The book cover features a central black vertical band with the title 'ДУХ НАУКИ' written in white, bold, sans-serif capital letters. To the left of this band is a green octagonal shape with a white horizontal line and a series of white dots. To the right is a yellow octagonal shape with a white horizontal line and a series of white dots. The background is a light beige, textured paper.

**ДУХ НАУКИ**

**Д. Томсон**

Д. ТОМСОН

**ДУХ**

**НАУКИ**

Перевод с английского  
канд. физ.-мат. наук  
В. Н. ЛЫЦОВА

Под редакцией  
И. Д. БОЛОТОВОЙ  
и Е. С. ГЕЛЛЕРА

Издательство «ЗНАНИЕ»  
Москва 1970

53(09)  
T56

2-3-1 <  
13-1970

## От редакции

Выбор этой книги для перевода на русский язык был продиктован, во-первых, тем, что она принадлежит перу ученого, чей авторитет в физике не подлежит сомнению. Во-вторых, редакцию подкупило стремление ученого сделать книгу доступной даже тому, кто знает физику слабо или не знает совсем.

Подобные книги всегда ценны, поскольку они, как иногда принято говорить, дают знания «из первых рук». В данном случае это ценно еще и потому, что примеры, отобранные автором для раскрытия своего замысла — рассказать о научном мышлении, о стратегии и тактике эксперимента и интеллектуального поиска, — взяты из истории современной физики и в известном смысле создают картину ее развития. Имѐя в виду последнее, мы сочли нужным и полезным предварить книгу следующим замечанием.

Современная физика возникла на рубеже XX в., как раз на основе открытий (вроде открытия электрона и радиоактивности), о которых более или менее подробно пишет Томсон. Ее начало, как, впрочем, и последующее развитие, не было безмятежным и спокойным. Замечательные открытия физики конца XIX — начала XX в. не укладывались в рамки господствовавших на протяжении долгого времени представлений, выработанных в результате обобщений обыденного опыта. Началась ломка этих представлений, появились трудности философского и методологического характера. Естествоиспытатели и философы, стоявшие на различных идеалистических позициях, заговорили о «кризисе физики». Оживилась борьба меж-

ду материализмом и идеализмом, чему имелась и другая причина — идеологическая реакция на поражение русской революции 1905 года.

Все это побудило В. И. Ленина вмешаться в философские споры вокруг успехов естествознания, в первую очередь физики, и написать книгу «Материализм и эмпириокритицизм» (1909 г.). В ней В. И. Ленин, обобщив с позиции диалектического материализма достижения науки, показал, в чем смысл начавшейся в естествознании революции. Ленин доказал, что все эти представления о «кризисе физики» есть следствие идеалистического подхода к методологии познания. Новейшие открытия физики свидетельствуют о том, что познание природы идет путем последовательного приближения к истине и что наши знания в каждый данный момент относительны. Тезис Ленина о «неисчерпаемости электрона» был подтвержден всем последующим развитием физики. Он имел и имеет для науки огромное принципиальное значение, так как выражает идею о неисчерпаемости физических свойств материи, а стало быть, и процесса ее познания. И открытия конца XIX — начала XX в., и последующие исследования, обогатившие и углубившие наши знания о материи, могут быть правильно философски осмыслены только на основе диалектического материализма.

## Предисловие

В этой книге сделана скромная попытка рассказать о том, как думает ученый, особенно в процессе исследования. Естественно, этот рассказ будет целиком основываться на моем личном опыте, на том, что я прочел и увидел. В основном будет затронута физика и в небольшой степени химия. Но, по-моему, хотя я и не могу этого доказать, различия между отдельными областями науки не так уж велики, как кажется некоторым их представителям. Однако в наши дни никто не в силах охватить науку в целом, и можно гораздо больше рассказать о ней, если не пытаться объять необъятное. В этой книге речь идет о том, что называют чистой наукой, об интеллектуальном поиске, результаты которого совершенно отличаются от результатов техники. Конечно, техника тоже увлекательное и трудное занятие, но она столь же далека от науки, как фермерская работа от выращивания роз или архитектура от скульптуры.

Очевидно, нельзя рассказать о научном мышлении, не прибегая к примерам. Иными словами, придется объяснить большое количество физических явлений и важнейшие физические принципы. Однако я старался свести к минимуму число приводимых фактов, и книга ни в коем случае не является учебником, даже популярным. Я не боялся повторяться, если это требовалось для дальнейшего объяснения, и пытался сделать каждую главу независимой от других, чтобы предъявить к памяти читателя возможно меньшие требования. Надеюсь, что книга окажется доступной для тех, кто знает физику слабо или не знает совсем. Я привожу короткие заметки об ученых, которых я знал лично или по рассказам родственников. Не-

смотря на большое искушение, в число этих людей не включен никто из ныне живущих физиков. Но даже при этом условии выбор имен не отражает моего мнения о наиболее крупных ученых-физиках. Я написал только о тех, чья работа связана с основными мыслями этой книги. Чтобы не отвлекаться для объяснения специальных терминов, в конце книги помещен словарь, где разъясняются главные из них.

Я хотел бы выразить благодарность профессору У. Г. Маккри из Лондонского университета. Он не несет никакой ответственности за высказанные здесь мнения, но его замечания к V главе были весьма полезны. Я хотел бы также поблагодарить моего секретаря госпожу Бэйнбридж за ее неустанные заботы и помощь в подготовке рукописи.

*Д. ТОМСОН*

*Кембридж,*

*август 1961 г.*

## ВВЕДЕНИЕ

**К ЧЕМУ  
СТРЕМИТСЯ  
НАУКА**

По самой своей сути наука — это поиски истины. Такой она стала со времен Фалеса, когда некоторые граждане, жители процветающих греческих городов Малой Азии, научились абстрактно мыслить вне связи с религией. Это было величайшее из многих великих достижений греческого народа. Вначале не было деления на то, что сегодня мы назвали бы философией, математикой и естественными науками. Предполагалось, и весьма обоснованно, что правильные заключения о строении мира можно получить только с помощью разума. Два достижения древнегреческой науки укрепили эту надежду и с течением времени превратили ее в уверенность. Первым достижением была греческая геометрия, этот величественный комплекс, который уже почти две тысячи лет известен школярам западного мира как геометрия Эвклида. Теперь мы знаем, что геометрия может быть либо упражнением в математической логике, либо констатацией фактов о внешнем мире. Древние греки, должно быть, догадывались об этом, так как знаменитая аксиома Эвклида о параллельных резко отличается от остальных аксиом (вроде той, что «целое больше, чем его часть») тем, что она ни в коей мере не очевидна, хотя на ней и основывается большая часть последующих теорем. Аксиома о параллельных может иметь разные в конечном счете равноценные формулировки, одной из которых является утверждение, что через данную точку можно провести только одну прямую, параллельную другой данной прямой. Понятно, как можно убедить себя в логической неизбежности этой аксиомы,

особенно если знаешь, что она приводит к следствиям, которые не противоречат друг другу и подтверждаются на опыте.

На самом деле такой логической неизбежности нет. Логика допускает и другие типы геометрии, и истинность эвклидовой геометрии для земных измерений является просто очень точно установленным экспериментальным фактом. Ее справедливость в астрономических масштабах можно с полным основанием подвергнуть сомнению. Астрономия — другое великое достижение древних греков. Здесь они значительно ближе подошли к современной науке, проводя поразительно точные наблюдения звезд и особенно планет и используя эти наблюдения для построения и проверки теорий о движении небесных тел. Однако земные успехи греческой науки были гораздо скромнее. Греки знали, что натертый янтарь притягивает соломинки, что камень из местечка Магнезия в Малой Азии притягивает железо, и замечали, что шест, торчащий из воды, кажется переломленным. Но ни в одной из областей науки, к которым эти явления относятся, они не добились сколько-нибудь значительных результатов. Иногда говорят, что такая неудача объясняется нежеланием проводить эксперименты. Хотя, конечно, в какой-то мере это и так, мне кажется, что дело не только в этом. В действительности, помимо бесчисленных астрономических наблюдений, греки от случая к случаю проводили и некоторые опыты. Подлинная причина их неудач крылась скорее в том, что греки не способны были понять важность этих, на первый взгляд мелких, пустяковых явлений. Небо было величественным и грозным, быть может, обителью богов или даже чего-то более могущественного, чем боги. Опыты с маленькими кусочками соломки или полосками железа были забавны, но вряд ли могли быть особенно важными. Такой подход кажется вполне оправданным.

Великое достижение научного метода состоит в том, что на поверку, казалось бы, заурядное, просто любопытное явление может стать ключом к пониманию тайн природы. Вряд ли можно винить греков в непонимании этого. Ведь даже во времена Ньютона Свифт высмеивал Королевское общество, сравнивая его членов с прожектерами Лапуты, которые изучали огурцы как ис-

точник солнечного света; а Свифт, хоть и пренеприятнейшая личность, был далеко не глупец.

Как был найден научный метод, не ясно. Но этот метод — то основное, что отличает наш век от прошлых, причины же его появления могут быть самыми разнообразными. Например, особая роль магнетизма в навигации и оптики в производстве очков. Артиллерийское дело, вероятно, тоже сыграло свою роль, и новая механика Галилея стала казаться менее странной. Однако наиболее важным было возбуждение, охватившее европейцев в связи с открытием пути вокруг Африки в Индию, а затем в связи с открытием Нового Света. Во времена, когда успешно осуществлялись самые невероятные планы географических открытий, естественно было попытаться сделать открытия и иного рода, попытаться проникнуть в тайны мышления и найти ответы на вопросы о явлениях, окружавших человека. Первое открытие всегда заключается в том, что есть вещи, которые стоит открывать. Тогда пустяковые камешки из Магнезии и кусочки янтаря приобретают совсем иное значение. А со времен Максвелла людям, постигшим смысл этих явлений, стало ясно, что законы, управляющие поведением кусочков янтаря и магнитов, столь же фундаментальны, как и другие мировые законы, которым подчинена материя.

В наши дни науку и ценят, и боятся из-за тех практических следствий, к которым она способна привести. Но это лишь одна сторона медали, и притом не главная для ученого. Конечно, добросовестный ученый (а я думаю, большая часть из нас относится к их числу) испытывает чувство некоторой неловкости за то, что он проводит основную часть жизни, занимаясь любимым делом, и может успокаивать себя тем, что здоровье людей и их благосостояние значительно улучшились благодаря открытиям, без которых наша цивилизация не смогла бы существовать. Добросовестный ученый может видеть свой долг и в том, чтобы предупредить об опасности, которую несут с собой некоторые открытия, и протестовать против неправильного их применения сейчас или в будущем. Но даже ученого, работающего в области прикладных наук, очевидно, привлекла в науку прежде всего интеллектуальная сторона дела, его воображение поразило переплетение нитей, казалось бы, совершенно различных проблем.

Наука приносит ученому удовлетворение, но ее интеллектуальная ценность этим не исчерпывается. Наука — величайшее достижение свободного человеческого ума — представляет собой пробный камень для всех человеческих теорий и понятий. Наука и философия преследуют в конечном счете одну общую цель — познать мир и нас самих. Но отправные моменты у них разные.

Наука начинает с подробного рассмотрения частных случаев и, если можно, переходит от них к более общим явлениям. Философия начинает с общего и пытается объяснить частное. Могут сказать, что наука не заглядывает действительно глубоко. Справедливо, что методы науки не претендуют сразу на многое. Они начинаются с простых, даже самых обыденных наблюдений. Однако наука прошла долгий путь со времен древних греков, и до сих пор нет никаких признаков прекращения ее прогресса. Наука строит пирамиду с широким основанием, прочно покоящимся на фактах. Философия же действительно дала ряд блестящих концепций, но между ними редко наблюдалось согласие, и они никогда не существовали подолгу. Я постараюсь показать далее, насколько то же самое справедливо по отношению к наиболее абстрактным выводам физики.

Все науки, а не только физика, о которой пойдет речь в этой книге, основываются на определенных понятиях. Понятие — это представление, получившее свое наименование. Понятия обуславливают вопросы, которые можно задать, и, таким образом, предопределяют ответы, которые можно получить. Понятия более фундаментальны, нежели теории, которые формулируются в терминах понятий. Примерами понятий являются движение, масса, энергия, электрический заряд, магнитный полюс, температура, волна, частица. Некоторые из них — уточнения обычных представлений, которые познаются более или менее прямо с помощью органов чувств. Другие не являются таковыми. Но все они так или иначе связаны с опытом или практикой, хотя многие, вернее большая часть, недоступны непосредственному наблюдению. Большое преимущество — возможность выразить понятия в математической форме, иногда числом или рядом чисел. Но это не всегда возможно в биологии, и даже в физике есть понятия, которые нельзя выразить таким способом,

например метеорологические понятия циклонов, горячих и холодных фронтов и т. д.

Но даже понятия, которые могут быть очень точно определены, не всегда находятся в строгом соответствии с явлениями природы. Понятия могут отражать приближенные, упрощенные представления и тем не менее быть весьма полезными. Хороший пример — световой луч, который можно представить себе как математическую линию. Конечно, провести математическую линию в физическом мире невозможно, и это понятие только весьма приближенно отражает реальность. Если пытаться получить очень узкий пучок света с помощью маленькой щели или отверстия, то можно с успехом проделывать это лишь до тех пор, пока дальнейшее уменьшение щели или отверстия не заставит пучок вместо сужения расшириться. На практике понятие светового луча лишь приблизительно отражает действительность. Хотя расширение светового пучка и загибание его за преграду были известны еще в XVII веке, а в начале XVIII столетия появилось правильное объяснение этого факта с помощью другого понятия — световых волн, понятием светового луча все еще продолжают пользоваться. Оно применяется для решения многих лабораторных задач и даже в трудоемких вычислениях при разработке линз для фотокамер и микроскопов. Дело в том, что с такой позиции математические решения этих задач проще, чем с применением более тонкого понятия световых волн. И, кроме нескольких особых случаев, полученные решения достаточно точны. Даже будучи приближительной, лучевая теория дает правильные представления о свете. Действительно, можно показать, что и более сложные теории света сводятся к простой лучевой теории, если работать в масштабах, достаточно больших по сравнению с длиной волны. Так как для видимого света длина волны приблизительно равна пяти сотым сантиметра, то лучевая теория вполне применима при разработке линз и зеркал обычных размеров. Иной подход необходим при разработке некоторых деталей линз объектива микроскопа, где элементы объектов, которые предполагается рассматривать, немногим больше указанной величины.

Характерно, что с развитием науки одно понятие или группа понятий в философском плане может уступить

место другому, но это не окажет существенного влияния на те знания, которые эти понятия описывают. Когда для объяснения световых явлений вместо понятия о лучах стали пользоваться понятием о волнах в эфире, все (или почти все), что давала лучевая теория для конструирования оптических приборов, использующих линзы и зеркала, осталось верным. Однако появились и новые приборы, которые были бы немислимы без волновой теории. Когда, в свою очередь, квантовая теория сменила эфирные (волновые) теории света, это никак не отразилось на разработке двух предшествующих классов приборов. Но новая теория оказалась важной для улучшения фотографических пластинок и создания фотоэлементов\*.

Возможность получать одни и те же конечные результаты при использовании разных теорий — великая сила науки, ее характерная особенность. На первый взгляд представляется нелепым, что можно менять основополагающие принципы, не затрагивая конечных выводов. В действительности же это естественный результат развития науки: от частного — к общему. Общие выводы — скорее, вершина пирамиды с широким основанием, нежели фундамент всей конструкции. Если пользоваться другим сравнением, то прогресс науки немного напоминает решение китайской головоломки, когда складывают кусочки, которые определенно подходят друг к другу, хотя сперва не ясно, как располагаются группы в целой картине. Ошибки, сделанные вначале в размещении отдельных групп, можно позднее исправить, не разбивая готовые группы.

Нередко утверждалось, что понятия и теории в науке — это исключительно творения человека, а не объективная истина. Я думаю, что такая точка зрения неверна, хотя человек, разумеется, играет здесь свою роль. Мне кажется, что наука все же скорее открывает, чем изобретает, и что ученый скорее подобен Колумбу, нежели Аркрайту, но читатель волен судить об этом сам.

Еще одно замечание, прежде чем перейти к более тщательному рассмотрению того, как создаются и используются понятия в физике. Для экспериментов и наблюдений всегда нужен наблюдатель. Его роль стала все

---

\* Блестящий пример использования квантовых свойств света в наши дни — лазерная техника. (Прим. перев.)

полнее выявляться в последние пятьдесят лет, особенно в области физики. Наука — это знание, которое, в сущности, является общим (общественным) в том смысле, что оно принадлежит многим, в отличие от частного, личного — такого, например, как сон или боль. Следовательно, нужно отдавать предпочтение формулировкам, справедливым для больших групп возможных наблюдателей. Как мы увидим, теория относительности построена так, чтобы удовлетворить этому требованию.

## НАУЧНЫЙ МЕТОД И НЕКОТОРЫЕ ПОНЯТИЯ

О научном методе говорилось много, и дань уважения была заплачена ему сполна, хотя подлинную сущность научного метода понимали далеко не всегда. Научный метод — не столбовая дорога к открытиям, как думал Бэкон. Скорее это совокупность правил, иногда общих, иногда частных, которые помогают исследователю в пути через джунгли поначалу разрозненных, противоречащих друг другу фактов. Научное исследование — это искусство, а правила в искусстве, если они слишком жестки, приносят больше вреда, чем пользы. Различные области науки достаточно сильно отличаются одна от другой, и нелегко найти какое-либо правило, применимое во всех областях без исключения.

Одни науки, такие, как физика, астрономия и генетика, могут широко использовать математику, причем не только для обработки наблюдений, но и для теоретического анализа. В ботанике же, например, математические методы принесли пока мало пользы, да и вряд ли могли бы многое дать. Одни науки, такие, как физика и физиология, часто прибегают к эксперименту, а вот в астрономии и геологии эксперимент почти невозможен, и исследователю, который не в силах изменить состояние исследуемых объектов, остается довольствоваться наблюдениями. В ряде наук очень важную роль играет классификация, в других она практически не нужна; в одних науках возможны и важны точные измерения, в других то, что лежит в их основе, не поддается измерению. Но если искать общие черты, присущие научному методу во всех областях знания, то можно все-таки найти некоторые очевидные требования. Среди этих требований и бес-

пристрастный подход к проблеме, и готовность учитывать все разумные возможности, и готовность преодолеть трудности ради точности там, где она возможна, и умение не остаться в плену предубеждений. Однако точно такие же требования предъявляют и к другим интеллектуальным занятиям, не претендующим называться наукой, например к юриспруденции. И главное, многие из этих требований совсем не существенны.

Дискуссии в науке часто были жесточенными и не всегда велись достойными методами, однако в целом они помогали прогрессу, а не задерживали его. Наука действительно предполагает точное наблюдение и внимание к деталям, это внимание, однако, может оказаться и чрезмерным, как случается и в других областях человеческой деятельности.

Выбор в науке столь же важен, как во всех видах искусства. Ученый должен уметь с готовностью изменить или даже отбросить любимую теорию, если факты противоречат ей. Он должен верить, что в природе существует некоторая рациональность, но он не должен считать, что природа полностью детерминирована. И действительно, можно привести веские доводы в пользу того, что детерминизм не повсеместен и, вероятно, не распространяется на самые глубокие уровни материи. Тем не менее наука считает течение событий достаточно закономерным, чтобы предсказывать их дальнейший ход. При изучении истории дело обстоит иначе. Нельзя гарантировать, что заключения, сделанные на основании изучения истории средних веков или даже XVIII столетия, сколь бы тщательно они ни проводились, окажутся полезными в наше время. Но заслуги истории, так же как и ценность эпических сказаний, этим нисколько не умаляются. Просто это значит, что история не наука.

