясняется появление знаменателя 2.

В 1916 году появилась замечательная работа Зоммерфельда, представляющая развитие теории Бора; она, как

и теория Бора, относится к случаю движения одного электрона вокруг ядра. Значение работы Зоммерфельда заключается в том, что ему удалось вполне объяснить возникновение спутников спектральных линий (§ 4 главы четвертой, под № 12). Мы должны ограничиться намеком на тот путь, по которому шел Зоммерфельд. Прежде всего он предположил, что электрон может двигаться не только по круговым, но и по эллиптическим орбитам, как планеты вокруг солнца; закон действующих сил в обоих случаях один и тот же. Для того, чтобы описать нашу систему в данный момент, необходимо знать, по какому эллипсу происходит движение электрона. Эллипс вполне определяется двумя данными, например, большою полуосью и эксцентриситетом. Подвергая эти две величины квантованию, Зоммерфельд отбирает возможные (дозволенные, стационарные) эллиптические орбиты, большие полуоси и эксцентриситеты которых удовлетворяют двум квантовым условиям. Ограничиваемся указанием результата сложных вычислений. Оказывается следующее:

1. Все круговые орбиты Бора остаются возможными, но рядом с каждой из них существует еще некоторое число эллипсов, большая полуось которых у всех одна и та же равная радиусу круга. Рядом с i -тым кругом Бора оказываются возможными еще $(i-1)$ эллипс, так что i -тая орбита Бора заменяется i возможными орбитами, совокупность которых мы назовем группой орбит.

2. Всем i орбитам одной группы соответствует один и тот же запас энергии атома W_i . Отсюда получается важное следствие: потерянная энергия $W_k - W_i$ одна и та же, если электрон проскакивает от любой орбиты k -той группы на любую орбиту i -той группы, а отсюда следует, см. (17) и (18), что всем этим перескокам соответствует одна и та же спектральная линия. Новая теория как будто ничего нового не дала: число и распределение спектральных линий осталось без изменения. Изменилось только число возможностей возникновения данной спектральной линии, которая оказывается состоящей из целого ряда линий, как бы наложенных друг на друга. Тот факт, что всем орбитам одной группы соответствует одна и та же энергия, мы будем выражать

словами: всем этим орбитам соответствует один и тот же уровень энергии.

Однако, Зоммерфельд на этом не остановился; он пошел гораздо дальше. В § 8 главы четвертой под № II мы указали, как факт, подтвержденный опытом, что масса m тела зависит от его скорости v и привели формулу

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots \dots \dots (36)$$

где m_0 масса при $v=0$ и c скорость света. Электрон движется со скоростью, которая не ничтожно мала сравнительно со скоростью c света. Эта скорость меняется при движении по эллипсу; она наибольшая в перигелии, наименьшая в афелии. Зоммерфельд исследовал движение электрона вокруг ядра атома, когда масса электрона меняется во время движения согласно формуле (36). Не входя в подробности, мы скажем, что эллиптические орбиты подвергаются некоторому, хотя и небольшому, изменению, они искажаются. Это искажение неодинаковое для орбит одной и той же группы. Вместе с тем меняется и величина энергии атома, соответствующей данной орбите, и это изменение энергии оказывается неодинаковым для различных орбит одной и той же группы; иначе говоря, этим орбитам соответствуют не вполне одинаковые уровни энергии. Отсюда следует, что величина потерянной энергии зависит не только от тех двух групп (k -той и i -той), между которыми электрон перескакивает, но также от того, на которой из орбит k -той группы электрон находился, и на которую из орбит i -той группы он переходит. Отсюда следует, см. (17) и (18), что различным возможным переходам электрона от орбит k -той группы к орбитам i -той группы соответствуют не вполне одинаковые ν и n , т.е. не вполне одинаково расположенные спектральные линии. Вместо одной линии получают несколько линий и в этом заключается объяснение возникновения загадочных спутников спектральных линий.

Зоммерфельд мог, на основании своей теории, определить число спутников и расстояние их друг от друга для спектральных линий водорода и гелия. Оказалось,

во-первых, полнейшее согласие с действительностью для тех линий, спутники которых уже были известны. Во-вторых, Зоммерфельд предсказал число и расположение спутников для некоторых еще не изученных линий гелия; Исследование Пашена (Paschen) подтвердило совершенную правильность этого предсказания.

К четырем пунктам, приведенным в конце предыдущего параграфа, мы теперь прибавим пятый:

5. Теория Бора, развитая Зоммерфельдом, объяснила происхождение спутников спектральных линий.

§ 9. **Строение атома (продолжение).** На почве тех работ, которые были рассмотрены в предыдущих трех параграфах, выросла обширная глава физики. Достаточно указать, что в книге Зоммерфельда „Строение атома и спектральные линии“ (3-е издание, 1922 года) имеются 764 страницы. Но, повторяем — в который уже раз! — мы не пишем ни истории физики, ни учебника; для нас вполне достаточно указания на те факты, в которых с особой ясностью выступает специфический характер новой и новейшей физики. Поэтому мы можем ограничиться суммарным перечнем некоторых, для нашей цели важных вопросов.

1. В атомах с одним электроном (H , He) мы полагали, что атом находится в наиболее устойчивом состоянии, когда электрон движется по первой, ближайшей к ядру, орбите. Испускание лучистой энергии происходит, когда электрон перескакивает от какой-либо k -той орбиты к i -той, более близкой к ядру ($k > i$), при чем энергия атома уменьшается. В частном случае k равно бесконечности, когда электрон, находящийся вне пределов атома, сразу переходит на i -тую орбиту. Спрашивается, однако, каким образом электрон мог очутиться на k -той орбите или даже вне атома? Так как энергия атома увеличивается, когда электрон переходит от i -той орбиты к k -той ($k > i$), в крайнем случае от первой „в бесконечность“, то ясно, что рассматриваемые переходы могут происходить только, когда атом поглощает энергию. Сюда относится случай, когда атом поглощает лучистую энергию, извне на него падающую. Более важен случай, когда атом подвергается механическому воздействию, подобному удару, со стороны пролетающего

через него постороннего электрона. Когда электрон атома перебрасывается от одной орбиты на другую, более удаленную от ядра, то мы говорим, что атом подвергся возбуждению (или раздражению), которое как бы подготовило его к акту лучеиспускания. Вылетание электрона за пределы атома соответствует ионизации атома.

II. До сих пор мы говорили только о случае, когда в атоме находится один электрон, т.-е. об атомах водорода и ионизированного гелия. Перейдем к случаю, когда число электронов равно — двум, трем и т. д. до девяносто двух. Тут являются такие вопросы: 1. По каким орбитам движутся электроны? 2. Как эти орбиты расположены? 3. Какая существует группировка электронов? Добавим еще вопрос: 4. Как устроена молекула, хотя бы в самом простом случае двуатомной молекулы водорода?

Относительно всех этих вопросов скажем откровенно: Наука сейчас (конец 1923 года) ни на один из этих вопросов не может дать отчетливого и понятного ответа. И, несмотря на это, на почве приведенных вопросов вырос обширный отдел физики, приведший к поразительным результатам, к весьма ценным научным достижениям. Рассмотрим эти вопросы. Бор предполагал, что все электроны движутся по круговым орбитам, при чем на одной орбите могут находиться, на равных друг от друга расстояниях, две, три, четыре и т. д., например, до восьми электронов. Стали говорить об электронных кольцах; полагали, что все кольца лежат в одной плоскости. Распределение электронов по кольцам и составляет их разделение на группы. Относительно устройства молекулы водорода существовала определенная гипотеза, но от нее пришлось отказаться. Все электроны атома, обращающиеся вокруг ядра, разделяются на внутренние и внешние (на стр. 170 эти термины имели другой смысл). Внутренние распределены по кольцам, наружные — по отдельным орбитам. От наружных электронов зависят химические свойства элемента. Число их равно валентности элемента. Их перескоки вызывают испускание лучистой энергии в области инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой частей спектра. Кольца могут быть насыщены и

ненасыщены; в первом случае кольцо содержит максимальное возможное число электронов (например, восемь).