Наука, как и все виды искусства, требует воображения. Первое, для чего оно нужно, — это увидеть предмет исследования. Человек очень рано понял, что существуют закономерности в движении звезд, которые следует изучать и которые могут иметь важное значение; но прошло много времени, прежде чем стало ясно, что важные явления происходят и на Земле и что эти явления подчиняются определенным законам. Появление экспериментальной науки в эпоху Возрождения, хотя и было отчасти

обусловлено возобновлением интереса к греческой науке, по-видимому, стимулировалось главным образом, как уже отмечалось в первой главе, великими географическими открытиями того времени, которые предоставили человеческому разуму возможность познания неизведанного. Воображение необходимо и для того, чтобы суметь увидеть волнующую новизну. Я снова должен подчеркнуть важность на первый взгляд обычных явлений. Суметь к ним правильно подойти не так-то легко.

Переходя от общих соображений к отдельной науке — физике, мы увидим, что научный метод требует множества тщательных экспериментов в самых простых условиях, хотя вопрос о том, какие условия простые, не всегда ясен и может сам стать предметом исследования. После того как опыты проделаны, предварительные результаты надо обычно проанализировать математически, исходя из доступных теорий или гипотез. Чем больше общность этих теорий, другими словами, чем меньше их специфичность, тем лучше предварительный анализ. Однако всегда приходится делать некоторые допущения, и, если они не верны, то анализ может оказаться бесплодным. Во всяком случае, на ранних стадиях работы опыты носят предварительный характер. Если исследование фундаментально, то оно ведет к формированию понятий, вытекающих из экспериментов, а затем гипотез, теорий и законов, которые строятся на основе этих понятий. Для каждого из этих этапов нужны люди с различным талантом и подготовкой. Разница между тремя терминами: гипотеза, теория и закон — в эмоциональной окраске и отражает не столько различия в характере понятий, сколько различия в степени достоверности найденных положений по мнению тех, кто пользуется этими терминами.

Некоторые понятия рождаются прямо из экспериментов, например понятия длины, времени или температуры, но почти всегда такое понятие должно уточняться. В главе V мы рассмотрим это подробнее на примере понятия времени. Нечто подобное произошло и с понятием температуры.

С помощью ртутного термометра можно измерить некоторую величину, называемую температурой. Если стеклянная трубочка и другие детали сделаны достаточно тщательно и с термометром аккуратно обращаются, то с

помощью такого инструмента можно измерять температуру от величин значительно ниже точки замерзания воды до величин выше ее нормальной точки кипения и получать в одинаковых условиях тождественные результаты. Разные термометры, сконструированные по той же схеме, показывают ту же самую температуру, в этом, конечно, нет ничего удивительного. С другой стороны, при сравнении термометров разных систем, например ртутных и наполненных спиртом вместо ртути, обнаруживается, что если даже они дают одинаковые показания в точках кипения и замерзания воды, то в других условиях их показания несколько различны. Для физика это означает одно из двух: либо температура не является столь уж фундаментальной величиной, либо то, что он измеряет, лишь приблизительно соответствует действительности. Развитие термодинамики в XIX веке показало, что верно последнее.

Температуру можно определить как нечто не зависящее от свойств того или иного конкретного вещества, как величину универсальную, если отвлечься от единиц измерения, всегда произвольных в том смысле, в каком произвольны ярды или метры. К понятию «абсолютная температура» удалось прийти, рассматривая коэффициент полезного действия тепловых машин. Когда машина поглощает тепло, производит работу и снова отдает тепло в циклическом процессе, то разница между поглощенной и выделенной тепловой энергией равна механической энергии машины. На минуту забудем о потерях на трение и других привходящих факторах. Так как тепло и механическая работа — различные формы энергии, то, хотя одна форма энергии может переходить в другую, общее количество энергии сохраняется. Однако часть первоначальной энергии, которую можно превратить в работу, ограничена. Эта часть и определяет коэффициент полезного действия тепловой машины. Коэффициент полезного действия никогда не достигает 100%, сколь бы совершенна ни была конструкция машины, а существует определенный предел, зависящий от температуры источника (в паровой машине — это котел), откуда берется тепловая энергия, и температуры тела, которому тепло передается (в паровой машине — конденсатор). Простое рассуждение, исходящее из принципа невозможности вечного двигателя,

показывает, что если такой предел и существует, то он не должен зависеть от природы применяемого в машине вещества. Тогда измерения коэффициента полезного действия тепловой машины можно использовать для определения температуры, которая абсолютна в том смысле, что не зависит от свойств какого-либо определенного вещества. Практически такая шкала температур в ограниченном температурном диапазоне мало отличается от шкалы ртутного или любого другого термометра, где применяется тепловое расширение веществ. Кроме того, и не прибегая к созданию идеальных тепловых машин, можно найти поправки для показаний по крайней мере нескольких типов таких термометров и сделать их пригодными для измерения температур по абсолютной шкале.

Таков довольно типичный путь формирования понятия. Начинают с истинных показаний конкретного прибора, а затем выясняется, что эти показания можно видоизменить и тогда результаты больше не будут зависеть от поведения и характеристик конкретного прибора. В результате мы выходим за пределы частного явления, в данном случае расширения ртути при нагревании, и можем сформулировать понятие гораздо более общее, чем логически вытекающее из опытов такого рода.

Иногда для формирования понятия нужно много разнообразных экспериментов. Мы убедимся в этом, когда рассмотрим, как возникли понятия электрона и ядра. В этих случаях уверенность в том, что понятия действительно соответствуют какому-то реальному объекту, играла важную роль.

Некоторые понятия по происхождению являются скорее математическими, чем опытными, например понятие молекулярного хаоса. Поведение газов можно лучше всего объяснить (см. главу VI), если считать, что они состоят из молекул, которые движутся со случайными скоростями во всех направлениях, а энергия их движения есть мера температуры газа. Предполагается, что эти молекулы непрерывно сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда, содержащего газ. Импульс, передаваемый на стенку при столкновениях, и есть та величина, которая измеряется как давление газа на стенку сосуда. Эта концепция молекулярного хаоса, введенная Максвел-

лом и Больцманом, долгое время оставалась лишь математической гипотезой. И только с помощью современных экспериментальных методов действительно можно обнаружить движения молекул, вылетающих из небольшого отверстия в сосуде, содержащем газ, и кое-что узнать о распределении их скоростей. Однако первоначальная концепция была чисто математической, и кинетическую теорию газов удалось значительно продвинуть еще до того, как появилась возможность наблюдать индивидуальные движения молекул. Для выработки такого рода понятий и получения экспериментальных следствий из них необходима теория.

Большинство понятий только приближительны, как, например, понятие светового луча, о котором упоминалось раньше. Иногда приближение оказывается достаточно хорошим, особенно в тех весьма частных случаях, когда оно основывается на том, что атомы и молекулы очень малы и поэтому в любом кусочке материи умеренных размеров их содержится превеликое множество. Возьмем, например, понятие поверхности твердого тела как подобия математической плоскости; на самом деле такая поверхность даже в лучшем, наипростейшем случае состоит из множества атомов, расположенных в определенном порядке. Она не может быть плоской ни в каком геометрическом смысле слова; если увеличенные атомы представить себе комками, похожими на стога в поле, то поверхность — просто некоторая средняя плоскость. Но даже этим способом поверхность не удастся безупречно определить, так как атомы не имеют четких границ и существуют целые районы, в которых они оказывают все возрастающее воздействие на частицы, пытающиеся в них проникнуть. Атомы в этом смысле больше похожи на ворсистые теннисные мячики, чем на гладкие бильярдные шары. Тем не менее понятие поверхности твердого тела чрезвычайно полезно, если не забывать о его ограниченном характере.

Немногие из существующих ныне понятий полностью истинны, им еще предстоит пройти испытание временем, и будет странно, если хоть одно из них сохранится без существенных изменений, но вполне вероятно, что неизменными останутся наименования понятий и сфера их применения.

Иногда утверждают, что электрон не реален. Обще-признано, что электроны ведут себя иначе, чем, например, песчинки, но вряд ли можно считать электроны менее реальными, чем песчинки или другие более сложные объекты, такие, как карандаш. Каждый из нас настолько привык пользоваться названием и представлением о таком предмете, как карандаш, что очень трудно уяснить себе заметную долю искусственности в этом понятии. А ведь каждый вкладывает в это понятие самые разнообразные впечатления. На сетчатке глаза, например, наблюдаются цветные пятна неодинаковой яркости, которые интерпретируются с помощью тонких и сложных процессов в мозгу как изображение длинного твердого тела, шестигранного в разрезе, с коническим концом, отличающимся по цвету от остальной его части. Эти зрительные ощущения усиливаются осязательными, полученными с помощью пальцев, которые держат карандаш, и другими зрительными образами, например черными пометками на бумаге, какие оставляет кончик карандаша. Из этих наблюдений строится понятие, и оно получает наименование карандаша. Трудно найти сколько-нибудь существенную разницу между этим процессом и тем, где формируется понятие об электроне. Связь между понятием и реальной действительностью, отражением которой оно является, весьма напоминает соотношение между плоской картой и частью земной поверхности. Карта не пытается воспроизвести мельчайшие неровности земной поверхности. Даже если на ней показаны линии рельефа, то, конечно, не нанесены кротовые норы. Точно так же идеализированы и упрощены понятия физики, в них отсутствуют внешние искажающие эффекты, которые, как правило, есть в действительности. Кроме того, плоская карта всегда оказывается искаженной, если изображает значительную часть земной поверхности. Просто потому, что нельзя изогнуть кусок бумаги, не складывая его и не разрывая, чтобы образовать шар. Большая часть понятий, как я уже говорил, тоже оказывается приближенной. Можно иметь различные карты одного и того же участка Земли, например, проекцию Меркатора, или проекцию, где равным площадям на Земле соответствуют равные площади на карте. И они обе могут быть верными в том смысле, что на каждой показаны те же города, горы, реки и т. п. в соответ-

ствующих районах и в правильном порядке, так что если два объекта находятся близко друг от друга в действительности, то они также близки друг к другу и на карте. В чем-то карта зависит от желаний того, кто ее сделал, но она далеко не вымысел и может быть верной или неверной даже в деталях. Карта не может, например, изображать Манчестер в центре Испании или Оксфорд Сёркус к югу от Пикадилли!

Добротные понятия обнаруживают яркую способность вырастать за рамки экспериментов, которые их породили; и, по-моему, именно это сильнее всего может убедить рядового физика в их реальности. Например, понятие атома было предложено Далтоном в начале XIX столетия, чтобы объяснить наблюдавшиеся незадолго до этого химиками закономерности в относительных весах различных веществ, вступающих в реакцию и образующих соединения. Эти экспериментальные факты можно было объяснить тем, что соединение состоит из молекул, а каждая молекула — из небольшого числа различного рода атомов. Таким образом, понятие атома было основано на предположении, далеко выходящем за пределы экспериментальных фактов, и прошло почти столетие, пока были найдены доказательства совершенно иного рода. С тех пор дело пошло очень быстро. Опыты с рентгеновскими лучами позволили «увидеть» и определить размещение атомов и атомных групп в кристаллических твердых телах с большой точностью. Затем в органической химии постепенно выяснилось, что строгая последовательность химических реакций указывает на определенное расположение атомов в отдельных молекулах. Атомы, более близкие друг к другу, активнее участвуют в реакции присоединения к другой молекуле, чем атомы, более удаленные. Хотя это доказательство имеет косвенный характер, оно представляется весьма убедительным. Сейчас, конечно, никто и на мгновение не усомнится в реальности атомов, а при благоприятных обстоятельствах атомы можно даже увидеть в электронный микроскоп.

Очень важная группа законов физики известна как «законы сохранения»; типичный закон сохранения гласит, что некоторая доступная измерению величина, например энергия, остается постоянной по крайней мере при выполнении ряда требований. Другими словами,

энергию нельзя ни создать, ни уничтожить. В такой формулировке законы сохранения становятся примером более широкой группы так называемых «принципов невозможности». Таких принципов много, например невозможность создания вечного двигателя или невозможность движения любого материального тела со скоростью, большей скорости света, принцип, лежащий в основе специальной теории относительности. Отчасти, конечно, подобная формулировка обусловлена грамматикой, произвольностью способа выражения таких законов, но поразительно, что столь многие важные результаты физики можно объяснить с помощью этих законов. А теперь несколько слов о теориях.

Теории в физике — это утверждения, обычно математические, о соотношении между определенными понятиями. Теории, как заметил Поппер\*, существуют, чтобы их опровергали. Теория предсказывает, что должно наблюдаться при определенных условиях, которые можно искусственно создать в лаборатории или которые могут возникнуть в природе. Если предсказанные результаты не наблюдаются, теория не верна и ее следует отбросить или по крайней мере изменить. Если же предсказанные результаты наблюдаются, то теория получает подтверждение, а если ее предсказания осуществляются в широком и разнообразном круге явлений, в теорию начинают верить. Но всегда остается возможность ее опровержения, и почти наверняка можно найти такие особые условия, в которых теория неприменима, условия, когда данная теория не может дать ответа, либо дает неверный ответ. Логически доказать теорию никак нельзя, так как никто не может проделать всех мыслимых экспериментов, которые она охватывает. «Единство природы» — фраза, которую можно часто услышать. Но хорошо было сказано, что единство природы существует везде, кроме лабораторий, ибо лабораторные приборы имеют привычку вести себя самым иррациональным образом, будто одержимые дьяволом, и задача экспериментатора, притом весьма трудная, — приручить их и добиться хоть какого-то единообразия.

---

\* Карл Поппер — австрийский философ, автор книги «Логика научного открытия». (Прим. перев.)

Кроме этих практических соображений, существует теоретическая невозможность простого повторения эксперимента, и, следовательно, нельзя утверждать, что одинаковые опыты дают одинаковые результаты. Идеальный эксперимент можно поставить (или хотя бы надеяться на это) только тогда, когда наблюдатель со всеми приборами полностью изолирован от остальной Вселенной, ибо если такой изоляции нет, то надо учитывать состояние остальной Вселенной, — и весь опыт усложняется до невероятной степени. На практике экспериментатор допускает, хотя и неохотно, некоторые обобщенные влияния внешнего мира, например, если эксперимент проводится на Земле, то приходится допускать действие силы тяжести; однако это хорошо знакомый и к тому же постоянный фактор, с которым легко примириться и который совсем не обязательно должен сильно усложнить дело. Космические лучи — более беспорядочный фактор, и полностью защититься от них трудно. В подавляющем большинстве экспериментов их действие никого не беспокоит по очень простой причине. Существующие теории происходящих явлений говорят, что космические лучи не могут оказать никакого влияния. Но в этом-то и все дело: чтобы эксперимент был полезным, нужно владеть теорией явлений, существенных в этом опыте. Только тогда вы сможете сделать эксперимент определенным, не заботясь о его повторяемости. Когда же говорят о повторяемости эксперимента, то имеют в виду, что в результате некоторых действий в соответствии с теорией должен получиться результат, аналогичный полученному ранее. Условия опыта в действительности никогда не повторяются. Рассмотрим, например, такой случай. Современный ученый думает, что единственные воздействия Луны, которые ему следует принимать во внимание, — это ее свет и действие на приливы, а астрологу XVII столетия, когда астрология была совершенно уважаемой наукой, это показалось бы недопустимым, он сказал бы, что многое может зависеть от того, убывает Луна или прибывает, а также от того, как располагаются планеты. В этом же было ничего нелогичного или ненаучного до тех пор, пока большое число наблюдений не показало, что большинство экспериментов можно воспроизвести при различном расположении планет. И это весьма кстати, ибо

планеты никогда не возвращаются к точно такому же расположению, а если бы их влияние всегда было существенно, то никогда нельзя было бы повторить ни один эксперимент. Но это не так, и удалось создать теории происходящего, вполне удовлетворительные в том смысле, что если требования теории выполнены, то наблюдаемые результаты в определенных пределах точности совпадут с предсказанными. Это доказывает важность теорий, даже зачаточных, на всех стадиях исследования. До тех пор пока нет хорошей теории, позволяющей судить о том, что может произойти, невозможно даже наметить эксперимент, а тем более провести его.

Вернемся к примеру с картой. В любом использовании теории для предсказания хода опыта или поведения машины и в любом опыте, предназначенном для проверки теории, необходим процесс, который можно описать как «двойной перевод». В случае с картой это выглядит следующим образом: вначале чертят карту, изображающую часть местности, а затем по этой карте распознают реальные объекты, соответствующие показанным на карте горам, ручьям и лесам. Иными словами, карта — это перевод местности на бумагу, а ее использование — перевод с бумаги на местность. Так же обстоит дело и с теорией: на основе наблюдений и экспериментов строят теорию, применимую к тому типу явлений, которым интересуются. Обычно теория выражена математически в форме уравнений между некоторыми величинами. Применяя теорию в частном случае, в уравнения вводят числа, характеризующие размеры приборов, вес, температуру или что-то другое, что теория считает важным. Затем крутят ручку математической машины, часто смазывая ее шестеренки довольно решительными приближениями, и, при некотором везении, получают ответ. Одни символы приобретают определенные численные значения, другие оказываются нулями. Теперь нужен обратный «перевод» в реальность, переход к действительно наблюдаемым явлениям. Иногда такой перевод сделать нетрудно. Например, если символом обозначен ток в каком-то проводе, куда подключен амперметр, тогда нужно только снять показание амперметра и убедиться в том, подтверждает оно или опровергает теорию. На практике это так просто лишь для теорий мелкого масштаба; более абстрактные теории большей

частью дают ответ, не столь прямо связанный с экспериментом, и обычно необходимы вспомогательные вычисления, чтобы связать результат основной теории с показаниями стрелок, с углом между следами частиц на фотографической пластине или скоростью самолета. Однако принцип остается тем же. Теория — это карта, которая сообщает нам, как выглядит тот или иной кусочек мира. Чтобы ею воспользоваться, вы должны отождествить отметки на карте с явлениями, реально видимыми и осязаемыми.

Было время, когда количественная сторона физики переоценивалась. Измерение и последующее использование математики — чрезвычайно мощные средства, но решающие эксперименты носят, по существу, качественный характер. Прекрасно, если при создании самолета конструктор может рассчитать его скорость; однако подлинное испытание машины будет состоять в том, чтобы доставить вас в Нью-Йорк прежде, чем ваши друзья устанут от ожидания, а если это военный самолет — в том, чтобы он, а не самолет противника, благополучно вернулся с боевого вылета. То же самое целиком относится и к чистой науке.

Всегда можно построить теорию, даже много теорий, чтобы объяснить известные факты, а иногда и предсказать новые. Проверка этих теорий носит эстетический характер. Некоторые из них громоздки, произвольны, охватывают ограниченный круг явлений. Такие теории редко живут долго.

Об эстетической стороне естественнонаучных понятий и теорий написано мало. Она здесь не совпадает с эстетической стороной математики, великолепно раскрытой Харди в его гениальном очерке «Апология математики». Но существует и сходство. И там и здесь высоко, даже очень высоко, ценится общность, так же как и простота. Все, что вводится явно для подгонки теории, например конкретная числовая величина, делает теорию уродливой, но уродство может превратиться в изящество, если окажется, например, что эта величина связана с другой, которая встречается в общепризнанной теории смежных явлений. Физика отличается от математики большей готовностью отдать предпочтение новым понятиям, даже второстепенным.

Существуют школы научного вкуса, такие же, как школы вкуса в искусстве. Для многих физиков важно, чтобы теория была интуитивной, основанной на идеях, которые можно себе представить; для других, обладающих более абстрактным и математическим складом ума, это не обязательно, а некоторые могут даже считать такую возможность пороком. Место интуиции тогда занимают строгое определение понятий и точные логические суждения. Это хорошо для задач, которые можно решить до конца, но для многих задач, которые не решаются полностью, такой подход оказывается совершенно несостоятельным. В то же время более интуитивные теории обычно дают приблизительное представление о возможном решении, особенно если накоплен достаточный опыт с похожими, более простыми задачами, которые могут быть практически решены. В физике, как и в математике, ощущение большой красоты возникает в том случае, если теория способна охватить на первый взгляд очень разрозненные явления и показать их тесную связь; либо объединить разные аспекты одной и той же проблемы, как это сделал Максвелл, показавший, что обобщение законов электричества дает также возможность объяснить световые явления через электрические и позволяет правильно определить скорость света путем чисто электрических измерений; либо, если теория оказывается способной, как теория Ньютона, показать, что Луна падает словно обыкновенное яблоко.