От многого, но не от всего, что здесь изложено, пришлось отказаться. Теперь принимают, что орбиты электронов не расположены в одной плоскости, что распределение электронов, в каждый момент, пространственное; они окружают ядро со всех сторон. Далее пришлось отказаться от мысли о движении нескольких электронов по одной и той же орбите, т.-е. от электронных колец. Теперь огромную роль играет группировка электронов на слои (по-немецки *Schalen*;) к ним мы еще возвратимся. О распределении орбит в пространстве ничего окончательно неизвестно. Даже простейший, после водорода, случай атома гелия не решен, хотя и было предложено немалое число гипотез, относящихся к движению тех двух электронов, которые находятся в этом атоме.

III. Явление *Земана* (нормальное) и явление *Штарка* (§ 5 и § 6 главы четвертой под № 16 и 26) удалось объяснить, основываясь на том, что магнитное и электрическое поля должны исказить орбиты электронов. Это искажение неодинаковое для орбит одной группы, т.-е. одного уровня энергии, а это должно привести к расщеплению спектральной линии, как в теории спутников, развитой *Зоммерфельдом*. Заметим, что когда в атоме существует определенное направление, хотя бы и предначертанное внешними условиями, например, направление магнитного или электрического поля, то плоскость орбиты составляет некоторый угол φ с этим направлением. Этот угол принадлежит к тем величинам *A*, *B*, *C* и т. д., которые служат для описания системы, а поэтому угол φ должен подвергаться квантованию. Лишь определенные значения угла φ , удовлетворяющие квантовым условиям, дают возможные (стационарные) орбиты.

В атомах, содержащих более двух электронов, должны существовать внутренние (интраатомные) электрические и магнитные поля, влияющие на орбиты внешнего электрона. Этим объясняется „расщепление“ серии *Бальмера* на ряд серий в спектрах различных элементов.

IV. Электронные слои. На теории *Бора* было построено учение о спектрах видимых, ультрафиолетовых и

инфракрасных лучей. Мы на этом учении не останавливаемся. Заметим только, что оно видит источник этих спектров в перескоках с одной орбиты на другую тех электронов, которые принадлежат наружному слою, иногда называемому периферическим. От них зависят, как мы видели, химические свойства элементов, а также другие свойства, обнаруживающие периодичность, если идти в ряду возрастающих порядковых чисел элементов. Число электронных слоев может быть довольно значительным в атомах элементов с большим порядковым числом. Каждый из слоев насыщен, когда в нем находится определенное, характерное для него число электронов. Ближайший к ядру слой содержит два электрона, второй — восемь, третий — восемь электронов и т. д. Переход от одного элемента к следующему в системе Менделеева сводится к добавлению одного электрона к внешнему слою, хотя бывают случаи, когда один из внутренних слоев как бы достраивается. Затем наружный слой может содержать 1, 2, 3 и т. д. до 8 электронов, и от этого числа зависят химические свойства элемента. Когда наружный слой насыщен, мы имеем химически недействующий элемент; сюда относятся благородные газы. Начинается постройка нового слоя и повторение химических свойств элементов. В этом заключается истинный смысл периодической системы Менделеева.

Все это приводит к представлению, что внутренние электронные слои, в особенности ближайшие к ядру, одинаковы для всех элементов с большим порядковым числом. Отсюда следует, что все те явления, которые зависят от изменений, возникающих во внутренних электронных слоях, должны происходить для всех элементов более или менее одинаково и никакой периодичности в этих явлениях обнаруживаться не должно.

Чрезвычайно важно, но и странно следующее обстоятельство: приходится допустить, что в каждом слое существует несколько уровней энергии. В случае каких-либо перемещений электронов во внутренних слоях, важно знать не только те слои, но и те уровни энергии, между которыми совершился переход электрона.

Внутренние слои, начиная от ближайшего к ядру, получили по причинам, которые сейчас будут указаны, названия *K, L, M, N, O*—слоев. Из них слой *K* имеет только один уровень энергии, слой *L*—три уровня, слой *M*—пять, слой *N*—семь уровней. Существование этих уровней энергии не подлежит никакому сомнению; они, путем опыта, могут быть точно определены. Число уровней в слоях *O* и т. д. еще нельзя считать окончательно установленным.

Много важных достижений, много славных побед дало науке то широко развившееся учение, некоторые из основных черт которого нами здесь были намечены. Приведем один пример такой победы, и притом из самого последнего времени. В периодической системе элементов стоял до 1923 года под № 72 элемент лутеций II из группы редких земель. Однако, присутствие такого элемента в этом месте не могло быть согласовано с тою схемою последовательного построения слоев, о которой выше было сказано. Этот элемент составлял какое-то исключение, так как, согласно схеме, следовало ожидать под № 72 элемент группы IV *a*, т. е. аналог циркония. И вот в 1923 году был открыт новый элемент, гафний, несомненно, имеющий порядковый номер 72; настолько по химическим свойствам близкий к цирконию, что вполне отделить эти два элемента, встречающиеся в природе вместе, почти невозможно. Элемента лутеций II вовсе не существует.

V. Спектр рентгеновых лучей. Когда электроны катодного луча налетают на антикатод с достаточною скоростью, то возникают так называемые характеристичные рентгеновы лучи, дающие рентгеновый спектр того элемента, который находится на антикатоде. Этот линейный спектр, по числу и расположению линий, один и тот же для всех элементов, но вся совокупность линий с величайшею правильностью передвигается по направлению к более длинным волнам, когда, начиная от урана, переходить от одного элемента к следующему в порядке уменьшающихся порядковых чисел. Ни о какой периодичности здесь и речи быть не может. Рентгеновый спектр состоит из нескольких групп линий, которые обозначаются буквами *K, L, M*. Группа *K* состоит из лучей с наиболее

короткими длинами волн (лучи наиболее жесткие); число линий в этой группе около десяти. Группа *L* расположена ближе к лучам ультрафиолетовым, чем группа *K* (лучи мягче); в ее состав входят около 16 линий. Наконец, группа *M* соответствует еще бoльшим длинам волн (лучи еще мягче); в ней открыто 6 линий. Изотопы имеют вполне тождественные спектры.

Тождество рентгеновых спектров для всех элементов показывает, что характеристичные лучи возникают в тех электронных слоях, которые в атомах всех элементов одинаково устроены, т.-е. в слоях, ближайших к ядру, которые мы назвали слоями *K*, *L*, *M* и т. д. В них возникают, соответственно, группы *K*, *L*, *M* и т. д. рентгеновых лучей. Мы видели, что в этих слоях существуют 1, 3, 5, 7 и т. д. уровней энергии. Когда электрон катодного луча с достаточной скоростью (энергией) врывается в атом, то он может вырвать электрон из одного из внутренних слоев и притом от одного из существующих в этом слое уровней энергии. Так как все слои, кроме последнего, насыщены, то этот электрон может остановиться в наружном слое, если этот слой ненасыщен, или он должен вылететь за пределы атома. На освободившееся место переходит какой-либо электрон от одного из „выше“ (дальше от ядра) лежащих уровней энергии. При этом испускается рентгеновый луч, кванта $h\nu$ которого равна разности энергий двух уровней, между которыми имел место переход электрона.

Благодаря работам Зоммерфельда и других ученых, можно в настоящее время считать систематику рентгеновых лучей групп *K*, *L* и *M* более или менее законченной. Это значит, что для всех линий этих трех групп можно указать те два уровня энергии, между которыми перескакивает возбуждающий их электрон. Характеристикой уровня энергии может служить длина волны λ того луча, который испускается при переходе электрона, находящегося вне пределов атома, на рассматриваемый уровень. Существуют два способа определения уровней; они дают согласные между собой результаты; ныне все те уровни, которые играют роль при возникновении лучей *K*, *L* и *M*, хорошо известны. Заметим, что

один из этих способов дает возможность эти уровни, если можно так выразиться, непосредственно видеть, так как соответствующие им λ определяются резким краем полос поглощения сплошного рентгенова спектра в пластинке из рассматриваемого элемента. Пользуясь тем, что $h\nu$ равно разности энергий двух уровней, можно было по рентгеновым спектрам определить величину h , при чем получилось ее действительное, уже известное нам численное значение.

Характеристичные рентгеновы лучи частоты ν могут быть возбуждены также и рентгеновыми лучами. Для частоты последних мы должны иметь величину $\nu' \geq \nu$, так как кванта $h\nu'$ должна быть больше кванты $h\nu$ (см. § 5 этой главы под № III).