Красота эксперимента зависит прежде всего от замысла, проникающего в самую суть, от того, задается ли в эксперименте вопрос, на который природа готова ответить. При выполнении опыта можно восхищаться экономией усилий, затрачиваемых не больше, чем нужно для успеха; на более низком уровне следует отдать должное тонкой изобретательности. Как и для достижения успехов в любом виде искусства, эстетические качества опыта должны быть поддержаны техническим умением, иначе эксперимент просто не даст никакого ответа. Эта сторона экспериментальной работы наиболее очевидна для молодого исследователя.

Джеймс Максвелл родился в зажиточной шотландской семье. Клерки из Пенквика в Мидлотиане принадлежали к известному старинному роду, переселившемуся из Абердиншира во времена Марии Стюарт. Фамилия Максвелл появилась в семье с женской стороны, за несколько поколений до Джеймса, дедушка Джеймса еще не носил ее. В придачу к фамилии появилось и поместье, часть которого, лежащая в Киркудбрайтшире, вместе с особняком Гленхер, сохранилась к моменту рождения будущего ученого. Там Максвелл провел свое детство и возвратился туда в зрелые годы. Мать Джеймса умерла, когда мальчику исполнилось восемь лет. С отцом в течение всей его жизни Максвелл сохранил тесную дружбу. Отец Максвелла был человеком твердого здравого смысла и проявлял острый интерес ко всякой практической деятельности. Он поощрял занятия сына ремеслами и черчением.

Джеймс поступил в школу в Эдинбурге, а затем в возрасте шестнадцати лет поступил в Эдинбургский университет. Ему повезло, так как он попал в один из немногих университетов, где уже в те времена профессор Форбс, с которым Максвелл очень подружился, вел экспериментальную работу в области физики. В университете Максвелл научился токарничать и сам выточил игрушку — «чертика на двух палочках», как тогда называли игру «дьяболо». Волчок был сделан из увесистого куска черного дерева\*. Девятнадцати лет Максвелл отправился в Кембридж изучать математику, так как в те дни физика еще не стала признанным разделом науки и путь в нее лежал через математику.

Сегодня физики знают Максвелла по двум основным работам: кинетической теории газов и уравнениям электромагнитного поля. На самом деле Максвелл сделал гораздо больше, включая и экспериментальные исследования, но его успехи в теории были гораздо важнее.

Максвелл не был первооткрывателем кинетической теории газов. Представление о том, что газ состоит из

---

\* Игра в «дьяболо» состоит в том, что на нитке, которая привязана к двум палочкам, раскручивают специальный волчок. Волчок имеет форму двух усеченных конусов, склеенных вершинами. Раскрутив волчок, его подбрасывают и снова ловят на нитку и т. д. Волчок должен быть изготовлен очень точно. (Прим. перев.)

большого числа частиц, несущихся во всех направлениях, сталкивающихся друг с другом и со стенками сосуда, относится еще к XVII столетию. Но Максвелл первым увидел, как извлечь порядок из этого хаоса. Он доказал математически, что именно из-за беспорядочности движений и столкновений частиц распределение энергии между ними подчинено строгому закону и его можно вычислить. Например, число частиц, обладающих более чем удвоенной средней кинетической энергией, равно 8,3% всего числа частиц, а число частиц с энергией, превосходящей утроенную среднюю кинетическую энергию, составляет только 2,5%. Среди хаоса возникает порядок.

Но, наверное, еще удивительнее, что этот закон не зависит от природы частиц или сил, которыми они действуют друг на друга. В определенных границах максвелловский закон — это фундаментальное свойство материи, находящейся в равновесии. Кинетическая теория газов — единственный раздел физики XIX столетия, где потребовалось представление о вероятности, представление, которое так часто необходимо теперь. Максвелл сознавал специфический характер своей теории. Он придумал некое существо, «демона», который сидит у дверцы в стенке, разделяющей два сосуда с газом при одинаковой температуре. Когда сверхбыстрая молекула движется справа, «демон» открывает дверцу так же, как он открывает ее, если слева движется очень медленная молекула. В остальных случаях «демон» держит дверцу закрытой. Так как температура зависит от средней энергии частиц, температура газа слева от стенки начнет возрастать, а справа — падать. Такой результат совершенно противоречит второму принципу термодинамики, согласно которому разницу температур можно получить лишь тогда, когда существует внешний источник механической, химической или другого вида энергии. «Демон» же осуществляет это исключительно интеллектуальным образом, физическим усилием, которое он при этом затрачивает, можно пренебречь!\*

---

\* Этот парадокс с «демоном» Максвелла долгое время теоретически разрешить не удавалось. И только после включения в обиход науки понятия информации стало ясно, что это была лишь иллюзия, возникавшая вследствие игнорирования затрат энергии на получение информации о скорости движения молекул. И действительно, чтобы

Уравнения Максвелла являются комбинированным выражением основных законов электричества и магнетизма. Эти уравнения блестяще выдержали испытание временем. Правда, пришлось вложить в них несколько иной смысл, чтобы приспособить их к нуждам квантовой теории и учесть существование электронов. Однако уравнения Максвелла остались обязательной частью физики. Физиков-теоретиков наших дней нельзя обвинить в излишнем поклонении авторитетам или тем более их теориям. Но даже они не отваживаются внести в уравнения Максвелла поправки. Можно лишь поражаться, что Максвелл пришел к своим уравнениям с помощью рассуждений, где фигурировала сложная модель с вращающимися вихрями, изображавшими магнитные силы; эти силы передавались частицами, игравшими роль свободных шестеренок в зубчатой передаче — аналоге электрического тока. Если бы такое доказательство кто-нибудь увидел сегодня, то хватило бы и беглого взгляда, чтобы, не колеблясь, выбросить этот труд в мусорную корзину. Подводя итоги, Максвелл отбросил почти весь этот механизм; в результате появилась теория, которая казалась современникам сложной и надуманной. Ее признавали с трудом, хотя она привлекла внимание людей такого калибра, как мой отец и Хевисайд, которые способствовали ее распространению. И лишь после того как Герц обнаружил электромагнитные волны экспериментально, теория Максвелла окончательно утвердилась.

Максвелл был первым кавендишским профессором экспериментальной физики в новой лаборатории, построенной на средства герцога Девонширского, в прошлом получившего второй приз на кембриджском конкурсном экзамене по математике. Но Максвелл не был назначен на этот пост сразу же после учреждения лаборатории, и прошло еще некоторое время, прежде чем он смог приступить к работе. Максвелл потратил много энергии, чтобы купить на деньги герцога необходимую

---

оценить эту скорость, «демон» по меньшей мере должен увидеть молекулу, для чего нужно ее «осветить», например, с помощью электрического фонарика. Но электрический фонарик, и вообще любой источник света, требует определенного расхода энергии (в данном случае от батарейки). Выходит, что второй принцип термодинамики вовсе не нарушается. (*Прим. ред.*)

аппаратуру. В результате он мог заявить, что его лаборатория имеет «все приборы, необходимые при сегодняшнем состоянии науки». В утверждении Максвелла не приходится сомневаться, но я помню, как отец говорил, что позднее этого уже сказать было нельзя.

В Кембридже Максвелл посвятил много времени подготовке к изданию рукописей Кавендиша. Это была чрезвычайно трудная работа. Генри Кавендиш — один из предков герцога Девонширского, живший в восемнадцатом столетии, был эксцентричным вельможей и гениальным ученым. Он опубликовал всего две работы, обе по особому случаю, но оставил после себя массу рукописей. Максвелл сумел показать, что Кавендиш фактически предвосхитил большую часть открытий, сделанных в электростатике через пятьдесят лет после его смерти. Издание Максвеллом рукописей Кавендиша — образец для историка науки, но нельзя не пожалеть о затраченном для этого времени.

Было бы ошибкой представлять себе Максвелла одним из чопорных викторианцев того времени. Во-первых, быть может, викторианцы были не такими уж чопорными, как нам кажется, а во-вторых, конечно, к Максвеллу это не могло иметь никакого отношения. Его чувство юмора было врожденным и проявлялось по-всякому: в скетчах, которые иллюстрируют его письма домой, в комических стихах, хотя Максвелл писал и серьезные. Его пародия на «Пробираясь до калитки...» Р. Бернса популярна до сих пор.

Юмор Максвелла коснулся даже физики. Кто, кроме Максвелла, назвал бы своего молекулярного привратника «демоном»? Но максвелловский «демон» родился на свет и таковым останется.

Максвелл умер 5 ноября 1879 г. Немногие люди заслужили такое единодушное одобрение современников. Максвелл был чрезвычайно привлекательной личностью; и письма, и воспоминания сходятся на этом. Он был хорошим сыном, любящим мужем, чутким и преданным другом. Во всех человеческих отношениях широко проявлялись его бескорыстие и доброта. Максвелл был глубоко религиозным человеком, очень сдержанным, исключая те редкие обстоятельства, когда долг призывал его оставить сдержанность либо в отношениях с очень близ-

ными людьми. Из писем, приведенных в «Жизни Максвелла» Льюиса Кэмпбелла, ясно, что вера Максвелла была результатом серьезных и глубоких размышлений и шла от его интеллектуальной убежденности, так же как и от чего-то гораздо более важного.

## ИЗ ЧЕГО ВСЕ СДЕЛАНО?

### АТОМЫ

Если, рассматривая обыкновенные материальные предметы — кусок дерева или камня, ноготь или воду в графине, задать себе вопрос, из чего же, в конце концов, они сделаны, то можно дать два ответа. Во-первых, можно сказать, что, хотя дерево состоит из волокон, а камень из песчинок, скрепленных друг с другом, — это лишь грубое строение. При дальнейшем делении выявится несколько однородных веществ, которые можно уже дробить дальше, сколько угодно, вплоть до предела, который определяется лишь тонкостью инструментов, используемых для дробления. Но возможен и другой ответ: все тела состоят из очень большого числа маленьких твердых тел — атомов, которые у любой частицы материи могут быть одинаковыми или разными. Такой ответ еще в пятом веке до нашей эры дал первый из атомистов — Левкипп. Современная наука целиком и полностью на стороне атомистов, но понятие атома со времен Левкиппа сильно изменилось, особенно за последние семьдесят лет.

До конца прошлого века еще можно было, хотя все с большим трудом, относиться к представлению об атомах как к гипотезе — гипотезе полезной, но до конца не доказанной, применять которую надо было с большой осторожностью. Блюстители научной строгости отстаивали именно такой подход, но химики, особенно не задумываясь, пользовались представлением об атомах большую часть столетия. Однако осторожность стала педантизмом, когда появилась возможность разными способами наблюдать отдельные атомы и части атомов. Делимость атома в корне перевернула первоначальное представление о нем. Это был поистине революционный шаг в то время,

она Дж. Дж. Томсон впервые представил неопровержимые доказательства делимости атома, собранные в ряде опытов в течение двух лет, начиная с мая 1897 г. Последователи Левкиппа — Демокрит и Эпикур, правда, специально обсуждали (даже в какой-то мере подробно) вопрос о «частях» своих атомов, но эти «части» они считали неотделимыми от целого. Само слово «атом» переводится как «неделимый». Но название сохранили и после открытия делимости. И это правильно не только потому, что менять название было бы чрезвычайно неудобно, но прежде всего потому, что современный атом занимает в теории место, гораздо более близкое атомам Эпикура, чем то, которое могли бы занять более новые атомные частицы — электрон и протон.

Чтобы связно рассказать о фактах, которые привели к современным понятиям молекул, атомов, электронов, ядер и их частиц, понадобилась бы целая книга. Я сообщу такие факты лишь для двух случаев. В остальных я приведу только выводы.

На Земле существует свыше 90 разновидностей атомов\*. Анализ света от Солнца и звезд показывает присутствие в космосе большей части этих атомов (и кстати, никаких других). Каждый вид атомов имеет название и образует химический элемент, например водород, углерод, кислород, натрий, алюминий, серу, хлор, железо, медь, олово, золото, радий. В большинстве случаев атомы элемента неоднородны и образуют несколько подвидов. Каждый определенный подвид называется изотопом элемента и обычно обозначается целым числом, которое является приблизительной мерой его относительного веса. Так, углерод-13 — название редкого изотопа углерода; большая часть атомов углерода имеет атомный вес 12, но один из сотни атомов оказывается тяжелее и весит около 13 единиц. Из всех элементов лишь 30 действительно широко распространены, а многие встречаются очень редко, хотя и они все чаще применяются в технике, и только очень немногие элементы пока совсем не используются. В природе же редкие элементы часто

---

\* Автор имеет в виду элементы, которые встречаются в природе. Искусственный синтез новых атомов привел к тому, что в таблице Менделеева заполнено уже 104 клетки. (Прим. перев.)

необходимы живым организмам. Хорошо известно, что некоторые австралийские пастбища нуждаются в удобрении кобальтом, а недостаток селена служит причиной заболеваний овец.

Некоторые из 90 элементов радиоактивны, хорошим примером может служить сам радий. Атомы радиоактивных элементов нестабильны и распадаются на атомы других элементов. Период полураспада атомов радия составляет 1590 лет, однако количество радия на Земле почти не меняется. Распавшийся радий заменяют атомы, возникшие в результате распада более тяжелых элементов, которые, в свою очередь, возникли из других, еще более тяжелых. В конечном счете все эти элементы ведут свою родословную от урана или тория, тоже нестабильных, но обладающих столь долгим временем жизни, что до сих пор сохранилась большая часть того количества урана и тория, с каким начала свой путь наша Земля примерно 4000 миллионов лет назад. Атомы тяжелее урана можно получать искусственно. Все они более или менее нестабильны. Один из этих элементов, плутоний, приобрел колоссальное военное значение как материал для атомной бомбы. Кроме того, все элементы могут иметь радиоактивные (и поэтому нестабильные) изотопы, их получение стало сейчас коммерчески выгодным делом.

Все вещества содержат примеси. Даже германий и кремний, специально очищенные для производства транзисторов, имеют примеси в несколько миллионных долей процента. Но если пренебречь следами загрязнений, относительно чистые вещества можно грубо разделить на две категории: элементы и соединения. В элементе (снова пренебрежем следами примесей) все атомы принадлежат к одному виду, а в некоторых исключительных случаях и к одному подвиду. Например, металлы: медь, серебро, золото и железо являются элементами, так же как графит (углерод), сера и иод — примеры элементов среди неметаллов. С другой стороны, вода, соль, серная кислота, ацетон — типичные соединения. В обычном соединении атомы собраны в группы, называемые молекулами, причем все молекулы одинаковы. Например, каждая молекула водяного пара содержит два атома водорода и один кислорода и обозначается как  $H_2O$ . Молекулы проще всего обнаружить, когда вещество находится в

газообразном состоянии. В жидкостях молекулы могут слипаться в группы из двух или трех молекул, а во многих твердых телах истинных молекул не существует и есть лишь правильное расположение атомов. Например, в поваренной соли равное число атомов натрия и хлора расположено таким образом, что каждый атом натрия окружают шесть атомов хлора, находящихся в вершинах воображаемого октаэдра, в центре которого лежит натрий. И наоборот, каждый атом хлора окружен шестью атомами натрия, точно так же расположенными вокруг него.

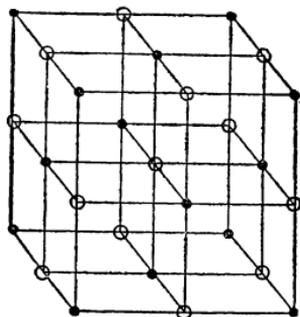
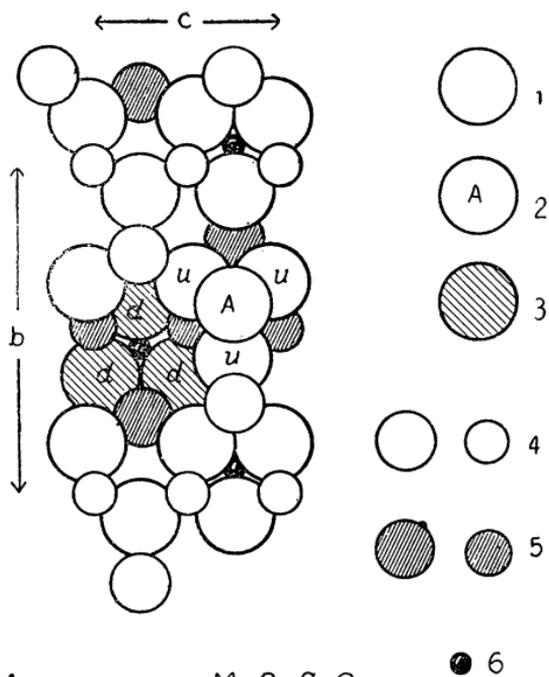


Рис. 1. Структура хлористого натрия (поваренной соли). Темные кружочки изображают центры атомов натрия, а светлые — атомов хлора. Но если структура имеет бесконечную протяженность, то, как нетрудно видеть, будет верно и обратное, ведь каждый темный кружочек окружен шестью светлыми и каждый светлый — шестью темными.

Однако в истинных соединениях всегда сохраняется определенное количественное соотношение между атомами: столько-то атомов одного вида приходится на столько-то атомов другого вида. Соединения могут состоять из атомов нескольких видов, но всегда в определенных целых пропорциях. Закон целых пропорций фактически служит определением истинных соединений. Растворы (например, раствор соли в воде) в некотором смысле промежуточны между истинными соединениями и грубыми смесями, такими, как старинный черный порох, приготовлявшийся из смеси тонко измельченной селитры, серы и угля. Отдельные крупинки смешанных веществ можно увидеть под микроскопом, однако, сколько бы мы ни увеличивали изображение капельки солевого раствора, он будет представляться нам однородной жидкостью. В этом отношении раствор подобен соединению между солью и водой, но все же раствор нельзя считать истинным соединением, так как соль может находиться в

воде в любой пропорции, вплоть до насыщения раствора. В отличие от этого ряд твердых тел, таких, как карбонат натрия (стиральная сода), представляет собой истинные соединения соли с водой (в стиральной соде на одну молекулу карбоната натрия приходится десять молекул во-



Монтицеллит -  $MgCaSiO_4$

Рис. 2. Элемент структуры типичного кремниевого минерала, показывающий, как между более крупными кислородными атомами располагаются меньшие кальциевые, магниевые и кремниевые атомы.

1. Атомы кислорода, лежащие примерно в плоскости бумаги.
2. Атомы кислорода, лежащие в плоскости над бумагой, включенные в рисунок для того, чтобы показать тетраэдрические группы.
3. Атомы кислорода ниже плоскости бумаги.
4. Атомы Ca и Mg, лежащие на слое кислородных атомов типа 1.
5. Атомы Ca и Mg, лежащие ниже слоя кислородных атомов.
6. Атомы Si.

ды). Некоторые сплавы, такие, как сплав золота с серебром, подобны растворам, другие относятся к истинным соединениям.

Очень важный класс соединений — органические соединения. Этот термин вначале применяли к соединениям, выделенным из живых тканей. Сейчас под органическими подразумевают просто соединения, содержащие углерод. Обыкновеннейшим сырьем современного химического производства служит сырая нефть, которая, быть может, хотя и образовалась из морских животных много веков назад, сейчас потеряла всякие следы своего проис-

рождения. Некоторые органические соединения, такие, как болотный газ, имеющий пять атомов в молекуле, либо метанол (метиловый, или древесный, спирт), состоящий из шести атомов, довольно просты. Однако многие органические соединения, исключительно важные для жизни, крайне сложны. Гемоглобин и миоглобин — два белка, структуру которых в момент, когда пишется эта книга, расшифровывают Перутц и Кендрию\* в Кембридже, содержат соответственно около 10 000 и 2500 атомов в молекуле. По-видимому, каждый атом этих белков занимает свое определенное место в молекуле и замена одной из атомных групп в крови животного или человека другой, даже очень близкой, отличающейся лишь одним или двумя атомами, может привести к смертельному заболеванию.