VI. Заключение. Мы, конечно, далеко не исчерпали всех случаев приложения теории квант. К неупомянутым нами принадлежит, например, интересный случай квантования угловой скорости вращающихся молекул; он играет главную роль в теории полосатых спектров испускания и таких же спектров поглощения, расположенных в области инфракрасных лучей.

Обозревая все то, что было изложено в этой главе, начиная с § 4, мы видим блестящую картину великих побед теории квант вообще и теории Бора в частности. Тут мы встретились со случаями удивительно простого объяснения загадочных явлений и с предсказаниями новых явлений. По стройности и законченности во многих направлениях, этот новый отдел физики почти не имеет себе подобных. И, тем не менее, остается великая неудовлетворенность, которую читатель не мог не чувствовать. Источник этой неудовлетворенности кроется в тех особенностях нового духа физики, выяснению которого посвящена наша книга. К этой теме мы возвратимся ниже.

§ 10. Теория относительности. Сомнительно, чтобы за всю историю человечества какое-либо научное достижение вызвало столь глубокий и, что особенно замечательно, столь продолжительный интерес в широких и разнообразных слоях культурных народов, как теория относительности, созданная Эйнштейном в 1905 и 1915 годах. Правда, открытие новых лучей Рентгеном в 1905 году вызвало

как бы взрыв всеобщего интереса, но любознательность широкой публики, в данном случае, легко была удовлетворена; все очень скоро как бы привыкли к новому открытию и перестали им интересоваться. Всесторонний анализ психологических причин того огромного впечатления, которое эти два научных события произвели на широкие массы неспециалистов по физике, а также выяснение причин столь различной продолжительности вызванного интереса, представили бы весьма любопытную и занимательную тему, для развития которой здесь, однако, не место,

Вся работа Эйнштейна распадается, исторически, на две части. Первая часть (1905 г.) дала то, что ныне называется специальным принципом относительности. Вторая часть, над которой Эйнштейн работал в течение десяти лет, приняла ясные формы в 1915 году; она дает нам так называемый общий принцип относительности. Уже первая часть произвела глубокий переворот почти во всех отделах физики. Она совершенно изменила ту механику Ньютона, которая господствовала в течение двух столетий; пришлось даже отказаться от основных положений этой механики, выраженных знаменитыми тремя законами движения (*leges motus*). Она совершенно преобразовала понятие о форме и размерах тел и, в особенности, о времени. Она заставила нас отказаться даже от многих элементарнейших представлений, к которым мы привыкли с того момента, как мы научились говорить. Изменились понятия о скорости, массе и силе; оказались неверными такие элементарные вещи, как, например, закон сложения скоростей. Но еще радикальнее влияние второй части работы Эйнштейна, т.-е. общего принципа относительности. Эта часть существенно повлияла на наше миропонимание; она должна нам дать разгадку тайны мирового пространства и тайны всемирного тяготения; она заменила геометрию Эвклида другой геометрией, которая оказалась отделом физики.

Изучение новой науки Эйнштейна представляет огромные, не только идейные, но, если можно так выразиться, еще и технические трудности. Последние являются следствием того, что в теории Эйнштейна широко применяется такой отдел математики, с которым специалистам по физике никогда не приходилось встречаться. Без этой мате-

матики невозможно понять тех мыслей и выводов, на которых построено новое учение. С уверенностью можно сказать что это учение не скоро сделается достоянием широких народных масс, даже если удастся, избегнув применения математики, представить его в простом удобопонятном виде. Причина делается понятной, если сравнить научный переворот, вызванный переходом от системы Птолемея к системе Коперника, с тем переворотом, который вызван появлением общей теории относительности. В первом случае разница между старым и новым оказалась громадной не только по существу основных идей или воззрений, но и по осязательности результатов. Кроме того, переход от старых идей к новым был сравнительно прост, так что задача вдуматься в новое и мыслить и рассуждать по новому не представляла чрезмерных затруднений. Современный же переворот характерен тем, что разница между новым и старым, громадная в области отвлеченного мышления, совершенно не осязательна на практике. Дело в том что количественные изменения, вводимые новым учением в численные значения всевозможных физических величин, зависят от отношения $v:c$ или, чаще, $v^2:c^2$, где v скорость тела, c скорость света. Вводимые новой теорией количественные изменения так ничтожно малы, что лишь в весьма редких и совершенно исключительных случаях они могут быть обнаружены путем опыта, а потому практически все остается по старому. Старая механика Ньютона разрушена, так как от ее основных положений пришлось отказаться. Но, при обычных условиях, изменения оказываются незаметно малыми, так что практически она остается неизменной; астрономы, инженеры, архитекторы и т. д. никогда не перестанут ею пользоваться, как безошибочной основой своих рассуждений и вычислений. Впрочем, для астрономии, когда она занимается вопросами, относящимися к миру неподвижных звезд и туманных пятен, или вообще вопросами космологического характера, новые идеи о пространстве и о времени должны иметь первостепенное значение. В области физических явлений только электроны обладают скоростями, соизмеримыми со скоростью света, и даже близкие к ней; здесь новое учение предсказывает результаты, весьма существенно отличающиеся от того, что можно ожи-

дать на основании старой механики Ньютона. Однако, истинное значение всякого рода новых мыслей вовсе не определяется только теми практически осязательными результатами, к которым оно приводит. Если эти мысли верны, если в них отражается реально существующее, то они должны представить огромный интерес для всякого, кому дорог прогресс понимания окружающего нас мира, как бы ни были отвлечены новые завоевания человеческой мысли и мало, или даже вовсе не осязательны их чисто практические результаты.

Само собой разумеется, что здесь не может быть и речи об изложении теории относительности. Отсылаем читателей к многочисленным оригинальным и переводным русским книгам, посвященным этой теории (см., например, мою книгу „Теория относительности А. Эйнштейна и новое миропонимание“, изд. М. и С. Сабашниковых, 3-е изд., Петроград, 1923). Мы должны ограничиться простым перечнем важнейших положений этой теории и некоторых из ее результатов.

А. Специальная теория относительности.

I. Не существует и невозможно себе представить ни абсолютного покоя тела, ни абсолютного его движения. Покой и движение тела могут быть только относительно других тел.

II. Постулат первый. Вселенная так устроена, что никакими наблюдениями, произведенными в произвольной системе, например, на земле, нельзя обнаружить прямолинейного и равномерного движения этой системы, и, тем более, определить скорость этого движения.

III. Постулат второй, тесно связанный с первым, так что некоторые ученые считают его за простое следствие первого. Второй постулат гласит: при каких условиях ни измерялась бы скорость света в системах, относительное движение которых прямолинейно и равномерно, для нее всегда получается одна и та же величина c (в пустоте).

IV. Никакого абсолютного, мирового времени не существует. Каждая из двух, движущихся друг относительно друга систем имеет свое, присущее ему течение времени. Одному и тому же моменту времени одной системы

соответствуют различные моменты времени другой. Два события, происходящие одновременно для одной системы, происходят неодновременно в другой. Если из двух событий первое происходит для одной системы раньше второго, то может случиться, что для другой системы первое событие происходит позже второго. Но этого не может случиться, когда два события представляются как причина и следствие. Продолжительность одного и того же явления, во всяком случае, неодинаковая для двух рассматриваемых систем. Итак, одновременность, продолжительность и последовательность событий, „раньше“ и „позже“, суть понятия относительные.

V. Форма и размер тел суть понятия относительные. Размер тела, взятый по направлению относительного движения двух систем, оказывается для системы, в которой тело движется, меньше чем для системы, в которой оно покоится. Шар, покоящийся в одной системе, представляется для другой системы эллипсоидом.

VI. Скорость света есть предел возможной относительной скорости. Он не может быть достигнут.

VII. Если масса тела равна m_0 в системе, в которой оно покоится, то в системе, относительно которой оно движется со скоростью v , его масса равна

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

где c скорость света.

VIII. Энергия E обладает массой, которая равна $E:c^2$. Всякая масса m тождественна с запасом энергии c^2m .

IX. Механика Ньютона верна только при таких относительных скоростях тел, которые малы сравнительно со скоростью света.

B. Общая теория относительности.

X. Общий принцип относительности. Постулат. Вселенная так устроена, что должно оказаться возможным выразить законы всех физических явлений в такой форме, чтобы они были справедливы для всех систем, каково бы ни было их относительное движение.

XI. Доказано, что инертная масса равна весовой массе. Это значит, что в формуле $f = mw$ ¹⁾, где f сила, w ускорение тела, и в формуле всемирного тяготения $f = C \frac{mM}{r^2}$, масса m одна и та же. Отсюда следует, что наблюдатель, находящийся в какой-либо системе, не может решить вопроса о том, действует ли в этой системе сила тяготения в некотором направлении, или вся система движется ускоренно в направлении противоположном. Это так называемый принцип эквивалентности.

XII. То, что мы называем инерцией, не должно быть объяснено каким-то стремлением, сопротивлением и т. п., которые, якобы, обнаруживают мертвые тела при определенных условиях. Инерция вызывается совокупностью космических масс и зависит исключительно только от покоя или движения тел относительно этих далеких масс. Это относится и к центробежной силе, которая также вызывается космическими массами, относительно которых данное тело вращается, а не каким-то абсолютным вращением в абсолютном пространстве; те же далекие массы вызывают сплющивание вращающегося тела. Если бы во вселенной существовало только одно тело, то ни о каком движении по инерции, ни о каком вращении и ни о какой центробежной силе не могло быть и речи.

XIII. Пространство вселенной не есть пространство геометрии Эвклида. Оно не бесконечно; оно обладает особой внутренней структурой, благодаря которой оно имеет внутреннюю кривизну, аналогичную кривизне окружности, или кривизне поверхности шара. Оно замкнуто в самом себе, подобно окружности и поверхности шара. Оно имеет свою геометрию, отличную от геометрии Эвклида, подобно тому, как поверхность шара имеет свою геометрию, отличную от геометрии на плоскости. Но малый участок поверхности шара (одна десятая на поверхности Земли) можно считать плоским, и на нем отступления от геометрии на плоскости незаметны; например, сумма углов треугольника незаметно отличается от двух прямых, между тем как на поверхности

¹⁾ Точнее, $f = \frac{\partial}{\partial t} (mv)$, где t время, v скорость тела.

шара эта сумма всегда больше двух прямых. Аналогично, мы можем малые участки пространства считать за пространство Эвклида, к которому приложима его геометрия. Вблизи больших космических масс структура пространства резче выражена, внутренняя кривизна больше и отступления от геометрии Эвклида значительнее, чем вдали от таких масс.

XIV. Структура пространства, в каждой его точке, определяется совокупностью космических масс, или, точнее говоря, тем „гравитационным полем“, которое в данной точке вызывается этими массами. От этой структуры зависят те физические явления, которые происходят в данном месте пространства.

XV. От структуры пространства в данном его участке зависит геометрия, господствующая в этом участке. Отсюда следует, что отдаленные космические массы, создающие структуру пространства в каждом его участке, создают и геометрию в этом участке, а отсюда следует, что геометрия есть часть физики! Так, например, сумма углов треугольника зависит от тех чисто физических условий, при которых находится этот треугольник, т.-е. от той части пространства, в которой он расположен. При другом распределении космических масс мы, в том же участке пространства, имели бы другую структуру, и мы нашли бы детали физических явлений несколько измененными и, в том числе, несколько измененную геометрию.

XVI. Геометрические размеры тела зависят от структуры того участка мирового пространства, в котором это тело находится. В таких участках, в которых эта структура анизотропна, т.-е. неодинакова в различных направлениях, размеры тела зависят от его положения. Такой случай мы имеем близ поверхности больших тел, например, солнца. Если на поверхности солнца установить стержень вертикально, то его длина окажется меньше длины того же стержня, расположенного горизонтально.

XVII. Отдаленные космические массы, создающие структуру, а вместе с нею и геометрию во всех участках пространства, определяют также и быстроту течения времени. Вблизи больших масс время течет медленнее, чем на Земле,

Это надо так понимать. Положим, что на земной поверхности происходит определенное физическое явление при точном задании всех условий, от которых зависит течение этого явления. К таким величинам могут, например, относиться температура, давление, действующие силы, состав и масса тел, участвующих в этом явлении, устройство прибора, в котором оно происходит и т. д. Простой пример представляют пружинные часы какого-либо устройства; под „явлением“ мы будем подразумевать вращение секундной стрелки на один полный оборот; продолжительность его равна одной минуте. Теперь представим себе, что совершенно такие же часы находятся на солнце и что каким-нибудь образом удалось создать для них условия, во всех отношениях одинаковые с теми, при которых находятся часы на земной поверхности, т. е. например, одинаковую температуру, давление, состав окружающего газа и т. д.; единственным отличием остается то, что на солнце гравитационное поле, а следовательно, и структура (кривизна) пространства иные, чем на Земле. Тогда окажется, что секундная стрелка на солнце вращается медленнее, чем на Земле. Это значит, что если бы наблюдатель на Земле мог видеть часы, находящиеся на солнце, то он заметил бы, что эти часы отстают от тех, которые находятся рядом с ним на Земле. Положим, что те и другие часы соединены с таким механизмом, который испускает световой сигнал каждый раз, когда секундная стрелка оканчивает полный круг. Тогда наблюдатель на Земле найдет, что сигналы, идущие от солнца, медленнее следуют один за другим, чем сигналы, испускаемые часами на Земле. Период явления на солнце больше, чем на Земле.

Заменим часы атомом, испускающим лучи определенной частоты колебаний. Отдельные колебания представляют то периодическое явление, которое в этом случае заменяет периодические световые сигналы, идущие от часов. Период на солнце больше, чем на Земле; отсюда следует, что частота колебаний должна быть меньше. Спектральная линия должна сместиться к красному концу спектра. Это смещение, как оказывается, весьма мало, и пока еще не удалось с достоверностью обнаружить его на солнце. Существует еще другой способ доказать необходимость такого смещения спектральной линии; он основан на применении того прин-

ципа эквивалентности, о котором было сказано несколько выше под № XI.

XVIII. Орбита Меркурия вращается в своей плоскости на $574''$ (угловых) в сто лет. Но теория (небесная механика) показывает, что вращение, вызванное действием остальных планет, должно равняться только $532''$ в сто лет. Добавочное вращение в $42''$ в сто лет оставалось необъяснимым. Теория Эйнштейна показывает, что благодаря заметно измененной, вблизи солнца, структуре пространства должно иметь место вращение орбиты Меркурия как раз в размере приблизительно $42''$ в сто лет.

XIX. Луч света, проходящий мимо большого тела, недалеко от его поверхности, должен, благодаря изменению структуры пространства, претерпеть некоторое изменение направления, в котором он распространяется. Вследствие этого, звезды, близкие, к диску солнца, и видимые при полном солнечном затмении, должны казаться смещенными по направлению от центра солнечного диска. Это смещение должно быть обратно пропорционально угловому расстоянию звезды от центра солнца; наибольшее смещение, у самого края солнечного диска, должно равняться $1,7''$. Это связано с тем, что скорость света уменьшается по мере приближения к телу, масса которого весьма велика. Наблюдения, произведенные во время полного солнечного затмения 29 мая 1919 года, дали результат, вполне согласный с предсказанием теории Эйнштейна. К сожалению, новые наблюдения (1923 года) не привели к вполне отчетливым результатам.

XX. Если мировое пространство замкнуто в самом себе, то луч света, исходящий, например, от звезды, должен, пройдя всю вселенную, возвратиться к тому месту, от которого он вышел, при условии, конечно, чтобы он не был поглощен и не был отклонен, проходя близ поверхности каких-либо других светил. Примерное вычисление показывает, что луч пройдет весь путь в течение времени порядка двухсот миллионов лет. Так как сказанное относится ко всем лучам, испускаемым звездой, то на том месте, где когда-то находилась звезда, должно образоваться, как в фокусе, изображение звезды, от которого лучи вновь должны разойтись во все стороны. Наблюдатель на Земле должен в этом фокусе увидеть звезду, хотя в нем, конечно,

никакой звезды нет. Такие звезды называют фантомами. Некоторые астрономы весьма заинтересовались мыслью о таких фантомах.

XXI. Мировое пространство не трех-, но четырехмерное; четвертым измерением служит время. К этому четырехмерному пространству относится тот постулат, который приведен под № X. В четырехмерном пространстве тела движутся по кратчайшим (геодезическим) линиям. Это движение становится на место прямолинейного, равномерного движения „по инерции“ старой механики. Орбиты планет суть проекции на трехмерное пространство тех геодезических линий, по которым планеты движутся в пространстве четырехмерном.