Молекулы белков — самые сложные из известных сегодня; очевидно, они и самые сложные из тех, которые необходимы для жизни. Мириады менее сложных молекул живого вещества уже изучены полностью и искусственно синтезированы. Принципиальных различий между соединениями в живых организмах и в остальной природе нет, разве что некоторые из молекул живого очень и очень сложны. В своих исследованиях химики не только выяснили число атомов каждого типа, составляющих данную молекулу, но и узнали, как расположены в молекуле эти атомы. Чаще всего молекулы построены из атомов подобно дому из кирпичей, но иногда встречаются подвижные части, и молекула периодически меняет свою конфигурацию, словно мягкий резиновый мяч, который то сминается в чашечку, то расправляется снова. Обычно расположение атомов в молекуле подтверждается тем, как они рассеивают рентгеновские лучи.

Во всяком исследовании атомов и молекул всегда поражаешься одному — поведению атомов и молекул по отношению друг к другу. Они и в самом деле плотно пригнаны между собой, если и не как пушечные ядра в горке, то по крайней мере как теннисные мячи. Каждый из атомов стремится занять строго определенное место, их

---

\* За расшифровку молекулярной структуры белков гемоглобина и миоглобина М. Перутц и Д. Кендрию удостоены в 1962 г. Нобелевской премии по химии. (Прим. перев.)

можно немного сжать, но если сжатие чрезмерно, это называется на стабильности всей структуры, будь то кристалл или органическая молекула. К сожалению, как мы позже увидим, электроны не ведут себя столь добропорядочно и даже сами атомы иной раз могут вести себя довольно странно.

Открытие электрона знаменует эпоху в физике, а ход событий, которые к нему привели, достаточно типичны для многих великих открытий, и об этом стоит рассказать поподробнее.

Две разные идеи встретились и слились после 1897 г. Одна восходит к наиболее раннему периоду греческой мысли, даже до Левкиппа; это идея об универсальном элементе, из которого сделано все. Вторая идея медленно зрела в течение XIX столетия. Это идея о том, что электричество состоит из естественных частичек. Наука восемнадцатого столетия после многих туманных разговоров об эманации пришла к представлению о том, что электричество — особая жидкость или, возможно, две жидкости. Обычным способом получения электричества в то время было трение. Позднее, когда Гальвани и Вольта открыли электрический ток, вызываемый химическими реакциями в ячейках, похожих в принципе на сухие батарейки от карманных фонариков, приобрели значение химические явления в электричестве.

В тридцатые годы XIX века Фарадей исследовал химические изменения, возникающие, когда ток проходит через растворы солей (сходные растворы используют в гальваностегии). Фарадей назвал наблюдаемый процесс электролизом. Он измерил количество газов и твердых веществ, выделяющихся на двух пластинках — электродах, через которые ток поступает в раствор и выходит из раствора. Фарадей обнаружил простое соотношение между относительными весами веществ, выделяемых данным током за данное время, и относительными весами тех же веществ, когда они вступают в химическое соединение друг с другом. Электрический ток расщепляет соединение на две составные части. Каждый компонент выделяется на одном из электродов, и количество разложившегося вещества пропорционально прошедшему количеству электричества, то есть произведению силы тока на время. Процесс выглядит так, будто химические со-

длинения распадаются молекула за молекулой, каждая на две части, причем каждая из этих частей несет заряд либо «положительного», либо «отрицательного» электричества\*.

Движение этих зарядов создает электрический ток через раствор, так же как движение капелек воды создает поток или течение воды. Приняв такое представление и учитывая найденные Фарадеем соотношения между силой тока и скоростью выделения веществ на электродах, следовало считать заряды положительно заряженных половинок многих молекул одинаковыми. Тот же вывод следовал и для отрицательных половинок. Для некоторых молекул заряд каждой из половинок равнялся в точности двух- или трехкратному нормальному заряду. Половинки молекул иногда были отдельными атомами, иногда группами атомов; и те и другие могли иметь лишь нормальный или кратный ему заряд. Во всяком случае, масса каждой половинки молекулы была связана с определенным зарядом. Отношение  $\frac{e}{m}$  (заряд, деленный на массу) характеризовало только данный тип атомов или групп атомов. Для нас сейчас это очень убедительное свидетельство существования единичного заряда. Но если электрический заряд делился на единицы в растворах, то почему он должен вести себя иначе в остальных случаях? Хотя такую возможность и признавали, ей не придавали слишком большого значения. Самые важные успехи физики девятнадцатого столетия были связаны с понятием непрерывности. Представлением об атомах, как правило, пользовались химики... Сам Фарадей и после него Максвелл больше размышляли о том, что происходит в пространстве между двумя наэлектризованными телами, чем о природе зарядов, которыми, как считалось, обладали эти тела. Реальность зарядов поэтому казалась довольно зыбкой. Заряды могли оказаться лишь способом связи электрических процессов в эфире с материей, благодаря которому эти электрические процессы становились доступными наблюдению.

---

\* Термины «положительное» и «отрицательное» электричество следует рассматривать здесь просто как наименования двух видов электричества. (Прим. автора.)

Однако к концу столетия взгляды изменились. Великий голландский физик Лоренц выдвинул теорию электричества, где заряд играл более важную роль; он использовал слово «электрон», которое изобрел в 1891 г. Джонстон Стони, сознававший значение явлений, обнаруженных при электролизе. Лоренц приписал заряду определенную массу. За десять лет до этого Дж. Дж. Томсон показал, что заряд автоматически вызывает появление некоторой дополнительной массы и она тем больше, чем меньше тело, несущее заряд. Однако никаких экспериментальных доказательств тогда не существовало.

Другая линия событий, связанных с открытием электрона, восходит к истории катодных лучей. Катодные лучи появляются, если электрический ток проходит через газ под достаточно низким давлением; газ обычно помещен в стеклянную трубку с впаянными в нее металлическими электродами, вводящими и выводящими ток. От отрицательного электрода, катода, идет пучок еле заметных в газе лучей, которые, попадая на стекло, вызывают яркое пятно флуоресценции. Обычно пучок прямолинеен, но его легко изогнуть, если поднести к трубке магнит. В трубке нужен довольно хороший вакуум, поэтому открытие катодных лучей в середине девятнадцатого столетия стало возможно лишь благодаря усовершенствованию воздушных насосов.

В начале девяностых годов разгорелась острая дискуссия о природе катодных лучей. Одна школа, более сильная в Англии и во Франции, считала, что это частицы, вырывающиеся из катода электрической силой. Другая, более сильная в Германии, считала катодные лучи новой формой волн. И пришлось дожидаться 1927 г., чтобы убедиться в правоте и тех и других, но нас сейчас занимает середина девяностых годов.

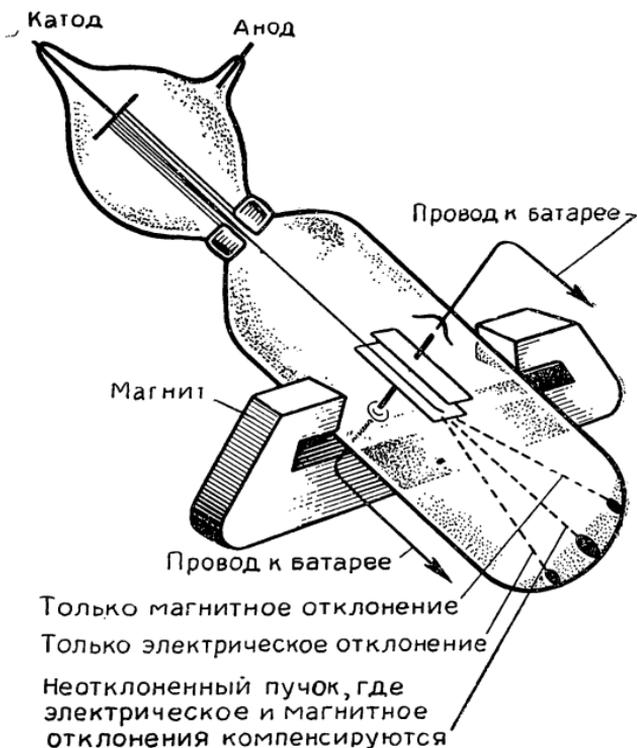
Доводы соперничающих школ имели примерно равную силу. Герц незадолго до этого открыл радиоволны, предсказанные Максвеллом, и волны носились в воздухе в буквальном и переносном смысле. Ленард в Гейдельберге сумел вывести пучок катодных лучей в атмосферу, закрыв часть трубки окошком из очень тонкой металлической фольги. Лучи прошли через фольгу, не повредив ее, хотя в фольге не было отверстий, и вакуум в трубке сохранялся. Казалось, трудно объяснить это, если лучи —

частицы, ведь в то время не было известно ничего меньше, чем атомы.

С другой стороны, Перрен в Париже показал, что если собрать лучи в металлическую чашечку перед тем, как они попадут на стенку, то чашечка зарядится отрицательно. К тому же в магнитном поле лучи вели себя так,

Рис. 3. Опыт Дж. Дж. Томсона по определению отношения  $\frac{e}{m}$ .

Электрическое поле между пластинками находят по напряжению батареи. Поле магнита измеряют во вспомогательном эксперименте. Скорость лучей определяют, уравнивая оба типа отклонений.



как вел бы поток отрицательно заряженных частиц. Однако, когда Герц пропустил пучок катодных лучей между двумя параллельными металлическими пластинками в газе и затем соединил пластины с полюсами электрической батареи, ничего не получилось. А ведь заряженные частицы должны были бы сместиться под действием электрических сил — и пучок должен был изогнуться.

Дж. Дж. Томсон слегка видоизменил схему опытов Перрена и показал, что эксперимент удастся, даже если катодные лучи предварительно изогнуть магнитным полем. Кроме того, Дж. Дж. Томсон измерил величину маг-

нитного отклонения и показал, что она не зависит от природы остаточного газа в трубке и от металла, из которого сделан катод, если поддерживать между электродами постоянное напряжение. Проще всего было объяснить эти результаты, если считать частицы катодных лучей одними и теми же во всех случаях, и такая универсальность катодных лучей сильно поразила Томсона. Ленард до этого обнаружил, что лучи одинаково поглощаются равными массами вещества, независимо от химического состава этой массы. Для атомов такая независимость от химического строения вещества была бы совершенно непонятной, но все легко объяснялось, если в опытах Ленарда какая-то универсальная частица (или корпускула, как называл ее Томсон) останавливалась после соударений со многими подобными корпускулами в веществе; причем корпускулы должны быть одинаковы для всех веществ и содержаться в количествах, пропорциональных массе. В дальнейших экспериментах, добившись улучшения вакуума, Томсон объяснил наконец и отрицательный результат опыта Герца. Неподвижность пучка в опытах Герца была сильнейшим доводом против того, что лучи состоят из заряженных частиц. Но на самом деле, как показал Томсон, в хорошем вакууме катодные лучи отклоняются электрическим полем. Неудача Герца объяснялась вторичным «загрязняющим» эффектом. Проходя через остатки газа, катодные лучи расщепляли часть его молекул на заряженные половинки, примерно так же, как это происходит при электролизе в растворе. Заряженные ионы, как называют такие половинки, притягивались к наэлектризованным пластинкам и создавали около них заряженные слои, которые частично или полностью компенсировали действие электрического поля даже на малых расстояниях. Убедившись в том, что катодные лучи— это частицы, Томсон двумя разными методами измерил у них отношение массы к электрическому заряду. Примерно в то же время оценить эту величину пытались и другие исследователи. Но их методы либо позволяли найти лишь пределы, между которыми лежит отношение, либо требовали вводить при расчетах труднооправдаваемые допущения. Методы же Томсона давали приемлемые, согласующиеся друг с другом результаты, которые показывали, что, какой бы газ или материал катода ни

использовали в опытах, отношение заряда к массе примерно в тысячу раз превосходило отношение, найденное Фарадеем для водорода в электролизе. А водород, самый легкий из элементов, обладал самым высоким отношением заряда к массе. Во втором методе измерения  $\frac{e}{m}$  Томсон использовал открытое им отклонение катодных лучей электрическим полем. Позднее, между прочим, этот прибор Томсона превратился в катодный осциллограф, самый ходовой из всех приборов современной радиоэлектроники.

Томсон сделал вывод, что его корпускулы гораздо легче любого известного атома и представляют собой универсальную составную частицу материи. За несколько месяцев до этого молодой голландец Зеeman повторил предсмертный эксперимент Фарадея. Эксперимент состоял в том, что натриевое пламя помещали в сильное магнитное поле и свет рассматривали в спектроскоп; нужно было проверить, изменятся ли видимые в спектроскопе две узкие желтые линии, расположенные близко друг к другу, когда появится магнитное поле. Фарадей никакой разницы не увидел. Зеeman, работавший с более сильным магнитом и лучшей аппаратурой, увидел, что в магнитном поле линии размыло. Более подробные наблюдения показали другие изменения света. Зеeman проконсультировался с Лоренцем, который объяснил эти явления на основе своей электронной теории. Считая, что электроны были источником света, Лоренц смог по данным Зеемана вычислить для них отношение заряда к массе. Отношение приблизительно совпало с тем, которое получил Томсон для катодных лучей.

Даже после поддержки со стороны другой области физики гипотеза об электроне была далеко не доказана, и практически немногие физики верили в нее. Но доказательства накапливались быстро.

С точки зрения математики большую величину отношения заряда к массе можно было приписать и большому заряду и маленькой массе. Помимо частиц катодных лучей в газах были известны и другие ионы. Годом раньше, вскоре после открытия рентгеновских лучей, Томсон и Резерфорд доказали, что электрическая проводимость в газах под действием лучей Рентгена появляется за счет

рождения ионов. Как обнаружил Ч. Т. Р. Вильсон, предпочтительно на этих ионах конденсируются капельки искусственного тумана, Томсон воспользовался им для измерения заряда ионов, образованных рентгеновскими лучами. Результат оказался примерно тем же, какой можно было ожидать для фарадеевых ионов в растворе. Но величину заряда удалось измерить только приблизительно. Через несколько месяцев Таунсенд хотя и косвенно, но достаточно точно определил, что заряды фарадеевых и рентгеновских ионов равны. Способность порождать ионы оказалась присуща и катодным, и рентгеновским лучам. В то время вряд ли имелась возможность измерить заряд отдельной частички катодного луча, это было бы нелегко и сейчас. Но кроме катодных лучей существовали и другие источники корпускул. Были известны еще два способа перевести частицы отрицательного электричества в вакуум: нагревание проволоки и облучение цинковой пластинки ультрафиолетовым светом. Томсон измерил отношение заряда к массе у носителей отрицательного электричества, которые получались при этом, и нашел, что оно такое же, как у катодных лучей. В опытах с ультрафиолетовым облучением Томсону удалось также измерить заряд носителей. Он совпал с зарядом, который определили в других опытах. Существование заряженных частиц, гораздо более легких, чем атом, и рождающихся в огромном числе различных веществ, больше не вызывало сомнений. Была открыта всеобщая составная часть материи. Представление древних греков об универсальном элементе оказалось верным.

Открытие электрона — хороший пример разнообразия требований, предъявляемых к исследованию в физике. Физик должен не только полуинтуитивно проникать в природу вещей, но и трезво оценивать экспериментальные факты, которым не всегда следует придавать тот смысл, какой они, казалось бы, имеют на первый взгляд. Если физик выдвигает теорию, он должен уметь выразить ее математически, а проверяя теорию, сконструировать приборы, позволяющие получить численный результат. Этот результат следует сравнивать с теорией, не вводя дополнительных допущений, или, если это невозможно, с минимальным числом таковых. Однако, даже после того как эти требования удовлетворены, успех или поражение бу-

дут зависеть от умения физика совершенствовать технику опыта, вносить в нее улучшения, которые постороннему наблюдателю, возможно, покажутся незначительными. Ведь, вообще говоря, вакуум в опытах Герца и многих других исследователей был вполне достаточным для получения катодных лучей, — так зачем было заботиться об его улучшении?

Электроны с тех пор стали одним из самых основных понятий, объясняющих строение материи. Но с течением времени само понятие сильно изменилось. О некоторых из этих изменений рассказывается в главе IX. А сейчас я перейду к периоду между открытием электрона и открытием ядра Резерфордом. О последнем я расскажу подробнее в следующей главе.

Сразу после открытия электрона стало ясно, что, хотя он и обладает массой меньше  $\frac{1}{1000}$  массы самого легкого атома (масса электрона составляет около  $\frac{1}{1837}$  массы атома водорода), в атоме вовсе не 1000 электронов. Три довольно грубых метода подсчета числа электронов в атоме показали, что оно примерно равно условному атомному весу. В действительности оно бывает даже меньше половины атомного веса. Так, у самого распространенного изотопа углерода с атомным весом 12 есть 6 электронов, а у самого распространенного изотопа урана с атомным весом 238 насчитывается 92 электрона. Таким образом, электроны составляют лишь мизерную долю массы атома. Следует учесть также, что электроны несут электрический заряд, условно именуемый отрицательным. А поскольку одноименные заряды отталкиваются, материя, состоящая только из электронов, должна была бы взорваться с чудовищной силой и, следовательно, не могла бы существовать. Значит, чтобы нейтрализовать электроны и возместить всю или большую часть недостающей массы, в атоме должен быть и другой, положительно заряженный компонент. Открытие этого компонента не было столь эффективным, как открытие электрона. Постепенно накапливались данные, которые показали, что остаток водородного атома, потерявшего один электрон, может быть таким компонентом. К тому же имелись веские основания думать, что в водороде действительно есть только один электрон. Во всяком случае, никто не сумел найти

частицу с положительным зарядом более легкую, чем эта, и главная трудность заключалась в том, что веса, измеренные химиками для атомов разных элементов, не были целыми кратными веса атома водорода. На самом деле такие веса близки к целым кратным, однако в то время еще не были открыты изотопы и химический вес элемента представлял собой среднее для разных изотопов, неразделимых химическими методами. Так у хлора, если вес водорода принять за единицу, химический атомный вес около 35,5. Часть атомов хлора имеет вес около 37. Средний вес, если учесть относительное число разных атомов в смеси, равен 35,5, что и обнаружили химики.

Однако было совершенно неясно, даже предположив, что массу и положительный заряд создавали «остатки» водородных атомов (в дальнейшем я буду называть их протонами), как эти «остатки» и электроны размещены внутри атома.

### ДЖОЗЕФ ДЖОН ТОМСОН

О его работах, связанных с открытием электрона, я уже рассказал. За ними последовал цикл работ самого Дж. Дж. Томсона и его многочисленных к этому времени учеников, где изучалось число электронов в атоме, механизмы электрической проводимости в газах, рассеяние рентгеновских лучей и ионизация, вызываемая ими, теория проводимости металлов и т. п.

Примерно в 1905 г. Дж. Дж. Томсон, или просто Джи-Джи, как называли его друзья, обратился к исследованию положительных лучей\*. В заметке об Астоне я расскажу, как это привело в конце концов к открытию изотопов обычных (нерадиоактивных) элементов. Здесь же об этом стоит упомянуть по другой причине. Изучая отклонения, вызываемые электрическим и магнитным полями (рис. 4), Томсон проанализировал положительные лучи в разрядной трубке (они наблюдаются позади катода, если в катоде просверлены отверстия или в него вставлена трубка) и показал, что они, как и предполагалось,

---

\* Положительные, или каналовые, лучи создаются потоком положительных ионов, проходящих через отверстия (каналы) в катоде. Открыты в 1879 г. немецким физиком М. Гольдштейном. (Прим. перев.)

представляют собой смешанный поток осколков атомов и молекул разной массы (а точнее, с различным отношением заряда к массе). Томсон зарегистрировал эти частицы на фотопластинках в виде изогнутых линий, настолько четких, что стало впервые ясно: атомы одного вида



Рис. 4. Положительные лучи. Изображение, оставленное на пластинке положительными лучами, отклоненными в горизонтальном направлении, действием электрического поля и в вертикальном направлении — действием магнитного поля. Изображение двойное из-за того, что направление магнитного поля было изменено на обратное в середине опыта. Каждая параболическая дуга соответствует определенному значению  $\frac{e}{m}$  и определенному атому или молекуле. Три наиболее яркие параболы с каждой стороны соответствуют атомам кислорода, азота и углерода с единичным электрическим зарядом. Более слабые параболы, дальше удаленные от центра, соответствуют тем же атомам с двойным зарядом. Газ в камере прибора представлял собой остатки воздуха с загрязнением углеводородами от смазки, используемой в стеклянных сочленениях.