XXII. Эйнштейн дал теорию всемирного тяготения. В частном случае, его формулы приводят к закону всемирного тяготения Ньютона.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

Итоги. Прогресс.

Последние три главы представляли как бы один, почти непрерывный гимн во славу новой физики, и лишь в двух или трех местах прозвучали дисгармонические аккорды, оставшиеся без того разрешения, которого ждет ухо во всяком музыкальном произведении. В этой главе мы подведем итоги всего, что в новой физике есть великого и славного, всех блестящих страниц ее истории, которыми она воистину имеет право гордиться. Мы теперь можем ограничиться простым перечнем новых научных достижений. Мы еще раз заставим как бы продефилировать перед нами результаты пятидесятилетней научной творческой работы, не сопровождая их хвалебными возгласами, в которых они не нуждаются. За них достаточно говорят предыдущие три главы. Мы включаем в этот простой перечень лишь наиболее выдающееся.

I. Развитие экспериментального искусства и увеличение точности измерений.

II. Новые факты. Лучи Герца, лучи Рентгена, явление Земана, явление Штарка, явления радиоактивные, изотопы, распад атома самопроизвольный и искусственный, давление лучистой энергии, закономерности в спектрах, сверхпроводники, ожижение всех газов.

III. Переход гипотез в факты. Атомная гипотеза, молекулярно-кинетическая гипотеза (явление Брауна), гипотеза о строении кристаллов.

IV. Углубление понимания. Второе начало и вероятность (Больцман, Джибс). Периодическая система Менделеева; значение порядкового числа элемента; связь

между группами и электронными слоями в атоме. Механика Ньютона, как частный случай более общей и более сложной механики. Слияние принципов сохранения масс и принципа сохранения энергии; отождествление массы и энергии. Переход от изучения строения молекулы к изучению строения атома. Теплоемкость, как результат связи между тепловыми и световыми вибраторами. Тепловые движения, как упругие колебания.

V. Новые гипотезы и теории. Уравнения Максвелла и электромагнитная теория света. Электронная теория. Теория излучения абсолютно черного тела (Планк). Теория квант энергии и постоянная h Планка. Теория Бора и Зоммерфельда. Некоторые из наиболее поразительных результатов: теоретическое определение численного значения постоянной Ридберга; объяснение неодинаковости этих значений для водорода и гелия; объяснение странных законов фотоэлектрических явлений; объяснение спутников спектральных линий; объяснение возникновения серий спектральных линий; систематика спектров рентгеновых лучей; предсказание щелочно-земельного характера элемента № 72, (гафний) и т. д.

VI. Постепенное вытеснение антропоморфизма. Слияние отделов физики. Возникновение отделов физики происходило в зависимости от антропоморфных, субъективных побуждений, в зависимости от соответствующих органов чувств. Орган зрения дал учение о свете, орган слуха — учение о звуке, орган осязания — учение о теплоте. На место субъективных впечатлений стали объективные данные. Учения о световых и об электромагнитных явлениях слились в один отдел физики. То же самое относится к учениям о тепловых и об акустических колебаниях. Для молекулярной физики все более и более выясняется связь с явлениями электрическими и магнитными. Электронная теория и теория квант, проникая во все отделы физики, являются связующим их звеном. Постоянная Планка h и газовая постоянная R появляются во всех отделах физика. Из них первая при квантованиях; вторая, появившаяся в учении о газах, распространилась по всей физике вследствие того, что постоянная k Больцмана, связывающая мировое второе начало термодинамики с учением о вероят-

ности, равняется $R:N$, где N число Авогадро, т.-е. число частиц в грамм-молекуле любого вещества. Величины h и k завоевывают и объединяют все отделы физики.

VII. Новое миропонимание. Оно складывается из следующих частей:

1. Число первичных агентов, из которых соткан мир, не равно числу химических элементов (92) плюс два электричества, плюс эфир, т.-е. не равно 95, но всего только двум. Эфир остается пока под большим сомнением; весьма многие ученые безусловно отрицают его существование. Переход от 95-ти первичных, существенно различных агентов к 2-м или даже 3-м представляет грандиозное упрощение миропонимания.

2. Законы и правила, которым подчиняются физические явления, следует понимать как законы и правила статистические. Это является следствием молекулярного строения вещества, громадности числа частиц или электронов в не слишком малом объеме. К небольшому числу частиц законы и правила неприменимы.

3. Основую миропонимания должна служить не механика, т.-е. учение о силах и о движении, но учение о явлениях электромагнитных. Безнадёжно, ибо невозможно объяснить последние на основах механики; наоборот, механику следует строить на основах теории электромагнитных явлений.

4. Атомы не суть последние „кирпичи мироздания“. Они подвергаются распаду, и притом как самопроизвольному в явлениях радиоактивных, так и искусственному в опытах Резерфорда.

5. Один и тот же элемент может существовать в нескольких видах. Существуют по два вида хлора, калия, никкеля, брома, рубидия, аргона и т. д., три вида магния, по шести видов криптона и ртути и т. д. Атомные веса этих разновидностей суть целые числа.

6. В явлениях физических играет исключительно важную роль постоянная h Планка, элементарное количество „действия“ (энергия, помноженная на время). На этом основан тот новый метод анализа явлений, который называется квантованием. В тесной связи с этим находятся кванты лучи-

стой энергии, наличие которых ясно выступает во всех явлениях, в которых эта энергия возникает или участвует.

7. Теория относительности стремится существенно повлиять на наше миропонимание. Не повторяем того, что было изложено в 22-х пунктах § 10 предыдущей главы.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ.

Итоги. Регресс.

§ 1. Знание и понимание. Мы многократно пользовались картиной театра, говорили об открытой перед нами сцене и об области закулисной. На сцене происходят перед нами, как установленные факты, физические явления с их качественными характеристиками и количественными соотношениями, выражающими правила и законы, которым эти явления подчиняются. Это те кирпичи и камни, из которых надлежит построить здание науки. Открытая сцена — это область знания. Несказанно расширилась эта область, увеличилось число фактов, нагромождены новые кирпичи и камни на этой открытой сцене, благодаря пятидесятилетней работе ученых.

В закулисной области скрыты недоступные нашему непосредственному наблюдению первоисточники тех фактов, о которых мы знаем. Задача науки — познать эти первоисточники и таким путем дойти до завершения здания науки, на фронтоне которого написано одно только слово „понимание“. Этим словом выражена заветная цель науки.

Понимание стоит беспредельно выше знания. Непосредственно получится мало пользы, если удвоить, утроить, удесятерить число кирпичей и камней. Одно только можно сказать: явится надежда, что здание, для которого они предназначены, можно будет построить более обширного размера, более блестящим своей красотой и с лучшей внутренней отделкой. Если увеличение знания сопровождается уменьшением понимания, то в этом нельзя не видеть признака регресса.

Мы в дальнейшем много будем говорить о „непонятном“, и мы должны, прежде всего, точно указать тот смысл, который мы будем придавать этому термину. Он может относиться либо к фактам на открытой сцене, либо к гипотезам о закулисных первоисточниках этих фактов. Что касается первого, то совершенно ясно, что новая физика ничем не отличается от старой. И пятьдесят лет тому назад лишь определенная часть известных в то время фактов была (или казалась!) понятной, т.-е. могла быть объяснена при помощи тех гипотез, которые лежали в основе господствовавших тогда теорий. Оставалось большое число фактов, не укладывавшихся в рамки этих теорий. То же самое мы видим и в настоящее время. Конечно, весьма большое число фактов, которые пятьдесят лет тому назад относились к непонятым, перешли в разряд понятных, объясненных новыми теориями. Но их места заняли те многочисленные из вновь открытых фактов, которые до сих пор не поддаются объяснению на основании новых теорий. Так было, так оно и теперь. Неразрешимым и праздным представляется вопрос о величине, хотя бы в процентах, той части известных фактов, которая остается непонятной. Величина этой части подвергается большим колебаниям в зависимости от того, какое направление научной творческой работы преобладает в данное время: экспериментальная, накапливающая факты, или теоретическая, стремящаяся найти им объяснение.

Говоря ниже о „непонятном“, мы, очевидно, не будем этот термин относить к фактам на открытой сцене. Мы будем его прилагать исключительно только к закулисной области, к тем гипотезам, на которых наука строит теории, чтобы объяснить факты. Но тут является важный и, как мы сейчас увидим, для физики новый вопрос: что означают слова „непонятная гипотеза“? Что это за наука, которая намеревается при помощи непонятных гипотез сделать непонятные факты понятными? Какая же польза для науки от такого „объяснения“ явлений, и не представляет ли оно простое перенесение загадки с одного места на другое, вовсе не составляющее прогресса науки, а скорее являющееся признаком ее регресса? Неосведомленный читатель, не познакомившийся с содержанием

предыдущей главы, даже усумнится в возможности появления непонятных гипотез. Он скажет, что гипотезы вводятся учеными по их выбору, ничем, кажется, не стесненному. Что же их может заставить избрать такую гипотезу, которую они сами не понимают? Наконец, перед нами встает еще один вопрос, заключительный и, пожалуй, наиболее интересный: если в науке непонятные гипотезы стали играть роль, то нельзя ли указать возможную причину их появления? На этот последний вопрос мы постараемся дать ответ в § 6, ответ гадательный и, может быть, слишком смелый. Из остальных вопросов, мы ответим сейчас на третий: „Какая же польза для науки и т. д.? Польза может быть, если при помощи одной непонятной гипотезы получается объяснение весьма большого числа непонятных фактов. Многочисленность как бы заменяется единичностью. Добавим, что польза для науки еще усугубляется и делается вполне очевидной, если одна непонятная гипотеза не только объясняет множество фактов, но и предсказывает новые факты, существование которых затем подтверждается экспериментом. Кроме всего сказанного, следует иметь в виду, что ученые, конечно, не перестают надеяться, что введенная ими же гипотеза может современем сделаться понятной.

Обращаемся к первому из перечисленных вопросов: что означают слова „непонятная гипотеза“, иначе говоря, в каком случае мы назовем гипотезу непонятной, в чем заключаются ее признаки? Нетрудно ответить. Мы назовем гипотезу непонятной, во-первых, если в ней содержатся элементы, резко противоречащие твердо установленным физическим законам, из которых они, по непонятной причине, представляют исключение; во-вторых, когда в нее введены величины, для которых дано математическое выражение, но физическое значение которых остается вполне непонятным, между тем как из всего построения теории, основанной на данной гипотезе, явствует, что именно эти величины играют существенную роль в весьма многих и разнообразных явлениях. С непонятным для него орудием в руках ученый делает чудеса, начинает многое понимать, что раньше было непонятно, открывает новые явления, объединяет разнородное, надеясь, что со

временем он поймет смысл и значение своего чудодействующего орудия. Однако, все достигнутые таким путем научные победы вызывают, рядом с чувствами восторга и удивления, чувство глубокой неудовлетворенности. Мы видим, что воздвигается новое научное здание, но его фундамент нам непонятен и вызывает величайшие сомнения.

В старой физике непонятных, в вышеуказанном смысле слова, гипотез не существовало. Строго механическое миропонимание того времени делало появление таких гипотез невозможным. Совершенно другую картину представляет новая физика. Мы уже неоднократно указывали на ту громадную роль, которую в ней играют теория Максвелла, развитая в теории электронной, и теория квант, приведшая к открытию нового орудия научного исследования, квантования. К их критике, отзвуки которой уже встречались выше, мы теперь и перейдем.

§ 2. Теория Максвелла и электромагнитное миропонимание. В § 2 и § 3 главы четвертой мы рассмотрели теорию Максвелла, т.-е. уравнения Максвелла и электромагнитную теорию света, а также слегка коснулись электронной теории. Мы видим, что электрическая сила E и магнитная сила H считаются реально существующими в пространстве и описали то явление, которое называется распространением электромагнитных колебаний (возмущений). Кроме того было указано на невозможность свести эти явления к каким-либо механическим процессам, происходящим в эфире, какие бы свойства (понятные!) мы этому эфиру ни приписывали. К этому следует добавить, что многие ученые ныне вполне отрицают существование эфира, о чем неоднократно нами упоминалось. В электромагнитной теории света он, во всяком случае, никакой роли не играет. Как же, в таком случае, понимать наличность сил E и H , определяющих напряжения электрического и магнитного полей, существующих в данной точке? Что происходит в этой точке, когда величины сил E и H , друг к другу перпендикулярные, периодически колеблются между пределами $+E_0$ и $-E_0$, $+H_0$ и $-H_0$? И как происходит передача этих колебаний вдоль прямой (луча) перпендикулярной к E и H , к точкам, в которых силы E и H вовсе

не существовали до того момента, когда распространяющееся колебание доходит до этих точек? Почему, наконец, эти колебания распространяются с невероятной скоростью трехсот тысяч километров в секунду? На все эти вопросы ответа нет! Весь фундамент, на котором построена описанная картина, совершенно непонятен. Но что, собственно, это утверждение обозначает? Какую мысль мы хотим этими словами выразить? Почему мы эту картину называем непонятной? Приходится сознаться, что она нам только потому представляется непонятной, что мы ее не можем построить, оставаясь на почве механического миропонимания.

Если это так, то, повидимому, возможен простой выход. Основую старого миропонимания служила механика, которая построена на законах движения, эмпирически установленных Ньютоном. Движение и сила являлись понятиями исходными, первичными. Теперь построено новое миропонимание, в котором электрическое и магнитное поля в пространстве являются понятиями исходными, первичными. Эти поля обладают определенными напряжениями E и H , которые мы называем силами, так как они могут вызвать ускоренное движение электризованного или намагниченного тела, а также проводника, в котором движутся электроны. Эти силы способны колебаться по величине, а колебательное состояние распространяться в пространстве. Мы скажем: мировое пространство есть пространство электромагнитное, и в этом заключается его основное, первичное свойство, которое следует принять как нечто априорно-данное, как постулат. Новое миропонимание кладет в основу науки о неживой природе те эмпирически найденные законы, которыми управляются электромагнитные явления, и которые выражены уравнениями Максвелла. Эти законы становятся на место эмпирически найденных законов механики, т.е. трех законов (*leges motus*) Ньютона. Теперь наука отказалась от безнадежных попыток вывести законы электромагнитных полей из трех законов механики, и стремится, наоборот, показать, что последние вытекают, как логическое следствие, из первых.

Можем ли мы утверждать, что такая постановка вопроса, такая точка зрения на совершившуюся великую эволюцию нашего миропонимания избавит новую физику от того упрека, который кроется в словах „непонятная гипотеза“, и от которого старая физика, несомненно, была свободна? Как было бы хорошо, если бы на этот вопрос можно было дать ответ утвердительный! Но это невозможно; ответ, к сожалению, может быть только отрицательный. И причина простая: движение и сила суть понятия близкие нам из опыта повседневной жизни. Мы сами движемся, у нас самих есть сила, и нам хорошо знакомо действие посторонней силы на нас. Слова „движение“ и „сила“ понятны ребенку; куда мы ни посмотрим, мы наблюдаем движение тел и замечаем действие на них „силы“, т.-е. того самого, что нам так хорошо знакомо, хотя бы из мышечных ощущений. Ясно, впрочем, что, на основании только что сказанного, можно старую физику упрекнуть в антропоморфизме.

Электрические и магнитные силы, действующие на заряды, магниты и токи, нам не представляются безусловно непонятными; это аналоги всемирного тяготения, с которыми нас знакомит повседневное наблюдение падения тяжелых тел. Но электрические и магнитные силы (или напряжения), возникающие, колеблющиеся и распространяющиеся в пространстве, даже не содержащем бесполезного в данном случае эфира, такие силы, вдобавок лишенные всякого объекта действия, нам непонятны. Тот выход из затруднения, который нам представлялся, оказался неприводящим к цели. В основе теории Максвелла и развившегося из нее электромагнитного миропонимания, лежит непонятная гипотеза, первый пример того духа, который характерен для новой физики и которого не было в физике старой.

§ 3. Постоянная h Планка, кванты, теория Бора и квантований. В § 4 до § 9 главы шестой мы довольно подробно познакомились с теми вопросами, которые приведены в заголовке этого параграфа. Теперь мы можем ограничиться простым перечнем всего того, что характерно для разбираемого нами вопроса об особенностях характера новой физики.