обладают одной и той же массой и атомный вес не есть статистическое среднее, как, например, средний вес жителя какой-нибудь страны. Астону предстояло доказать, что в группу входят атомы одного и того же изотопа, а не одного и того же элемента, как считали раньше. Между прочим, приборы, где используется отклонение заряженных частиц в электромагнитных полях, сейчас широко применяются для анализа продуктов крекинга сырой нефти. Такое применение его открытия доставило бы Джи-Джи большое удовольствие, так как он всегда подчеркивал значение нового метода для химии\*.

\* Масс-спектрометрический анализ в химии, о котором здесь идет речь, необычайно бурно развивался в последние годы. Сейчас с его помощью исследуют даже строение сложнейших молекул белков. (Прим. перев.)

Джи-Джи получил математическое образование, много занимался теорией и до преклонных лет сохранил мастерство математического анализа, но образ его мышления был сугубо физическим. Математика была только орудием, но не источником вдохновения. Вдохновение же черпалось из четкого видения физических идей. Эскизы экспериментов Джи-Джи любил делать на оборотной стороне конвертов (кенвертов, как говорил Джи-Джи. Вероятно, в Манчестере, когда Джи-Джи был мальчишкой, в ходу было именно такое произношение). Джи-Джи привлекало представление о силовых линиях, введенное Фарадеем под впечатлением от картины, которую железные опилки образуют вблизи магнита, и развитое позднее Максвеллом. И электрические, и магнитные силовые линии Джи-Джи склонен был считать физической реальностью. Современные теории рассматривают электромагнитные силовые линии просто как удобное математическое понятие. Но это понятие очень полезно, тем более сейчас, когда исследуются способы удержания горячих газов с помощью магнитных полей, чтобы получить термоядерную реакцию. Известная установка «Зета» предназначена для решения именно этой задачи\*.

Томсон был твердо убежден в важности правильного подхода к проблеме. Он называл это проще: «взяться за нужный конец палки». Поэтому Джи-Джи отвергал обычный подход к новым задачам, когда вначале уходят из лаборатории и садятся за литературу по теме. Вместо этого Томсон советовал самому обдумать проблему и попробовать свой независимый метод решения. Позднее можно познакомиться и с тем, что сделали другие, однако если с этим поспешить, то потом будет трудно избавиться от предвзятых представлений и вряд ли удастся отыскать какой-то оригинальный подход к задаче.

Неверно было бы представлять себе Джи-Джи ученым-отшельником, хотя в последние годы жизни у него проскальзывали эти черты. В лучшие свои дни он был признанным вожаком группы свободных исследователей, первым человеком, по крайней мере в Англии, создавшим

---

\* Удерживать горячую плазму с помощью магнитных полей, в «магнитных сосудах», предложили советские физики — академики И. Е. Тамм и А. Д. Сахаров. (Прим. перев.)

научную школу такого образца. Резерфорд и Таунсенд стали первыми его учениками вне Кембриджа, но скоро их число возросло, и Кавендишская лаборатория стала мировым центром физики, поставлявшим профессоров почти для всех стран, в которых говорят по-английски. Большая часть традиционных лабораторных чаепитий берет свое начало в Кавендише, где Томсон приглашал учеников на чай в свою комнату и обсуждал с ними все, что угодно, кроме физики.

В 1917 г. Джи-Джи был назначен главой Тринити-колледжа, а когда кончилась война, уступил эту должность Резерфорду, сохранив за собой лишь небольшое помещение для собственной работы и исследований небольшой группы своих учеников.

Глава Кембриджского колледжа находится в любопытном положении, обладая малой властью, но весьма заметным влиянием. У Джи-Джи были собственные взгляды, как и что следует делать, но управлять людьми не доставляло ему удовольствия. Зато он горячо интересовался, чем заняты люди, и прежде всего мужчины, так как женщин, за немногими исключениями, он находил довольно скучными. Вряд ли существовал человек, с которым Томсон не сумел бы найти общий язык, или тема, по которой он не высказал бы новые или хотя бы своеобразные взгляды. Правда, отсюда следует исключить музыку. К ней Джи-Джи питал определенную неприязнь, которую он объяснял тем, что в ранней молодости ему приходилось сопровождать гостей в музыкальный зал на концерт. Томсон проявлял большой интерес к спортивным играм и, хотя был весьма посредственным игроком, знал все о кембриджском спорте за половину столетия.

Джи-Джи страстно любил садоводство, но в саду мало что делал сам. Крайне неловкий, Джи-Джи тем не менее умел обнаружить дефекты экспериментальной аппаратуры со сверхъестественной точностью. Однако преодолеть свою неуклюжесть Томсон никак не мог. Большая часть экспериментального оборудования монтировалась для него ассистентом Эвереттом, но показания с приборов снимал он сам. Джи-Джи был крайне неаккуратен с бумагами, но зато, как бы восполняя этот недостаток, писал ясным и действительно превосходным почерком, — это было единственным искусством его рук.

Джи-Джи имел плохую привычку не отвечать на письма. Я никогда не был уверен, в какой мере это уловка — иногда очень успешная, а в какой нежелание прерывать ход мыслей. Томсон обладал огромной способностью сосредоточиваться. Если он работал, то не стоило пытаться заговорить с ним, он просто не слышал, и это могло лишь смутить спрашивавшего. Мне довелось услышать, как Джи-Джи говорил, что лучший способ справиться с трудной проблемой — сначала тщательно изучить ее, а затем оставить и думать о чем-то другом; когда же затем снова возвращаешься к проблеме, решение может прийти само собой. В этот момент требовалось немало усилий, чтобы оторвать его от работы.

Джи-Джи обладал большим чувством юмора, но не там, где дело касалось физики, — она была превыше всего. Двумя великими добродетелями ученого в его глазах были самобытность и энтузиазм. Он ценил людей в соответствии с этим, но отдавал предпочтение энтузиазму, как необходимой движущей силе.

#### Ф. У. АСТОН

Деятельность Астона-физика стала выдающимся вкладом в науку по двум причинам: первая — его личное мастерство в изготовлении и проектировании приборов, вторая — его твердая вера в конечный успех, вера, которую не могло поколебать даже отсутствие достаточно убедительных экспериментальных результатов.

Дело происходило примерно так. Содди обнаружил, что многие радиоактивные вещества, возникающие при спонтанном распаде урана и тория, излучают по-разному, хотя химически неотделимы друг от друга. Содди назвал такие вещества изотопами и совершенно правильно рассматривал их как подвиды атомов. Эти события происходили еще до того, как Резерфорд открыл атомное ядро. Примерно тогда же Дж. Дж. Томсон работал со своими положительными лучами. Он искал положительный эквивалент электрона, но не нашел частицы более легкой, чем положительно заряженный атом водорода, который сейчас называют протоном. Томсон обнаружил, как я уже говорил, большое число других атомных и молекулярных частиц. В 1910 г. Астон, который был химиком по обра-

зованию и проработал три года на пивоваренном заводе, заинтересовался физикой газового разряда. В том же году Джи-Джи получил субсидию Королевского института и решил пригласить ассистента. Он предложил это место Астону, который должен был помогать ему в исследованиях положительных лучей. Не вдаваясь в детали опытов, следует сказать, что прибор Томсона разделял разные виды заряженных частиц в пучке положительных лучей, причем каждый тип частиц регистрировался в виде параболической кривой на фотографической пластинке в порядке изменения масс частиц, точнее, отношения массы к заряду. Когда в разрядную трубку поместили неон (один из группы инертных газов, обнаруженных после открытия Релеем аргона), появились две ранее неизвестные параболы. Масса, отвечающая более «интенсивной» параболе, близко совпадала с массой 20,2, ожидаемой для заряженного атома неона. Частица, соответствующая другой параболе, имела массу около 22 и представлялась загадочной. Выяснилось, что загадочная частица тесно связана с неоном и не появляется, если в трубку не вводят неон. Существовало два правдоподобных объяснения, если отбросить менее вероятные. Неон мог состоять из атомов двух типов с весом в 20 и 22 единицы, которые в остальном практически ничем не отличались друг от друга. Тогда эти атомы могли бы служить примером изотопов Содди, но на этот раз обычного нерадиоактивного элемента. Считать, что атомный вес 22 просто соответствует другому инертному газу с массой, близкой массе неона, было нельзя, так как при этом нарушилась бы нормальная последовательность химических свойств элементов, расположенных в порядке возрастания атомных весов. Но можно было также предположить, что парабола, соответствующая массе 22, возникла при воздействии на фотопластинку не чистых атомов, а молекул химического соединения, скорее всего молекул  $\text{NeH}_2$ , которые дают нужную массу. Против этого было очевидное возражение, что неон химически инертен и не образует соединений. Возражение выглядело убедительным\*, однако Джи-

---

\* Сейчас такое возражение было бы не столь очевидным. В 1962 г. были открыты химические соединения инертного газа ксенона. Позднее удалось обнаружить соединения инертного газа радона и криптона. Правда, никаких соединений неона до сих пор не получено. (Прим. перев.)

Джи только что обнаружил в положительных лучах соединения, в то время неизвестные химикам, и в частности соединения водорода — гидриды. Правда, ни один из гидридов до сих пор не содержал инертного газа, но кто мог гарантировать это!

Астон решил проверить свое предположение, что неон действительно имеет изотопы, и попытался их разделить физическими методами. В наше время разделение изотопов стало гигантской отраслью промышленности. Говорят, что завод по разделению изотопов урана в Окридже, штат Теннесси, потребляет больше электроэнергии, чем вся Франция. Но когда Астон начал свою работу, методы разделения изотопов не были известны. Вначале Астон испробовал фракционную перегонку жидкого неона. Попытка не удалась и, как мы знаем теперь, не могла удалиться. Тогда Астон решил использовать диффузию газа через пористую белую глину. Теория диффузии газов через маленькие отверстия проста, и ее физический смысл нетрудно понять. Более легкий газ диффундирует быстрее. А насколько быстрее, можно вычислить, зная массы газовых частиц. После тысячи операций Астон получил небольшую разницу между двумя образцами, измеренную с помощью сконструированных им самим чувствительных весов, которые определяли плотность газа. Но эффект был слишком мал, чтобы считать его доказательством существования изотопов.

Потом началась война. Астон пошел работать на авиационный завод в Фарнборо, где снова вернулся к химии и занимался такими вещами, как аэролаки для пропитки полотен, которые натягивали на деревянные крылья самолетов тех дней. Позднее Астон присоединился к неофициальной группе штатских, которая работала в усадьбе «Чадлей». В группу входило много других ученых, включая лорда Черуэлла (тогда профессора Линдемманна) и меня самого. Я хорошо помню споры между Астоном и Линдемманном, скептически относившимся к идее об изотопах неона. Побеждал всегда Линдемманн, так как он был гораздо сильнее в теории, чем Астон, но на следующий вечер неукротенный Астон появлялся снова. В конце концов он отчасти убедил Линдемманна, и они опубликовали совместную работу о возможных методах разделения изотопов.

Когда война кончилась, Астон вернулся в Кавендишскую лабораторию уже самостоятельным исследователем и собственными руками построил усовершенствованный диффузионный прибор, который сконструировал так, что процесс диффузии можно было повторять огромное число раз. Прибор не дал никакого результата, не было даже небольшого разделения, полученного на довоенной модели. Большинство ученых на месте Астона прекратили бы всякие попытки разделить изотопы, так как теория диффузии казалась надежной, а механическая часть аппарата работала хорошо.

Сейчас мы знаем, что ошибка Астона состояла в том, что газ перед диффузией не перемешивался в достаточной степени. Легкие атомы действительно, как им и следовало, проходили через глиняную перегородку быстрее, но слой газа, прилегающий к перегородке, оказывался вскоре обедненным легкими атомами, и поэтому росла доля тяжелых атомов, которые просачивались через перегородку.

Астон сам догадывался об этом, но добиваться лучшего перемешивания газа не стал, а решил испробовать совершенно иной подход. Атомный вес неона, судя по его плотности, равен 20,2. Такая плотность могла получиться в результате смешивания 10% изотопа с весом 22 и 90% изотопа с весом 20. Это также могло просто означать, что все атомы неона весят 20,2 единицы. Если точно определить вес неоновых атомов в более «интенсивной» параболе, то нетрудно выбрать между двумя возможностями и решить всю проблему, но прибор Джи-Джи для получения парабол не был достаточно точным. Астон придумал новое хитроумное расположение электрических и магнитных полей, позволяющее достигнуть гораздо большей точности, и своими собственными руками изготовил первый масс-спектрограф. Упорство Астона было достойно вознаграждено. Линии, соответствующие неону (в этом приборе уже не параболы), определенно показали, что изотопы неона существуют и его плотность объясняется их одновременным присутствием в смеси (на самом деле изотопов оказалось три, а не два, изотоп 21 содержался в очень малом количестве). Но помимо неона Астон открыл изотопы у огромного большинства других элементов, об их существовании не подозревал никто.

Для химиков открылся новый мир. Истинные атомные веса стали очень близки к целым числам. Дробные веса, как у неона, стали означать только присутствие в элементе двух или более изотопов различной массы. Все это серьезно поддерживало идею, выдвинутую более ста лет назад и известную как гипотеза Прута. После долгих колебаний в течение десятилетий химическая наука решительно отвергла эту идею. Гипотеза Прута предполагала, что все элементы состоят из водородных атомов. Сейчас это общепринятое представление, с тем лишь добавлением, что наряду с протонами в состав ядер входят и нейтроны.

Мастерство Астона и его вера в успех принесли ему еще немало открытий. Вскоре Астон заметил, что, хотя веса атомов в определенной мере очень близки к целым числам, они все же немного отличаются от них. В частности, атомный вес водорода явно был больше единицы. Это удалось объяснить, как только стал известен эйнштейновский закон об эквивалентности массы и энергии. Если атомы водорода, или, точнее, протоны, объединяются, образуя ядра более тяжелых атомов, то должны существовать силы, удерживающие протоны вместе и для отделения их друг от друга необходима энергия. Эта энергия расходуется на появление у протонов дополнительной массы, и разделенные протоны должны быть тяжелее, чем связанные в ядре. Потеря массы в тяжелом атоме будет зависеть от силы, связывающей протоны. Если за норму принять вес протона в ядре кислорода, то свободный протон будет тяжелее, а протон в каком-либо другом ядре может быть тяжелее или легче в зависимости от того, насколько сильно он связан. Тогда, измеряя эту маленькую «упаковочную долю» веса, как назвал ее Астон, можно сразу определить, будет ли гипотетическая ядерная реакция выделять или поглощать энергию. Задолго до начала практического использования ядерной энергии работа Астона показала, сколько такой энергии можно было бы использовать, если бы ее удалось освободить.

Астон всю жизнь оставался холостяком, педантичным в привычках, таким же скрупулезно точным, каким он был в лаборатории. В своем жизненном укладе Астон, вероятно, немножко походил на старую деву. Однако он был опытным альпинистом, прекрасным лыжником, конь-

кобежцем и пловцом. Пальцы, столь искусные в обращении со стеклом, отлично управлялись с теннисной ракеткой и палкой для гольфа. Астон любил путешествия, особенно морские, и принимал участие в наблюдении нескольких затмений. Он любил музыку и живопись, а позднее стал коллекционировать восточный фарфор. Его суждения по вопросам вне физики были вполне заурядными, но высказывались с покоряющей скромностью. Астон прекрасно сознавал, что некоторые из многочисленных друзей считают его взгляды старомодными, но он также понимал — по крайней мере я надеюсь и верю в это, — что все относились к нему с привязанностью и подлинным уважением, которым дружеская шутка не могла быть помехой. Как экспериментатор, Астон не имел себе равных, и превзойти его, по-видимому, не сумел никто. Астон обожал приборы, как музыкант скрипку, и если прибор отказывался повиноваться ему, он чувствовал себя несчастным.

#### Р. А. МИЛЛИКЕН

Больше половины столетия Роберт Милликен был одним из самых активных физиков в Соединенных Штатах. Милликен родился в семье проповедника и рос в суровых условиях маленьких городков Иллинойса и Айовы того времени. В 1872 г., когда он родился, в американской физике работали поистине великие люди: Уиллард Гиббс — непризнанный гений, Майкельсон — автор знаменитого эксперимента, Роуланд, изготовивший первые точные дифракционные решетки, которые сделали возможной современную спектроскопию. Но второго поколения великих не появилось. Даже когда Милликен кончил школу, лишь в немногих университетах серьезно изучали физику, Физическое общество только что основали, а «Физикэл Ревью», сейчас крупнейший в мире физический журнал, еще должен был появиться. В физике, как и в большинстве других наук, Соединенные Штаты оставались далеко позади многих европейских стран не только в количественном отношении, но и по качеству исследований. Однако к 1953 г., году смерти Милликена, Соединенные Штаты обладали наибольшим числом ценнейших работ по сравнению с любой другой страной. Милликен в

значительной мере способствовал этому перелому как своими исследованиями, так и своим влиянием в сфере образования и правительственной политики в научных вопросах.

Милликен сделал многое, но его самые известные работы относятся к исследованию электрона и фотоэлектрического эффекта. К изучению фотоэффекта Милликен обратился под влиянием представлений Эйнштейна о том, что свет распространяется квантами в виде фотонов и при поглощении фотона его энергия может перейти одному электрону. Когда Эйнштейн в 1905 г. высказал эту идею (см. стр. 140), ее экспериментальные обоснования не были достаточно убедительными. Хотя фотоэлектрический эффект (испускание электронов твердыми веществами вроде цинка под действием света, чаще всего ультрафиолетового) был известен давно, результаты опытов были крайне непостоянными. Дело в том, что испускание электронов очень сильно зависит от электрического состояния поверхности вещества, которое и определяет работу, нужную для удаления электрона. Электрическое состояние поверхности, в свою очередь, зависит от ее чистоты. Часто даже однослойной пленки налипших атомов достаточно, чтобы фотоэффект выглядел совершенно иначе. В самом лучшем вакууме было трудно (это и до сих пор трудно) достигнуть и сохранить требуемую чистоту поверхности. Милликен поэтому стал готовить поверхности сразу в том вакууме, где они должны были применяться. Он использовал инструмент, приводимый в движение магнитами, расположенными снаружи откачанного сосуда, — «вакуумную парикмахерскую», как называл этот прибор Милликен. И такие поверхности не были абсолютно чистыми, но по крайней мере их загрязненность оставалась постоянной во время опыта. В этих условиях Милликен смог установить, что энергия, передаваемая электрону светом, равна постоянной Планка, умноженной на частоту света —  $h\nu$ .

Представление Эйнштейна, таким образом, получило прочную экспериментальную основу.

В 1906 г., когда Милликен занялся измерением заряда электрона, неопределенность численного значения этой величины доходила до 50%. Кроме того, все существовавшие методы позволяли измерять лишь среднюю величину

заряда многих электронов. Прямых доказательств того, что все электроны имеют один и тот же заряд, или, иными словами, что действительно существует естественная единица заряда, не было. Правда, имелись серьезные основания это предполагать: если заряды электролитических ионов в растворе не совпадали, то они ровно в два или три раза превышали минимальный заряд, так же, как и катодные лучи, имеющие одинаковую скорость, отклонялись магнитом одинаково, и точность измерения этих отклонений была значительно выше точности определения заряда  $e$ . Но само отклонение зависит от отношения заряда к массе. И если говорить лишь об этом эксперименте, то электроны могли иметь разные заряды, если только имели пропорциональные заряду массы.

Это было мало вероятно, но, конечно, возможно. Чтобы измерить заряд электронов, Милликен видоизменил и улучшил метод, первоначально использованный Вильсоном и основанный на движении заряженных капелек воды под действием электрической силы. Милликен применил в своем приборе капельки масла, которые не испарялись за время опыта, и после ряда других технических улучшений поставил один из самых красивых экспериментов в физике. За крошечной капелькой масла следят в микроскоп в то время, как она медленно падает в воздухе. Затем воздух ионизируют рентгеновскими лучами, и через какое-то время капля захватывает один из ионов и приобретает заряд, возможно, положительный, а возможно, и отрицательный. Если действует только сила тяжести, то это не приводит к заметным изменениям, но если приложено еще и вертикальное электрическое поле, то движение капельки сейчас же начинает ускоряться или замедляться в зависимости от электрической силы, которая действует на заряд капельки и тянет ее вверх или вниз. Это, в свою очередь, зависит от знака заряда (+ или —) и направления электрической напряженности в приложенном поле. Милликен обнаружил, что иногда он может часами следить за капелькой в микроскоп, позволяя ей падать под действием силы тяжести при выключенном поле и затем возвращая ее обратно при включенном, точно играя с капелькой в бильбоке\*. Из этих двух

---

\* Бильбоке — игра привязанным к палочке шариком, который подбрасывают и ловят на острие или в чашечку. (Прим. ред.)

скоростей, зная величину поля и величину сопротивления воздуха, можно вычислить заряд капельки.

Заряды не всегда были одинаковыми и иногда внезапно менялись, но при этом они всегда оставались целыми кратными некоторой величины. Это было прямым доказательством реальности единичного заряда, истинная величина которого оказалась значительно больше ранее измеренного заряда ионов, возникших при рентгеновском облучении. Зато она мало отличалась от величины заряда, полученной Резерфордом в экспериментах с альфа-лучами, и лишь немногим отличается от той, которой пользуются в наши дни.

Милликен был талантливым педагогом и автором учебников, крайне необходимых в Америке времен его молодости. На этом поприще Милликен приобрел себе солидную репутацию еще до того, как стал известным исследователем. Он начал преподавать раньше, чем сам прошел курс физики. Профессор греческого языка в небольшом колледже Оберлин на Среднем Западе, где учился Милликен, в конце года предложил ему преподавать элементарную физику начиная со следующего семестра и не принял во внимание возражение Милликена, что-де он сам еще не учился физике! Как было принято в тот период в Америке, Милликен позднее поехал в Германию, тогда страну самой передовой науки, где посещал лекции Планка и работал под руководством Нернста. Это были славные годы. Именно тогда Рентген открыл свои X-лучи. Пребывание в Германии оказало сильное влияние на Милликена. Он завязал дружеские отношения со многими учеными, но был глубоко потрясен милитаристскими взглядами многих из тех, с кем там встречался. Когда разразилась первая мировая война, Милликен начал кампанию за вступление в войну Соединенных Штатов. Заботясь о повышении обороноспособности страны, он поддержал астронома Джорджа Хэйла в усилиях по созданию Национального исследовательского совета, президентом которого стал Хэйл. Совет был ответвлением организации, гораздо более солидной по возрасту, — Национальной академии наук, созданной примерно по тем же мотивам еще во времена гражданской войны. Еще до того, как Соединенные Штаты вступили в войну, Милликен пожертвовал своими многообещающими исследованиями в

Чикаго, чтобы постоянно работать в Вашингтоне, где я позднее имел удовольствие служить под его началом. Милликен был назначен вице-президентом, руководителем исследований и исполняющим обязанности секретаря совета и начал работу над устройствами для борьбы с подводными лодками. Позднее он отвечал за гораздо более широкую область работ, и его облачили в военную форму, отчасти против его воли. Он меньше всего походил на солдата в традиционном представлении, но, несмотря на отдельные бурные столкновения (или, может быть, именно благодаря им), хорошо поладил с армейскими чинами. Милликен проявлял большой здравый смысл, а это было очень редким и наиболее нужным качеством.

Вскоре после войны Милликен перешел в Калифорнийский технологический институт, в те дни неокрепшее, молодое учреждение, и превратил его в одно из крупнейших учебных заведений мира. Милликен настаивал на том, чтобы совмещать исследовательскую работу с учебой даже на студенческой скамье, и в значительной степени благодаря влиянию Милликена университеты в Соединенных Штатах стали играть ведущую роль в научной работе страны, которую они удерживают до сих пор. Соединенные Штаты единственная страна с таким огромным размахом исследований, оплачиваемых правительством, которые ведутся под надзором университетских ученых как в самих университетах, так и за их пределами.

Многое от своих предков-пионеров Милликен сохранил на всю жизнь. У него были глубокие и ясные представления о том, что хорошо и что плохо, которых он твердо придерживался. Его страстная преданность делу мира не мешала ему помогать армии во время двух мировых войн, когда он сознавал, что он — на стороне тех, кто прав. Милликену чужды были аффектация и помпезность; можно было не соглашаться с его мнением, но его доводы были всегда предельно ясными. В отношениях с молодежью Милликен был обаятелен. Некоторые жаловались, будто он проявлял слишком большую готовность рекламировать работу, в которой так или иначе участвовал сам. Однако стоит сказать, что эти работы всегда заслуживали рекламы.

## ИЗ ЧЕГО ВСЕ СДЕЛАНО?

### ЯДРА АТОМОВ

Открытие Резерфордом атомного ядра было неожиданным результатом многих успешных опытов по радиоактивности. Впервые радиоактивность обнаружил французский физик Беккерель. Все знают и об огромной работе Пьера и Марии Кюри, первыми выделивших полоний, а затем радий. Но пока посвятим несколько строк открытию радиоактивности.

Открытие X-лучей Рентгеном повело к тому, что физики многих стран стали искать другие излучения, особенно излучения, связанные с флуоресценцией. Ведь тогда возникновение рентгеновских лучей ошибочно связывали с флуоресценцией стекла разрядной трубки под действием катодных лучей. Флуоресценцией обладали и некоторые соединения урана, они светились характерными цветами, отличными от тех, которые были освещены. Беккерель решил, что стоит узнать, какие эффекты дадут соединения урана в темноте, и выяснилось, что они вызывают почернение находящихся поблизости фотографических пластинок, даже если пластинки завернуты в черную бумагу. Инициатива Беккереля похвальна, но ему явно повезло, что она привела к такому грандиозному открытию. На самом деле радиоактивность не связана с флуоресценцией, которая свойственна только отдельным соединениям урана. Радиоактивность же является атомным свойством, присущим всем телам, содержащим уран.

Резерфорд исследовал три типа лучей, испускаемых разными радиоактивными веществами. Он назвал их альфа-, бета- и гамма-лучами в порядке возрастания проникающей способности. Серией блестящих экспериментов Резерфорд доказал, что радиоактивные атомы не стабильны и самопроизвольно меняются, при этом они вы-

деляют радиационную энергию и порождают другие атомы, которые, в свою очередь, обычно радиоактивны, пока в конце длинной цепочки таких процессов не появится нормальный инертный атом, обычно атом свинца. Он доказал, что альфа-лучи — атомные снаряды, выбрасываемые во время подобных процессов, идентичны атомам известного газа гелия, но в отличие от нормального атома гелия этим частицам не хватает двух электронов. Однако прежде чем остановиться, альфа-частицы обзаводятся электронами из окружающей среды. Конечно, это было поразительное открытие. Атомы, считавшиеся раньше вечными, не только распадались на части, но некоторые из осколков представляли собой более легкие атомы совершенно другого типа, чем первоначальные. Бета-лучи оказались быстрыми электронами, а гамма-лучи некоей разновидностью рентгеновских лучей.

К альфа-лучам Резерфорд проявлял особый интерес. Он обнаружил, что при некоторых условиях можно заметить отдельные альфа-частицы и таким образом сосчитать атомы. В одном из методов подобных наблюдений используется экран, покрытый маленькими кристалликами сернистого цинка. Давно известно, что такой экран флуоресцирует под действием излучения. Если же источник альфа-частиц слабый, то глаз наблюдателя, достаточно долго находившийся в темноте и вооруженный микроскопом небольшого увеличения, способен различать в поле зрения микроскопа вспышки отдельных альфа-частиц и при достаточной практике считать их. Резерфорд со своими учениками использовал этот метод для исследования альфа-лучей, проходящих через вещество. Как и следовало ожидать, проводя такое исследование, Гейгер обнаружил, что альфа-частицы, пролетающие сквозь тонкую золотую фольгу, чуть-чуть рассеиваются, по-видимому, в результате столкновений с атомами вещества фольги. Однако, используя пластинки твердого металла, Гейгер и Марсден нашли отдельные альфа-частицы, которые отклонялись так сильно, что вылетали из вещества с той же стороны, с какой в него вошли. Даже в фольге толщиной только  $0,004$  см одна из  $20\,000$  альфа-частиц отклонялась больше, чем на прямой угол, хотя в фольге такой толщины средний угол рассеяния был меньше одного гра-

На первый взгляд кажется не столь уж и странным, что некоторые частицы отклоняются на углы, гораздо большие среднего, и, может быть, другие не придали бы этому значения. Но для Резерфорда, который всегда старался нарисовать себе физическую картину эксперимента, результат был поразительным. «Это было самым неправдоподобным событием, происходившим когда-либо в моей жизни. Это было почти настолько же неправдоподобно, как если бы после выстрела 15-дюймовым снарядом в кусок папиросной бумаги снаряд повернул обратно и убил бы вас», — так впоследствии говорил об этом Резерфорд. Тем, кому такое сравнение покажется чересчур преувеличенным, следует напомнить, что с помощью только глаза и микроскопа невозможно увидеть отдельный атом, и, чтобы увидеть его в таких условиях, нужны колоссальная энергия и сила альфа-частиц.

Вначале Резерфорд удостоверился в том, что отклонения на  $90^\circ$  не просто случайные совпадения, когда одна частица испытывает большое число незначительных, но направленных в одну сторону отклонений. Действительно, такие совпадения могли быть сугубо случайными, но, исходя из средней величины угла рассеяния, можно было вычислить, как часто они будут наблюдаться, и оказалось, что это число намного меньше наблюдаемого. Расчет и эксперимент резко расходились. Значит, большие углы рассеяния возникали из-за чего-то происходившего с альфа-частицей только один раз.

Это не могли быть столкновения с электроном, так как масса альфа-частицы во много тысяч раз больше электронной. Если представить себе бильярдный шар, сталкивающийся с шариком от пинг-понга, находящимся в состоянии покоя, то очевидно, что траектория бильярдного шара никогда не изменится больше, чем на очень маленький угол. Альфа-частица в четыре раза массивнее протона, так что при столкновении даже протон не смог бы отклонить ее на прямой угол. Чтобы отклонить альфа-частицу больше, чем на прямой угол, покоящаяся частица должна быть массивней самой альфа-частицы. Значит, в атоме золота должно существовать какое-то тело, намного тяжелее альфа-частицы и к тому же достаточно прочное, чтобы при резком столкновении с альфа-частицей вести себя как единое целое. Резерфорд догадался, что

то тело может составлять основную массу атома и нести положительный электрический заряд, необходимый для нейтрализации отрицательного заряда электронов. Альфа-частицы, как он показал раньше, сами несли положительный заряд. Они должны были отталкиваться гипотетическим телом и пронеситься мимо него по кривой. Математически задача очень похожа на ту, которая возникает при расчете движения кометы, прилетающей из пространства и проносящейся мимо Солнца, с той лишь разницей, что в случае кометы действует сила притяжения. Для математики перемена знака не слишком существенна. В обоих случаях кривая представляет собой гиперболу, и, чем точнее движущийся объект нацелен на неподвижный (с условием, что он не попадает в него), тем больше угол, на который меняется траектория движущегося объекта. В общем, хорошо нацеленные выстрелы редки, и так же редки большие углы рассеяния. Резерфорд рассчитал картину рассеяния, то есть картину распределения альфа-частиц на сцинтиллирующем экране, при условии, что на каждый атом приходится один массивный рассеивающий центр. Разумеется, результат зависел от того, насколько большим принимался положительный заряд атома; иными словами, от того, сколько электронов необходимо было нейтрализовать в атоме золота или другого металла, который используется в эксперименте. Чем больше заряд, тем более размытой была картина рассеяния.

Когда расчеты сравнивали с результатами экспериментов, выполненных для этой цели Гейгером, расчетная и экспериментальная картина рассеяния совпадали, если для атома золота принимался заряд, достаточный для нейтрализации примерно 100 электронов.

Полное значение полученных результатов стало ясно примерно через два года. В это время появились две новые работы, обе из лаборатории Резерфорда в Манчестере. Первая, теоретическая, принадлежала молодому датскому физическому Нильсу Бору, применившему представление о центральном заряженном ядре для создания поистине революционной теории водородного атома, в частности теории излучения света водородным атомом, которое Бор объяснял с помощью тогда еще мало при-

знанной квантовой теории Планка. Полувековой юбилей открытия ядра празднуется в нынешнем 1961 г. \*

Вторую работу выполнил Мосли. (Через несколько лет его убили в Галлиполи). Мосли распространил теорию Бора на другие атомы и включил в нее расчет их рентгеновских характеристик. Он показал, что такой подход полностью соответствует представлениям Резерфорда, если предположить, что число единичных зарядов в той части атома, которую уже тогда начали называть ядром, равно номеру атома в периодической таблице химических элементов. С некоторыми отклонениями периодическая таблица совпадает с таблицей элементов, составленной в порядке возрастания атомного веса. Было введено название «атомный номер» для обозначения места атома в таблице, где водород находится на первом месте, гелий на втором, литий на третьем и так далее в сторону возрастания веса атомов. Опыты Мосли показали постепенные изменения некоторых свойств вторичных рентгеновских лучей, которые возбуждаются в ряде наиболее тяжелых элементов под действием первичных рентгеновских лучей. Если элементы расположены в порядке возрастания атомного веса, то переход от одного элемента к другому вызывает изменение в рентгеновском излучении на определенную и равную величину. Это ясно говорит о том, что различие между данным элементом и следующим подразумевает изменение какого-то важного свойства на единицу. Теория Бора, примененная Мосли к испусканию вторичных рентгеновских лучей, требовала, чтобы этим свойством был заряд ядра. В результате напрашивался вывод, что число единичных зарядов в ядре совпадает с атомным номером в периодической таблице элементов\*\*. Атомный номер золота 79, и такая величина заряда вполне согласуется с результатами опытов Гейгера, если учесть экспериментальные погрешности. Позднейшие более точные опыты, основанные на том же принципе рассеяния альфа-частиц, подтвердили совпадение между зарядами, определенными двумя способами

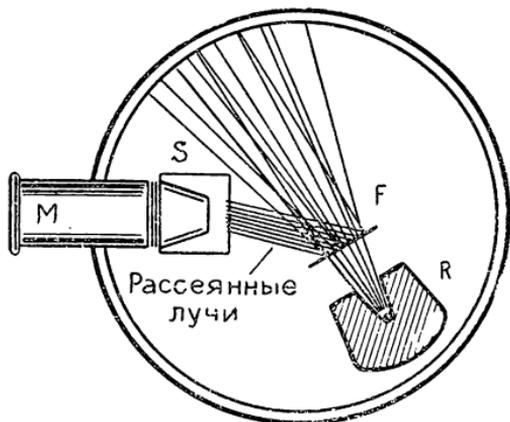
---

\* Год, когда написана эта книга. (Прим. ред.)

\*\* В то время в периодической таблице были пробелы, о существовании которых можно было догадаться из химических данных и которые были подтверждены опытами Мосли. (Прим. автора.)

для золота и некоторых других элементов с точностью до единицы. Так как в обычном состоянии атомы нейтральны, то атомный номер элемента определяет также и число электронов, которыми атом обладает в нормальном состоянии. Исследование поведения этих электронов, в особенности тех крайне любопытных законов, которым они подчиняются, потребовало от физиков большого внимания в период между двумя мировыми войнами, но здесь больше я не стану этого касаться.

Рис. 5. Гейгер и Марсден. Рассеяние альфа-лучей. Камера показана со снятой крышкой, и она несет микроскоп *M* и экраны. Камера вращается на вакуумном сочленении вокруг фольги *F*, которая облучается источником *R*. Для ясности изображены только те рассеянные лучи, которые попадают на экран *S*.



Попробуем несколько подробнее разобраться в том, как было сделано открытие Резерфорда. Вначале Резерфорд постарался составить себе ясное представление об альфа-частицах. Он выяснил, что альфа-частицы — это мощные снаряды, повернуть которые не так-то легко. Затем Гейгер и Марсден обнаружили, что некоторые альфа-частицы тем не менее поворачивают на прямой или даже больший угол, проходя через листок металла. Потом изучили рассеяние под малыми углами. Этот шаг был необходим, ибо следовало убедиться, что большие отклонения, которые в конце концов наблюдаются очень редко, не являются суммой большого числа естественных маленьких отклонений. Существование «множественного рассеяния», недостаточно хорошо понимаемого в то время, представляло собой сложность, характерную для проблем рассеяния вообще, и, как показал Резерфорд в работе, о которой мы уже говорили, именно здесь-то и запу-

тались его предшественники. Часто расчет рассеяния — довольно каверзная математическая задача. В случае, который рассмотрел Резерфорд, она была не слишком серьезной, и множественное рассеяние нигде существенно не повлияло на результат. Придя к выводу, что эксперимент действительно говорит о возможности отдельных сильных столкновений, Резерфорд должен был объяснить их происхождение. В поисках такого объяснения он мог опереться на прочную основу ньютоновской механики (сейчас он чувствовал бы себя гораздо менее уверенным!). Из простых механических принципов ясно следовало, что должен существовать центр атома, по всей видимости, гораздо более массивный, чем альфа-частица. Приняв, что существует только один центр, содержащий основной вес атома и несущий положительный заряд, не трудно выполнить математический расчет рассеяния. Такой расчет мог бы послужить вполне приемлемой задачей трайпоса, конкурсного экзамена по математике в Кембридже. Гениальность Резерфорда проявилась в том, что он понял всю важность результата на первый взгляд заурядного эксперимента. Но получить такой результат можно было, лишь усовершенствовав технику эксперимента, когда открылась возможность подсчитывать отдельные альфа-частицы. И только после этого Гейгеру и Марсдену удалось обнаружить те весьма редкие частицы, которые поворачивали назад.

Несколько позднее, благодаря усилиям главным образом Резерфорда с учениками, выяснилось, что само ядро имеет сложное строение и состоит из протонов и нового типа частиц, названных нейтронами. Нейтрон оказался чуть тяжелее протона и без всякого электрического заряда. Эти характеристики нейтрона напоминают характеристики водородного атома, но диаметр нейтрона, насколько можно говорить о такой условной величине, примерно в несколько сотен тысяч раз меньше. Следовательно, нейтрон проходит сквозь твердое вещество с относительно малым сопротивлением.

Все ядра малы по сравнению со своими атомами. Большая часть пространства атома занята электронами, «подобными туче комаров в кафедральном соборе», как кто-то сказал, но, пожалуй, лучше представлять себе электроны разреженными плавающими облаками. Тер-

мин «нуклон» был введен, чтобы обозначать и протон, и нейтрон сразу одним словом. Нуклоны в ядре, несмотря на взаимное электрическое отталкивание протонов, удерживаются вместе особыми силами. Подлинная их природа пока загадка, и их называют просто ядерными силами. Ядро можно расщепить достаточно мощным ударом о другое ядро, причем это можно осуществить несколькими способами. Есть разные пути, чтобы выбить нейтроны из ядер, например, можно бомбардировать бериллий альфа-лучами. Поскольку одноименные заряды отталкиваются, то ядра могут прижаться друг к другу, если только они движутся с большим запасом энергии. Изолированные нейтроны представляют собой исключение из этого правила. Так как они не заряжены, то, даже двигаясь медленно, нейтроны могут вплотную приближаться к ядрам и часто соединяются с ними. Образующийся комплекс имеет тот же положительный заряд и, следовательно, тот же атомный номер, что и первоначальный атом. Поэтому новый атом оказывается изотопом старого. Однако часто новое увеличенное ядро нестабильно и распадается на две или более частей. Для выделения ядерной энергии из урана путем взрыва или в реакторе нужны именно такие процессы.