I. Стремясь теоретически вывести закон черного лучеиспускания, Планк тогда только получил результат, согласный с опытными данными, когда он предположил, что световые вибраторы поглощают и испускают лучистую энергию не непрерывно, но квантами $h\nu$. Постоянная h размера „действия“ (энергия, помноженная на время); она представляет что-то вроде элементарного количества действия. Проникая во все отделы физики, она доказала свое мировое значение, доказала, что она играет великую роль в явлениях физических; она начинает проникать и в химию. Какова физическая ее сущность? Почему она так важна? Почему она как бы вторгается (чтобы не сказать — суется!) во всевозможные физические явления? Одним словом — что такое h ? — Неизвестно и непонятно.

II. Что такое кванта лучистой энергии? Почему она пропорциональна частоте колебаний? Почему она только целиком испускается и поглощается? Почему в ее выражении стоит та самая величина h , которая, как самодовлеющая величина играет столь громадную роль в вопросах, не имеющих никакого отношения к лучистой энергии? Это неизвестно и непонятно.

III. Световые кванты Эйнштейна — самое больное место современной физики. Испускается свет квантами и тот же свет, пройдя путь произвольной длины, поглощается теми же квантами. А на пути имеем колебательное движение, имеем электромагнитные волны. Как они разворачиваются из квант, и как они одновременно свертываются в кванты? А если на пути нет ни колебаний, ни волновых поверхностей, а тоже одни кванты, то как же объяснить основные явления интерференции, поляризации, преломления и дисперсии? Тут полный тупик, тут все непонятно.

Между тем фотоэлектрические явления, возникновение первичных рентгеновых лучей и вторичных катодных лучей, явления флуоресценции и ионизации (лучистой энергией) только и делаются понятными, если ввести кванты $h\nu$.

IV. Теория Бора.

1. Почему в атоме возможны или дозволены только те орбиты электронов, которые удовлетворяют квантовому условию (14) стр. 173. Непонятно.

2. Почему электрон, двигаясь по дозволенному пути, не излучает энергию? Ведь это находится в резком противоречии с теоретически и экспериментально установленным фактом испускания лучистой энергии, когда в движении электрона существует ускорение. Все это непонятно.

3. Почему при переходе электрона от одной из дозволенных орбит на другую возникает как раз одна кванта лучистой энергии? Каким образом протекает это возникновение? Непонятно.

И все-таки — какие грандиозные результаты дала теория Бора!

4. Извиняясь за тривиальное выражение, скажем, что с легкой руки Бора, а затем Зоммерфельда началось и стало широко применяться во всех отделах физики квантование, т.-е. отбор дозволенных (кем?) численных значений физических величин, играющих роль в каких-либо молекулярных явлениях. Найден математический рецепт квантования и он дал чудесные результаты, но не найдено рецепта для того, чтобы квантование осмыслить. Ученые квантуют и не понимают, что они делают, а результаты получаются превосходные, наука процветает. Сугубо непонятно.

5. В атомах не очень малого порядкового номера, электроны расположены слоями, соответствующими, в известных пределах, периодам системы Менделеева. В первом слое (ближайшем к ядру) находится один уровень энергии, во втором — три уровня, в третьем — пять, в четвертом — семь уровней энергии. Они соответствуют различным возможным значениям энергии всего атома. Но первый слой содержит, вероятно, два электрона, второй и третий по восьми электронов. Как физически себе представить эти уровни энергии, как с ними связаны электроны? Непонятно.

И, однако, эти уровни дали возможность развить блестящую теорию рентгеновых спектров, дать их полную систематику, объяснить условия возникновения каждой из многочисленных спектральных линий серий *K*, *L* и *M*!

§ 4. Еще некоторые темные пятна. Говоря о непонятных гипотезах в современной физике, мы не упомянули теории относительности и поступили правильно. Те весьма немногие постулаты, на которых эта

теория построена, сами по себе ясны и понятны. Если многие ее находят непонятной, то надо сказать, что здесь смешиваются невозможность понять с невозможностью то или иное себе представить. Это не относится к нашей теме.

Мы старались показать, что введение непонятных гипотез представляет нечто новое, небывалое в старой физике, и что это новшество является темным пятном на светлом фоне великих успехов новой физики. На том же фоне найдутся и еще некоторые темные пятна, несравненно менее важные, но все же неприятные и, во всяком случае, не соответствующие прогрессу науки. Приведем некоторые примеры; большого значения для характеристики новой физики они не имеют.

I. В старой физике два электричества ничем друг от друга не отличались, кроме как направлением вызываемых ими сил; они были как бы равноценны. Теперь действующим, подвижным электричеством является электричество отрицательное, состоящее из электронов. О положительном, строго говоря, ничего неизвестно. Оно находится только в ядрах атомов; при эквивалентных количествах, объем положительного электричества гораздо меньше объема отрицательного (я лично в этом сомневаюсь). Но самое поразительное заключается в том, что, опять-таки при эквивалентных количествах, масса положительного в 1.840 раз больше массы отрицательного. Электрон получает определенное ускорение от действия некоторой силы; эквивалентное электрону количество положительного электричества приобретает такое же ускорение от силы, которая должна быть в 1.840 раз больше. Простое и ясное заменено чем-то туманным, далеко еще невыясненным. Во всяком случае, это не прогресс.

II. В § 6 главы второй было сказано о теории света, господствовавшей в физике до опытов Герца (1888 г.), и мы видели, какую роль играл эфир в этой теории. Принимая во внимание блестящие успехи теории колебания эфира (открытие конической рефракции), нельзя было не считать существование эфира окончательно доказанным. Лорд Кельвин (В. Томсон, умер 1907), величайший физик конца прошлого столетия, говорит в одной из своих статей, что мы об эфире больше знаем, чем о материи. А в настоящее время вопрос об эфире больное место физики. Весьма

многие из наиболее выдающихся ученых совершенно отрицают существование эфира, отправляя его в ту мусорную яму, где гниют флогистон и подобные ему архаические измышления. А другие, не менее знаменитые, судорожно за него держатся. Эйнштейн в течение долгого времени считал эфир безусловно несуществующим; но в последнее время он склоняется к тому, чтобы признать реальность эфира, но в то же время он приписывает ему совершенно непонятные свойства, например, что он не находится ни в покое, ни в состоянии движения (!). На вопрос о том, признает ли современная физика существование эфира, никакого ответа дать нельзя. Во всяком случае, это не прогресс.

III. Я утверждаю, что одно из достижений новой физики, на которое постоянно указывают, как на особенно важное и для современной науки характерное, вовсе не существует; мне известно, что некоторые из моих уважаемых коллег со мною не согласны. Я имею в виду исключение дальнего действия (*actio in distans*) из обихода науки и замену его ближнего действия. В § 2 главы шестой мы видели, что уравнения Максвелла связывают величины, относящиеся все к одной и той же точке пространства; в них, действительно, отсутствует элемент дальнего действия. Сложнее представляется вопрос о распространении электромагнитного возмущения. Как здесь происходит передача от одной точки к соседней? и что значит „соседняя“ точка? Можно ли тут говорить о математической непрерывности? Так как весь процесс непонятен, мы на эти вопросы ответить не можем, и потому вопрос об *actio in distans* здесь остается открытым.

Совершенно иное мы видим, когда обращаемся к теории Бора, или к тем многочисленным явлениям, в которых играют роль взаимодействия между электронами или между ядром атома и электронами. Тут при всех соображениях и вычислениях применяется закон Кулона, даже в том случае, когда электрон в одну секунду совершает $6,2 \cdot 10^{15}$ оборотов вокруг ядра атома (первая орбита в атоме водорода), и его линейная скорость не очень мала сравнительно со скоростью света. Тот же закон прилагается к случаю, когда электроны находятся на произвольном расстоянии друг от друга или от ядра. Неужели это не есть *actio in distans*? Знаменитое

изгнание дальнего действия из науки представляется мифом; прославленного прогресса здесь не существует.

§ 5. Характер эволюции и эволюция характера.

В § 1 главы первой уже было сказано, что, хотя мы и озаглавили эту книгу „Характеристика развития физики и т. д.“, мы все-таки имели в виду, как главную, более интересную, но и более трудную задачу, выяснить эволюцию характера, или, если угодно, эволюцию „духа“ физики за последнее пятидесятилетие.

Характеристике эволюции физики посвящены последние две трети этой книги, начиная от главы четвертой. Нет надобности в каких-либо повторениях, тем более, что вся глава седьмая представляет сводку трех предшествовавших глав, хотя и весьма сжатую и содержащую лишь наиболее важное. Скажу о личном впечатлении. Когда я мысленно вспоминаю старую физику 1873 года и сравниваю ее с физикой 1923 года, то я вижу перед собой две картины: лунную безоблачную ночь и яркий солнечный день.

Эволюции характера, духа физики посвящены первые четыре параграфа главы восьмой. Эта эволюция определяется появлением в физике непонятных гипотез. Таковых в старой физике не было. Читатель укажет, что таких гипотез, ведь, только две: во-первых, гипотеза, что лучистая энергия есть распространяющееся электромагнитное колебание, и, во-вторых, гипотеза квант, связанная с постоянной h Планка и с методом квантования, правда — несколько мистическим. На это мы ответим: да, их только две; но они заполнили всю физику, проникли почти во все ее отделы и создали то электромагнитное миропонимание, которое заменило старое, механическое. Эти две гипотезы наложили свою печать почти на всю современную физику; туда, где их влияние еще незаметно, ученые всеми силами стараются их провести, уверенные, что это даст богатые научные достижения, и нет сомнения, что они идут по верному пути.

Читатель скажет, что ясность старой физики была может быть, только кажущаяся, и что то же самое относится к, якобы, понятным старым гипотезам. На этот вопрос он найдет ответ в § 2 этой главы.

Читатель скажет: то, что сегодня непонятно, может завтра сделаться ясным и понятным. Не перестанем надеяться на гений человека, уже так много достигшего, на дальнейший великий прогресс науки. От всей души мы присоединяемся к этой мысли и, конечно, мы далеки от того, чтобы сказать *lasciate ogni speranza*. Однако, одно обстоятельство сильно умалывает нашу надежду. Оно заключается в следующем: примерно 56 лет прошло с тех пор, как электромагнитная теория лучистой энергии была создана, и 35 лет с тех пор, как она всеми была принята, и за эти 35 лет наука ни на шаг не подвинулась по пути, который должен ее привести к пониманию этой непонятной гипотезы.

Страшно преувеличивая и, пожалуй, скорее шутя, мы скажем: старая физика была понятна, новая физика — непонятна; в старой физике существовало миропонимание, в новой физике — миронепонимание.

По причине, упомянутой в начале § 5 этой главы, мы здесь не касаемся теории относительности. Конечно, эта теория, перевернувшая всю физику, изменившая наши самые элементарные представления о пространстве и о времени и давшая все то, что было перечислено в 22 пунктах § 10 главы шестой, должна стоять на первом плане, когда дело касается о характеристике эволюции физики. Но сейчас речь идет о другом, об эволюции характера этой науки и в этом направлении она никакой или почти никакой роли не играет и гипотез непонятных в том смысле слова, которое было подробно указано в § 1 этой главы, в ней нет. Кривизну пространства мы не можем себе представить, но мы можем ее понимать по аналогии с кривизной замкнутой поверхности или замкнутой линии. Что же касается вопроса о времени, то мы имеем ясно сформулированные его свойства, в которые можно верить или не верить, но вопроса о „понимании“, в указанном смысле ставить не приходится.

§ 6. Возможная причина появления непонятных гипотез. Вселенная, т.-е. совокупность всего существующего, могла бы быть полностью описана, если бы были известны все первичные, играющие в ней какую-либо роль, действующие источники со всеми их свойствами. Источники и их свойства назовем, для краткости,

элементами вселенной (или мироздания) и введем гипотезу, может быть слишком смелую, что эти элементы могут быть разделены на две группы, на доступные и на безусловно недоступные нашему познанию. Каждой из этих двух групп подчинена определенная область явлений со всеми их качественными и количественными характеристиками. Будем дальше говорить о первой и второй группах элементов, которым, соответственно, подчинены первая и вторая области явлений. Допустим, что первая группа и первая область несравненно обширнее второй группы и второй области. С первой группой и с первой областью нас знакомит с детства повседневный опыт чрез посредство наших органов чувств. Они укоренились в нашем сознании, и мы познаем и понимаем не только все то, что к ним относится, но можем понять и все то, что им аналогично или подобно.

Старая физика имела дело только с первой группой элементов и с первой областью явлений. Поэтому все то, что она предполагала и вырабатывала, было понятно, находилось внутри горизонта познаваемого. Развиваясь не только вширь, но и вглубь, наука вплотную дошла до второй области, занялась такими явлениями, которые подчинены также и второй группе элементов, находящихся вне пределов нами познаваемого, не имеющих аналогов в том, что может быть воспринято нашими органами чувств. Допустим, что электромагнитное пространство (§ 2 этой главы) и внутриатомный мир относятся к области второй.

Если это все так, то нам действительно придется сказать *lasciate ogni speranza* и стать на сторону агностицизма, хотя бы и только частичного. Тогда и биологи вправе задуматься: нет ли здесь чего-то аналогичного биологическим наукам, которые, несмотря на все свои поразительные успехи, ни на шаг не подвинулись к решению их главной задачи, к уразумению сущности жизни, которая, может быть относится ко второй области, подчиненной элементам из второй группы?

Надо, однако, держаться того убеждения, что это не так, что наша гипотеза не соответствует действительности, что непонятные гипотезы сделаются по-

нятыми, что творческому гению человека удастся преодолеть все трудности, и что физика победоносно выйдет из того тупика, в котором она сейчас находится; возлагаем в этом деле великие надежды на теорию относительности. Тогда вся новая физика окажется грандиозным расширением физики старой.

•

О Г Л А В Л Е Н И Е.

Стран.

Предисловие	3
Глава первая. Введение	5
§ 1. Тема этой книги	5
§ 2. Отношение истории последнего пятидесятилетия ко всей истории физики	8
Глава вторая. Физика пятьдесят лет тому назад	14
§ 1. Атомная теория	14
§ 2. Механика	16
§ 3. Закон сохранения энергии	18
§ 4. Кинетическая теория вещества	23
§ 5. Второе начало термодинамики	31
§ 6. Теория света	45
§ 7. Спектральный анализ	59
§ 8. Учение об электричестве и магнетизме	64
§ 9. Экспериментальное искусство. Электротехника. Заключение	73
Глава третья. Что не могло измениться	77
§ 1. Введение	77
§ 2. Предмет и задача физики. Открытие и исследование явлений	79
§ 3. Объяснение физических явлений. Построение физических теорий	85
Глава четвертая. Новая физика, как расширение физики старой	90
§ 1. Введение	90
§ 2. Новые факты. Молекулярная физика	92
§ 3. Новые факты. Учение о тепловых явлениях	97
§ 4. Новые факты. Учение о лучистой энергии	99
§ 5. Новые факты. Явления магнитные	112
§ 6. Новые факты. Явления электрические	119
§ 7. Экспериментальное искусство	128
§ 8. Достигнутое более глубокое понимание	132

	Стран.
Глава пятая. Новые теории в старом духе.	140
§ 1. Введение. Электроны.	140
§ 2. Учение о растворах. Электролиз. Теория гальванического элемента, данная Нернстом	141
§ 3. Еще некоторые важные новые теории	145
Глава шестая. Новые теории в новом духе.	148
§ 1. Введение	148
§ 2. Теория Максвелла	149
§ 3. Электромагнитная теория света.	153
§ 4. Теория излучения и возникновение учения о квантах	157
§ 5. Некоторые из приложений теории квант	163
§ 6. Строение атома. Теория Бора	169
§ 7. Теория Бора (продолжение)	175
§ 8. Квантование. Объяснение Зоммерфельдом происхождения спутников спектральных линий	179
§ 9. Строение атома (продолжение)	183
§ 10. Теория относительности	189
Глава седьмая. Итоги. Прогресс.	199
Глава восьмая. Итоги. Регресс.	203
§ 1. Знание и понимание	203
§ 2. Теория Максвелла и электромагнитное миропонимание.	206
§ 3. Постоянная h Планка, кванты, теория Бора и квантований	208
§ 4. Еще некоторые темные пятна.	210
§ 5. Характер эволюции и эволюция характера	213
§ 6. Возможная причина появления непонятных гипотез	214