### **ЭРНЕСТ РЕЗЕРФОРД**

Редко бывает, когда один человек, пусть самый великий, создает целую отрасль науки. Однако почти без преувеличения можно сказать, что Резерфорд создал ядерную физику, включая сюда и ранние главы учения о радиоактивности. Правда, открыл радиоактивность Беккерель, а супруги Кюри первыми показали, что эффекты в природном уране возникают из-за целого ряда других элементов, два из которых, полоний и радий, они сумели очистить из руды. Затем Крукс выделил радиоактивный компонент, активность которого экспоненциально падала во времени, тогда как активность остающегося урана возрастала, а оба процесса вместе давали постоянную активность. Но в остальном, начиная с 1898 г., когда Резерфорд уехал в Монреаль, и до его смерти в 1937 г., львиная доля важнейших работ принадлежит ему самому, его сотрудникам и ученикам, для которых он был руководителем и наставником.

Вместе с Содди Резерфорд доказал, что радиоактивные атомы не остаются неизменными, а самопроизвольно превращаются в другие. Позднее он обнаружил, что во многих случаях радиоактивные атомы порождают атомы гелия, известного как нерадиоактивный элемент. Это был не первый случай делимости атома, которую раньше полностью отвергали. Еще Джи-Джи нашел, что рентгеновские лучи способны вырывать из атомов электроны и образовывать положительно заряженные ионы. Любопытно, что Резерфорд, только приехавший из Новой Зеландии, на стипендию, установленную комиссией Всемирной лондонской выставки 1851 г., помогал Джи-Джи в некоторых из этих экспериментов. Но ионы без дальнейших воздействий быстро рекомбинируют, и разрушенные атомы, таким образом, восстанавливаются. Разрушения, обнаруженные в атомах Резерфордом, оказались гораздо более глубокими и совершенно не восстанавливались. Радиоактивный атом мог превращаться в два атома: один обычно тоже радиоактивный и другой нерадиоактивный атом гелия, или, точнее, ион гелия. Быстродвижущиеся ионы гелия Резерфорд назвал альфа-частицами. Захватывая два электрона, альфа-частицы становятся нормальными атомами гелия. В других превращениях радиоактивные атомы выбрасывают из ядра электрон, который меняет заряд ядра, а следовательно, и химическую природу атома.

Через двадцать лет после того как Резерфорд покинул Кембридж, он снова вернулся туда в роли преемника Джи-Джи. Открытию, сделанному в Манчестере, предстояло перерасти здесь в систематические исследования превращений, вызываемых альфа-частицами в легких элементах, атомы которых, как показал сам Резерфорд, могли расщепляться. В этих опытах Резерфорд использовал альфа-частицы как естественные снаряды для преобразования элементов. Но только после того как в 1933 г. Кокрофт и Уолтон (которые работали в Кавендишской лаборатории под руководством Резерфорда) стали расщеплять ядра атомными снарядами, разогнанными в электрическом ускорителе, стало возможно говорить о контроле человека над атомами. Правда, и это был не полный контроль. Еще не было открыто ядерное деление, то есть расщепление ядер урана или некоторых других

тяжелых элементов на две примерно равные части с освобождением энергии, намного превосходящей энергию естественной радиоактивности. Открытие было сделано только после смерти Резерфорда, и не в Англии, а на континенте. Но даже в этом открытии есть доля участия Резерфорда. Нейтроны, вызывающие деление ядер, были открыты на его глазах Чадвиком в Кавендише после нескольких попыток, вдохновляемых Резерфордом. Ган, своей работой бесспорно расчистивший дорогу открытию ядерного деления, хотя сам и не сделал его, был верным учеником Резерфорда монреальских времен.

Открытие ядерного деления прямым путем повело к реакторам, вырабатывающим энергию, и атомной бомбе. Этого Резерфорд и не увидел, и не предвидел. До самой своей смерти он многократно и убежденно заявлял, что открытое им атомное ядро вряд ли годится для каких-то крупных практических применений. Когда я вспоминаю это, мне становится трудно порицать физиков за неумение предвидеть последствия грядущих открытий.

Резерфорд был хорошим, но не блестящим математиком. Он и Таунсенд были первыми «стажерами-исследователями» Джи-Джи в Кавендише, когда такой статус официально ввели. Таунсенд, остроумный и обаятельный ирландец, позднее профессор в Оксфорде, был прекрасным математиком. И, хотя обоих студентов признавали очень способными, считали, что Таунсенд, как отличный математик, пойдет дальше. Кстати, стоит рассказать одну историю тех дней, хотя она меньше характеризует Резерфорда, чем Таунсенда. Известный французский физик гостил у Джи-Джи и госпожи Томсон. Джи-Джи решил познакомить с ним молодых людей—к обеду пригласили обоих «стажеров». Гость не знал никаких языков, кроме французского, и плохо представлял себе мир за пределами Франции. Когда ему сообщили, что Резерфорд приехал из Новой Зеландии, у француза от страха стали совсем круглыми глаза и он сказал, что всегда думал, будто в этой стране живут чернокожие, и спросил, не поедают ли они друг друга. Таунсенд хорошо говорил по-французски, а Резерфорд мог лишь понимать, о чем идет речь, не владея языком достаточно для участия в разговоре. Поэтому Таунсенд объяснил французу, что новозеландцы сейчас заявляют, будто перестали зани-

маться людоедством. Но кто их знает на самом деле!

Дарование Резерфорда заключалось в сверхъестественной интуиции физика и чутье, как ставить очень простые опыты, получая нужный результат. Обе эти способности в основе своей представляют одно качество — умение видеть главное и отбрасывать остальное. Резерфорд добился бы выдающихся успехов на любом другом жизненном поприще, исключая, вероятно, лишь сцену. Но в физике его интуиция была особым даром. Атомы и альфа-частицы были для него так же реальны, как и его друзья.

Резерфорд был крупного сложения и казался даже крупнее, чем был на самом деле. Внешне он напоминал процветающего фермера, чему, пожалуй, не следует удивляться, ведь Резерфорд вырос на ферме. Он был грубоват в манерах, прямолинеен в высказываниях, обладал неистощимой энергией. Резерфорд часто говорил, и не совсем в шутку, что теоретиков следует держать в физике на своем месте. Но он с огромным уважением относился к Нильсу Бору, который работал с ним в Манчестере. Химию Резерфорд считал вторым достойным занятием после физики, но находил ее чересчур отставшей в развитии. Резерфорд был великолепным вождем своих «мальчиков», и они любили его за человеческие качества столь же горячо, как и за научные. Крайне занятый административными делами, Резерфорд все же находил время для педагогической и исследовательской работы. Лекции его были превосходны, а неофициальные беседы — и того лучше. Резерфорд полностью сознавал значение того, что делал (да и как он мог не сознавать?), и был достаточно велик, чтобы нести это бремя. По поводу нового открытия Резерфорда один из друзей сказал ему: «Вы счастливый человек, Резерфорд, всегда на гребне волны!» — «Да, но разве не я создал эту волну? Хотя бы отчасти», — ответил Резерфорд. Он верил, что физика заслуживает особого внимания и нисколько в этом не сомневался.

Возможно, только одно большое горе — ранняя смерть единственной дочери — омрачило его жизнь. Один из внуков Резерфорда стал физиком.

## ТОЧКА ЗРЕНИЯ— ПОНЯТИЯ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

Представление о том, где верх и где низ, интуитивно. В ушах у нас есть специальный орган — полукруглые каналы, назначение которых — сообщать, где верх, и, отклонившись от вертикали, мы испытываем головокружение. Для большей точности в определении вертикали изобрели отвес. Казалось бесспорным, что все отвесы указывают одно направление, единственную универсальную вертикаль, и это убеждение, должно быть, сильно помогло создать понятие параллельных линий. Но когда заспорили о шарообразности Земли, одно из возражений состояло в том, будто люди с другой стороны Земли должны упасть. Мнения греческих философов о шарообразности Земли разделились. Атомисты, последователи Демокрита и Эпикура, во многом подошедшие ближе других к научной точке зрения, здесь не смогли преодолеть интуитивное представление. Они верили в плоскую Землю и утверждали, что все атомы падают сквозь пустоту, вниз. Странное упорство в этой нелепой ошибке вело к блестящему предположению. Проявив фантазию, такую точку зрения можно принять за предчувствие индетерминированности, которую связывают сейчас с квантовой теорией. Но это уже уводит нас в сторону от темы. Другие греческие философы считали Землю шаром, что требовало отсутствия параллельности всех отвесов. Эратосфен даже измерил радиус Земли и сделал это удивительно точно, определив угол между вертикалью и направлением на полуденное Солнце в середине лета в двух

точках, удаленных друг от друга на 5000 «стадий» и расположенных на юге и на севере Нила\*.

Эратосфен должен был понимать, что направление вертикали не абсолютно и что грузик отвеса указывает на центр Земли. Но нужен был Ньютон, чтобы объяснить это притяжением грузика всеми частицами Земли. Расширение понятия вертикали для Земли-шара — один из самых ранних примеров обобщения понятия. Нужно солидное воображение, чтобы понять, что вертикальное направление для одного человека может оказаться для другого горизонтальным. Однако это было лишь первым из множества подобных усилий, которые наука потребовала от человека.

Астрономия бросила другой вызов предрассудкам. Вопрос касался относительного движения, вращательного движения Земли. Любой наблюдатель заметит, что звезды, как целое, вращаются вокруг оси, проходящей близ Полярной звезды, и делают за сутки примерно один оборот. Если Земля — шар, то столь же очевидно, что подобная же картина возникнет и в результате вращения Земли. Как ниже станет ясно, существуют опыты, которые можно сделать на Земле и которые, по крайней мере на первый взгляд, позволяют выбрать между этими двумя возможностями. Правда, в то время когда шли споры об этом, о таких опытах еще не знали. Но даже после выбора вращающихся или неподвижных звезд обе возможности оставались в силе для Солнца. Солнце встает и заходит каждый день чуть в разных точках горизонта, постепенно смещаясь по небу относительно расположения звезд. Это равносильно тому, что линия, соединяющая Землю и Солнце, или, точнее, их центры, медленно вращается (совершая за год один оборот) относительно звезд. Здесь снова можно выбирать, что движется, а что неподвижно, — Солнце или Земля. Комбинируя разные возможности для Солнца и для звезд, можно прийти к четырем решениям, из которых практически наибольшее значение имеют лишь два, а именно: Земля неподвижна и не вращается, так что Солнце и звезды

---

\* Неизвестна достоверная длина «стадий» Эратосфена. Если «стадия» составляла одну десятую современной мили, то практически Эратосфен получил абсолютно верный результат. (Прим. автора.)

вращаются вокруг нее с несколько различными скоростями, или (коперниково решение) Солнце и звезды неподвижны, тогда как Земля делает один оборот в сутки\* вокруг оси и один оборот за год вокруг Солнца. Гидет Сиракузский и Гераклит Понтский (род. в 388 г. до н. э.), считая, что звезды неподвижны, а Земля вра-

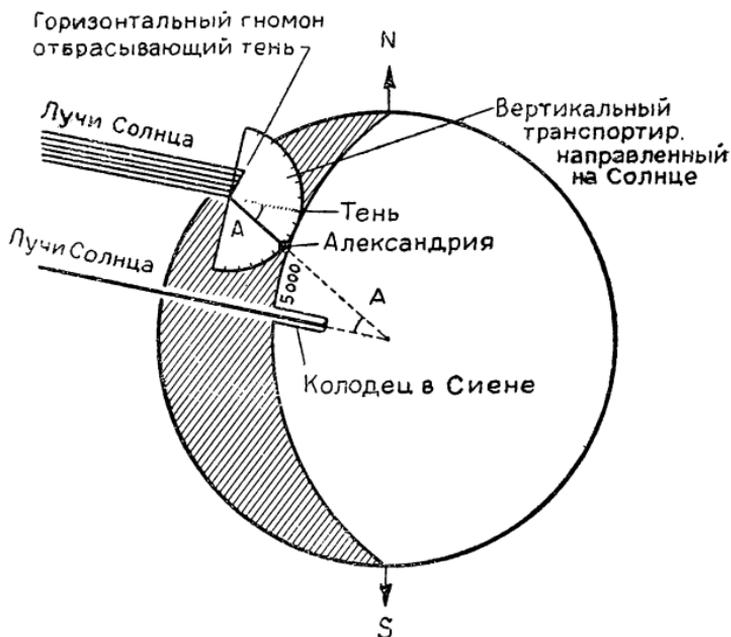


Рис. 6. Как Эратосфен определял размеры Земли. В середине лета полуденное солнце освещает дно глубокого колодца в Сиене, расположенной далеко вверх по Нилу. В это самое время Эратосфен измерил угол  $A$  между солнечными лучами и линией отвеса в Александрии, вероятно пользуясь солнечной тенью, как показано на рисунке. Считалось, что Александрия находится на 5000 стадий севернее Сиены. Угол  $A$  равен углу между радиусами Земли, которые проходят соответственно через Сиену и Александрию. Радиус Земли так относится к 5000 стадий, как радиус транспортира относится к дуге между линией отвеса и тенью.

\* Строго говоря, это сидерический день, который отличается от обычного среднесолнечного дня примерно на 1 долю от 365,25. (Прим. автора.)

щается, полагали все же, что Земля остается в центре системы, а Солнце движется вокруг.

Греческая астрономия потратила много усилий на решение этой задачи, которая к тому же значительно запутывалась, хотя существо ее не менялось из-за необходимости учитывать движение Луны и планет. Предложено было несколько решений, основанных на гипотезе о неподвижной Земле в центре системы. Во всех этих решениях Солнце, Луну и планеты помещали на сферы. Требовалось таких сфер десятка три или больше, не считая еще одной сферы для звезд. Неизвестно, считали ли древние греки свои невидимые сферы существующими реально, чем-то вроде эфирного студня девятнадцатого столетия, или это был для них просто математический способ описания, как позднее эфир. Вероятно, у разных авторов были разные взгляды. Ценность этих теорий состояла в том, что, будучи количественными, они должны были соответствовать наблюдениям. Как говорится, теории обязаны были «спасать явление», — эта важнейшая мысль впервые полно и ясно вошла в науку. Часть теорий, идущих от Эвдокса и развитых Аристотелем, считала все сферы концентричными с Землей. Но оси этих сфер были наклонены под разными углами и вращались в воображаемых опорах, которые несли другие сферы. Другая группа теорий, в целом более популярных в средние века (хотя вряд ли они чем-то лучше), восходит к Птоломею. В этой группе теорий используют эпициклы, то есть движения, подобные движению сфер, катающихся внутри или снаружи другой сферы, при этом, конечно, предполагали, что в центре опорной сферы находится Земля.

Хотя Аристарх Самосский около 250 г. до н. э. предложил систему, в центре которой было Солнце, об этом забыли; и когда Коперник выдвинул свою знаменитую теорию, он сделал самостоятельное открытие. Книга Коперника, опубликованная в 1543 г., незадолго до его смерти, вдохновила Галилея и в конце концов выиграла борьбу против предрассудков. Такая перемена во взглядах очень глубоко повлияла на человеческое мышление — ведь Земля превратилась в небесное тело, подчиненное Солнцу и звездам. Через астрономию Кеплера это повело к ньютоновой теории тяготения. Вместо сложнейшей системы сфер, планеты стали двигаться по хорошо знако-

мым кривым — эллипсам, в фокусе которых находилось Солнце. А само движение планет по орбитам стало управляться только двумя другими простыми законами. Отсюда начинается дальнейший прогресс, который был бы невозможен на основе представлений Птолемея или Эвдокса, хотя при достаточном числе сфер «спасти явление» можно было с любой степенью точности. Только «спасать явление» недостаточно, хотя это и необходимо. Теория, желающая объяснить факты, должна использовать добротные понятия. Понятия орбиты и сил, действующих в направлении центра, не только проще математически, но, что гораздо важнее, применимы и в других ситуациях. Так, Ньютон в знаменитом случае с яблоком увидел, что падающее яблоко и Луна — примеры одного и того же явления.

Развитие этих представлений показывает, как удалось прийти к понятию относительности движения, в данном случае вращательного, которое в связи с прогрессом астрономии проникло в науку, так сказать, через черный ход. Мы еще вернемся к понятию относительности вращательного движения, но прежде стоит поговорить о более простом типе относительного движения — о движении по прямой линии. Мы сможем рассмотреть его, более подробно познакомившись с понятиями пространства и времени.

Сейчас физик представляет себе пространство как совокупность особого рода отношений между объектами. Определение этих отношений, как правило, требует измерения (или оценки, что просто означает менее точные измерения) расстояний и углов. Однако некоторые отношения имеют качественный характер, например различия между внутренней и наружной сторонами непорванной кожуры апельсина, которые остаются, пока корка сдавлена или смята без разрывов.

Стоит заметить, что измерения осуществимы, только если для измерительных линеек есть достаточно твердые тела, и притом они достаточно жестки, чтобы оставаться почти прямыми. Абсолютная жесткость необязательна. Топограф может позволить своим вешкам или рулеткам менять размеры в результате теплового расширения или натяжений, но при этом всегда должна оставаться возможность проверить их по неизменному эталону. Если

даже в качестве естественных прямых линий использовать световые лучи (случай, допустимый в астрономических масштабах), это не поможет при измерении углов, где надо пользоваться одной из разновидностей жесткого секстана или теодолита.

Ньютон считал пространство абсолютным. По Ньютону, тело могло находиться в состоянии абсолютного покоя. Однако законы механики, которые он ввел, не позволяли обнаружить абсолютное равномерное движение. По Ньютону, группа тел ведет себя одинаково, какова бы ни была абсолютная скорость их прямолинейного движения, если только одинаковы их относительные скорости. Ньютон считал абсолютным также и время. Правда, его, вероятно, беспокоил вопрос, как выбрать правильные часы. Например, время, измеряемое по видимому движению звезд, отличается от измеряемого по Солнцу не только потому, что сидерических дней в году на один больше, чем солнечных, но и потому, что соотношение между обеими разновидностями дня слегка меняется в зависимости от времени года. Исходя из теоретических соображений, Ньютон верно выбрал в качестве правильного сидерическое время, и, хотя для удобства мы пользуемся средним солнечным днем, он условен и не совпадает с действительным движением Солнца. Вот почему утра после рождества такие поздние, хотя вечером уже подолгу светло. Во времена Ньютона часы были не слишком точными. Сейчас, однако, можно показать, что хорошие часы, лежит ли в основе их конструкции маятник или контролируемое пружиной балансное колесо, осциллирующий кварцевый кристалл или молекулярные колебания, идут одинаково. То же самое время покажет и видимое движение звезд, но только не движение Солнца.

По сути дела, часы — это устройство, показывающее, как часто совершается определенный процесс, будь то колебания маятника, осцилляция кристалла или вращение Земли. Предполагается, что каждый цикл процессов такого рода имеет одинаковую длительность. В пользу этого говорит то, что можно отыскать много разных способов измерения времени, которые дают одинаковые результаты.

Но понятие «абсолютное время» может употребляться и в другом смысле. Оно может означать, что время оди-

наково всюду и для всех. Видимо, Ньютон так и считал. Однако здесь он был неправ. Если люди, находящиеся в удаленных друг от друга местах, хотят сравнить время, они должны либо пользоваться одними часами, либо сверить свои часы. На Земле люди могут пользоваться одними часами — звездами, которые видны с вращающейся Земли, и это все, что необходимо для определения временных интервалов, например для сравнения результатов бегунов. Но если, пользуясь звездами, они захотят синхронизировать свои часы по звездам, то им потребуется также знать разницу в долготе своего местоположения, так как звезда окажется в зените на разных долготах в разное время. Разница в градус долготы дает разницу во времени в четыре минуты. Раньше с помощью точных хронометров, поставленных по одним и тем же часам, определяли географическую долготу. Предполагалось, что точность хода хронометров не менялась при морских путешествиях. Определив астрономическими измерениями местное время и сравнив его с показаниями хронометра, разницу во времени переводили в разницу в градусах долготы относительно исходного пункта. Теперь с помощью телеграфа и радио, передающих сигналы почти со скоростью света, можно прямо синхронизировать часы и, между прочим, с большой точностью определять долготу. Теоретически следует учитывать и время прохождения сигнала, хотя для того, чтобы он обогнул Землю, требуется меньше  $\frac{1}{10}$  секунды. Поправку находят так. Сигнал посылают обратно в момент его приема. Половину времени между посылкой сигнала и приемом обратного считают тем временем, которое необходимо, чтобы проделать этот путь в любом направлении. Конечно, тогда допускают, что время прохождения сигнала в обоих направлениях одинаково. Поскольку обе станции неподвижны друг относительно друга, это предположение вполне удовлетворительно.

Если мы когда-нибудь сможем связаться с разумными существами далекого космоса, то объяснить им наши эталоны времени и пространства удалось бы на основе атомных процессов. Например, излучение водорода с длиной волны в 21 сантиметр, важный компонент космической радиации, позволило бы нам объяснить, что такое сантиметр. А колебания каких-либо естественных моле-

кулярных часов дали бы представление о единице времени.

Затруднения в понимании времени и пространства начали вырисовываться, когда Максвелл впервые правильно сформулировал законы, связывающие электрические и магнитные величины. Между прочим, теория Максвелла впервые предсказала существование электромагнитных волн, которые Герц позднее открыл экспериментально и которые теперь называют радиоволнами. Теория Максвелла утверждала также, что свет — это форма электромагнитных волн, и правильно предсказала, что скорость света можно вычислить с помощью лабораторных измерений электрических и магнитных постоянных. Но уравнения Максвелла, в отличие от ньютоновских, действительно подразумевали абсолютный покой в том смысле, что группа «покоящихся» тел должна вести себя иначе, чем та же группа, находящаяся в равномерном движении. Например, заряженный электрический конденсатор с параллельными пластинами должен вращаться, если движется, и не должен, если пребывает в абсолютном покое. Вначале эта особенность теории Максвелла никого не встревожила и не удивила. Физики девятнадцатого столетия привыкли к эфиру различных типов, и, хотя максвелловский эфир был довольно странным, его существование следовало из надежной теории. Теперь, после появления привилегированной системы отсчета — эфира, можно было придать смысл понятию об абсолютном покое. Любому, кто стал бы приводить философские возражения против абсолютного покоя, можно было бы ответить, что это означает покой относительно эфира.

Однако обнаружить движение Земли в эфире ни разу не удалось. Так как Земля вращается вокруг Солнца, она не может находиться в состоянии покоя круглый год, даже если в какой-то определенный момент ее движение вокруг Солнца компенсируется (неизвестным) движением в эфире самого Солнца. Правда, скорость движения Земли по орбите составляет только около  $1/10\,000$  скорости света, и поэтому исследователи могли рассчитывать лишь на ничтожный эффект.

Один из выходов состоял в отказе от теории Максвелла, и, может быть, это и случилось бы, несмотря на ее

огромный успех, если бы точно так же не потерпела неудачу знаменитая попытка Майкельсона обнаружить движение Земли в эфире оптическими средствами. В опыте Майкельсона свет от источника делился на два пучка помощью слегка посеребренного зеркала, которое часть света отражало, а часть пропускало. Оба пучка двигались между зеркалами, проходя одинаковые расстояния, но во взаимно перпендикулярных направлениях, например, один пучок в направлении восток — запад, другой в направлении север — юг. Затем пучки снова сходились вместе и создавали картину светлых и темных полос, известных как интерференционные полосы. Если считать, что свет распространяется в виде волн, то по расположению интерференционных полос можно измерить разницу во времени прохождения двумя пучками равных, но по-разному направленных путей. Если какое-либо устройство действительно движется в эфире, то простое вычисление показывает, что общее время, затраченное на путь по течению и против, несколько больше времени, затраченного на равный путь поперек течения и обратно. Направление движения эфира, если оно существует, неизвестно, но устройство можно поворачивать так, что путь, который в одном положении требует большего времени, в другом — меньшего. Никакого заметного сдвига интерференционных полос в опыте Майкельсона не наблюдалось. Этот опыт основан на самом общем представлении о волнах, и поэтому остается в силе почти для любых типов волн, включая максвелловские электромагнитные волны, и почти для любых разновидностей эфира. Изменив теорию Максвелла или даже заменив ее другими волновыми теориями, которые тогда предлагались, опыт Майкельсона объяснить было нельзя.

Другой выход из создавшегося положения заключался в предположении, что Земля при движении увлекает за собой эфир, но это противоречило известному явлению аберрации света. Оказывается, что каждая звезда за год описывает в небе небольшую орбиту, размер которой определяется относительным движением Земли и света от звезды, если считать, что Земля движется в эфире. Если же Земля увлекает эфир за собой, то объяснить этот факт становится невозможным, так как в этом слу-

чае на границе эфирного поля, увлекаемого Землей, должен происходить разрыв.

Опыт Майкельсона — Морли был проведен в 1887 г. В 1892 г. ирландский физик Фитцджеральд и почти одновременно великий голландский физик Лоренц выдвинули остроумное предположение, примирившее факты с гипотезой об эфире. Они предположили, что любое тело, сколь бы жестким оно ни было, двигаясь в эфире, сокращается в направлении движения на некоторую долю своей длины, тогда как остальные его измерения остаются неизменными.

Для обычных скоростей, которые очень малы по сравнению со скоростью света, это сокращение крайне невелико. Но маленькое оно или большое, его нельзя обнаружить обычными измерениями, так как настолько же будет сокращаться измерительная линейка. Сокращение полностью объясняло отсутствие эффекта в опыте Майкельсона — Морли. В то время как раз начали понимать, что силы, удерживающие обычное вещество в виде единого целого, имеют электромагнитную природу. Поэтому не казалось нелепым, что эти силы подвержены влиянию движения в эфире, а если так, то размеры объекта могли меняться. Однако, чтобы дать объяснение всем экспериментам, следовало принять также, что часы, движущиеся в эфире, идут медленнее в той же мере, в какой сокращаются твердые тела. Снова можно было найти соображение и в пользу этого, но вся гипотеза становилась искусственной. Казалось, законы природы сопротивляются тому, чтобы когда-либо обнаружилось движение в эфире. Они вели себя словно Белый рыцарь:

Покрасить зеленью усы,  
Но веер так носить,  
Чтобы от взоров навсегда  
Надежно их укрыть\*.

Однако это выглядело недостойным со стороны природы! Наконец Пуанкаре (французский физик и математик, брат французского премьер-министра) и Лоренц пришли к более радикальной точке зрения. Пуанкаре первый заговорил о теории относительности, но большую

---

\* Стихи о Белом рыцаре из известной книги Л. Кэррола «Алиса в Зазеркалье». (Прим. ред.)

роль сыграла и теоретическая работа Лоренца, развивавшая максвелловскую теорию. Новая точка зрения в качестве основного принципа принимала невозможность обнаружить движение в эфире, который, по сути дела, был больше не нужен. Этому почти равносильно утверждение, что скорость света одинакова для всех наблюдателей\*. Однако это довольно странный и неожиданный вывод. Исходя из здравого смысла, можно было ожи-

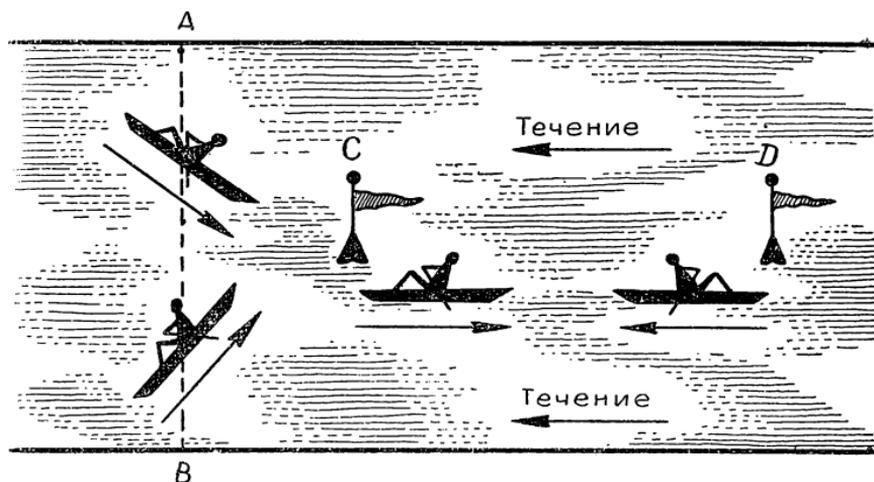


Рис. 7. Опыт Майкельсона — Морли. Расстояние  $AB$  здесь равно  $CD$ . Человек, гребущий туда и обратно от  $A$  к  $B$  поперек течения, должен направлять лодку несколько вверх по течению, так как течение сносит ее вниз, но все же и при этом он имеет небольшое преимущество перед тем, кто вначале гребет прямо против течения от  $C$  к  $D$  и затем прямо по течению обратно к  $C$ . В реальном эксперименте световой пучок разделен на два. Один идет, так сказать, против течения, отражается и возвращается обратно. Другой идет поперек течения на такое же расстояние и тоже отражается. Пучки сходятся вместе и создают картину светлых и темных полос, которая показывает разницу во времени, которое требуется обоим пучкам для прохождения пути.

дать, что если свет является потоком частиц, как считал Ньютон, или волн, как считали в прошлом столетии, то скорость света должна быть больше для наблюдателя,

\* Строго говоря, это верно лишь при отсутствии ускорения, которое, однако, не рассматривалось в первоначальной теории. (Прим. автора.)

движущегося по направлению к источнику света, и меньше для наблюдателя, движущегося от источника.

Пришлось пересмотреть понятия времени, пространства и относительного движения и, в частности, суждения о размерах объектов и времени событий, которые сделали бы наблюдатели, движущиеся относительно друг друга. В математическом смысле существует фактически только один возможный ответ, если считать, что скорость света для всех наблюдателей одинакова. Этот ответ (известный как преобразования Лоренца) среди прочего предполагает сокращение длин и замедление хода часов, раньше вводившиеся как довольно спорные гипотезы.

А теперь, когда нет эфира с его привилегированным наблюдателем, любому наблюдателю, мимо которого движется тело, длина его будет казаться короче, чем наблюдателю, относительно которого тело находится в покое. Часы будут идти медленнее для любого наблюдателя, мимо которого они движутся, независимо от направления движения. Кроме того, исчезает абсолютная одновременность и вместе с ней абсолютное время. Как мы увидим, два события будут восприниматься в одном порядке одним наблюдателем и в обратном — другим, движущимся мимо него, но это лишь в том случае, если эти события происходят на значительном удалении друг от друга. События, которые происходят в одном месте, имеют один и тот же временной порядок для всех наблюдателей.

Определение момента отдаленного события требует учета времени, нужного, чтобы световой сигнал от события достиг наблюдателя. Пусть два наблюдателя, движущиеся один мимо другого, видят одно и то же событие (скажем, рождение сверхновой звезды). Направление на звезду и направление относительного движения наблюдателей для простоты выберем одинаковыми. Предположим, что наблюдатели проходят мимо друг друга как раз в тот момент, когда оба видят вспышку этой новой звезды и оба знают расстояние до нее. Если один наблюдатель движется от звезды, а другой к звезде с равными скоростями\*, то любое сокращение расстояния

---

\* Относительная скорость в направлении между звездой и наблюдателем может быть измерена по изменениям в свете звезды, если проанализировать его в спектрографе. (Прим. автора.)

или замедление хода часов будет одинаковым для обоих. Но один сделает вывод, что расстояние, когда действительно произошла вспышка, было больше, чем в тот момент, когда он увидел свет. А другой решит, что расстояние было меньше. Если каждый наблюдатель, как и положено, внесет свои поправки, считая скорость света постоянной, то оценки времени вспышки звезды окажутся различными. Например, один будет считать, что вспышка

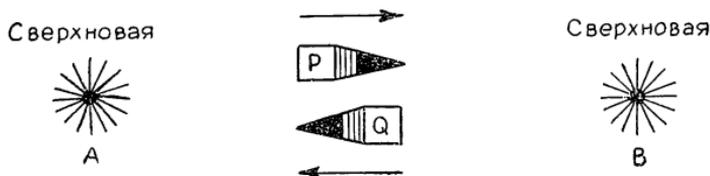


Рис. 8. Два наблюдателя  $P$  и  $Q$  изображены пролетающими мимо друг друга в пространстве, когда оба видят рождение двух сверхновых звезд  $A$  и  $B$ , которые покоятся по отношению друг к другу и находятся на равном расстоянии от наблюдателей  $P$  и  $Q$ .  $P$  сделает вывод, что  $B$  в действительности вспыхнула раньше  $A$ , а  $Q$ , что  $A$  в действительности вспыхнула раньше  $B$ .

произошла 1000 лет назад, другой — 1100. (Наблюдатели пришли бы к одному и тому же выводу, если бы, приступая к вычислениям, каждый сложил (или вычел) собственную скорость со скоростью света, но это противоречило бы правилу постоянства скорости света). Если бы в момент встречи наблюдателей вспыхнула еще одна сверхновая, находящаяся на том же расстоянии, но в противоположном направлении, то оценки наблюдателей для этой звезды поменялись бы.

Таким образом, каждый считал бы событие (в данном случае взрыв сверхновой звезды), в направлении которого он движется, в действительности случившимся раньше. Непосредственно, без дальнейших умозаключений, взрыв сверхновой воспринимается двумя наблюдателями одновременно, лишь поскольку они находятся в одном месте. Эффект одновременности событий для разных наблюдателей оказывается более значительным, чем эффект сокращения длин. Математик сказал бы, что это явление первого порядка, тогда как сокращение разме-

ров — явление второго порядка. Если направление скорости меняется на обратное, то явление первого порядка меняет свой знак с плюса на минус или с минуса на плюс, в то время как сжатие так и остается сжатием, а не растяжением. Каждый из двух наблюдателей, движущихся друг относительно друга, считает один другого короче, чем если бы тот был в состоянии покоя.

Очень сильный довод в пользу правильности всего этого состоит в том, что те же самые математические соотношения, которые обуславливают постоянство скорости света для всех наблюдателей, делают уравнения Максвелла в равной степени приемлемыми для всех. Принцип относительности утверждает, что фундаментальные физические законы одинаковы для всех наблюдателей, которые движутся друг относительно друга равномерно и прямолинейно. Уравнения Максвелла при новом подходе согласуются с этим принципом. Следует заметить, что принцип относительности, по сути дела, является утверждением абсолютности законов природы. Выражение «принцип относительности» — пример двусмысленности, которая может возникнуть в результате нечеткого выбора терминов, такой же двусмысленности, как если бы, например, говорили «принцип войны» вместо «принцип самоопределения». Принцип относительности говорит о том, как нужно подходить к относительному движению; в нем вовсе не утверждается, что такой подход особенно важен или желателен, и тем более он не утверждает, что все на свете только относительно.

Хотя теория относительности и позволила преодолеть заметные трудности, успех был достигнут ценой серьезного насилия над здравым смыслом. Можно сомневаться, получил ли бы принцип относительности то полное признание, какого сейчас достиг, если бы не замечательные результаты его использования в механике, — результаты, полученные главным образом Эйнштейном, предсказавшим эквивалентность массы и энергии, блистательно подтвержденную ядерной физикой. Но об этом в следующей главе.

Специальная теория относительности (общепринятый термин для совокупности взглядов, основанных на принципе относительности) — пример того, как понимание физики зависит от правильного подхода к основам. Не-

ожиданные, просто неприемлемые экспериментальные результаты создали массу трудностей для теоретиков. Вместо того чтобы бороться с ними, штопая и латая дыры теорий, Пуанкаре и Эйнштейн применили совершенно новый, радикальный подход. Они отбросили такое понятие, как абсолютный временной порядок событий, которое, будучи вполне пригодным к обыденной жизни, оказалось неприемлемым, когда речь шла о больших скоростях.

Специальная теория относительности рассматривает только движения по прямой линии с постоянной скоростью. Но что случится, если скорость изменится либо по направлению, либо по величине? Такое изменение скорости называется ускорением. Понятие ускорения применяется ко всем типам движения. Уменьшение скорости рассматривается как отрицательное ускорение, а изменение направления скорости — как ускорение под прямым углом к скорости. Ускорение — это основное понятие, вокруг которого строится механика Галилея и Ньютона. Силы определяются ускорениями, которые они вызывают. Для частиц во всех случаях ускорение равно силе, деленной на массу\*.

Тяготение — тоже сила в приведенном смысле слова. Эта сила уникальна в том отношении, что только она всегда пропорциональна (в любой данной точке) массе тела, на которое она действует. Это значит, что в любой данной точке ускорение под действием силы тяжести постоянно, или проще, все тела из состояния покоя падают одинаково быстро. Галилей первым установил этот закон в своем знаменитом эксперименте, когда он, бросая с Пизанской падающей башни однофунтовые и стофунтовые грузы, обнаружил, что грузы одновременно (или почти одновременно) достигают земли. Последователи же Аристотеля утверждали, что скорости грузов должны быть пропорциональны их весу. Опыт Галилея был не очень точным, но эксперименты с маятниками (а грузик

---

\* Если действует более чем одна сила, то ускорения складываются с учетом их направлений, или же иначе, можно в соответствии с простым законом сложить силы и найти «результатирующую», то есть такую эффективную силу, которая может заменить все остальные. (Прим. автора.)

маятника и есть свободно падающее тело) подтвердили справедливость закона с точностью до одной миллионной доли.

Благодаря этому любопытному свойству тяготения люди в космическом корабле, как только они выйдут за пределы атмосферы, не смогут сказать, что они падают, или определить хотя бы, в каком направлении действует сила тяжести. Даже всего лишь в 200 милях над землей, где сила тяготения составляет ещё 90% силы тяготения на поверхности, тяжесть внутри корабля совершенно не будет ощущаться, так как сам корабль и все, что в нем находится, ускоряется в равной мере. На космическом корабле, чтобы удержать два предмета вместе или медленно разделить их, не понадобится никаких усилий, и, если два предмета разойдутся, ничто не заставит их сблизиться снова. Но если действует какая-то иная сила, например в результате работы ракетного двигателя, ускорение заставит свободно плавающие внутри корабля предметы двигаться к одной из стенок по направлению выхлопа газов из сопла ракеты, как будто эти предметы внезапно приобрели вес.

Общая теория относительности Эйнштейна является попыткой распространения специальной теории относительности на любые типы относительного движения. Наиболее успешная ее часть — теория гравитации, соперничающая с ньютоновской теорией. Общая теория относительности начинается с того, что берет в качестве основного принципа неизменность ускорения под действием силы тяжести в данной точке. Предполагается, что однородное гравитационное поле ничем не отличается (тождественно на самом деле) от состояния постоянного ускорения. Подобное состояние постоянного ускорения нельзя определить лишь опытами внутри системы. Его удастся обнаружить только наблюдениями извне. Значит, довольно существенное гравитационное поле Солнца, которое заставляет Землю каждый год описывать около него круг, на Земле нельзя обнаружить; точнее, нельзя было бы обнаружить, будь это поле однородным. Но так как на той стороне Земли, которая обращена к Солнцу, оно несколько сильнее, чем на противоположной, возникают приливные эффекты, которые проявляются в виде разницы между высокими и низкими приливами. Однако эта за-

летная разница в 5000 раз меньше основного эффекта, о котором мы бы и не подозревали, если бы не видели Солнца на фоне звезд и отсюда не пришли к выводу об орбитальном движении Земли.

Общая теория относительности идет, однако, дальше констатации эквивалентности тяготения и ускорения. Она утверждает, что любой фундаментальный закон, не только закон тяготения, должен быть выражен одинаково для всех наблюдателей, даже тех, которые движутся ускорением относительно друг друга. В этом утверждении больше математики, чем кажется на первый взгляд, и оно накладывает сильные ограничения на математическую формулировку законов природы. Оно не означает, что все наблюдатели должны фиксировать одинаковые эффекты. Например, если взять просто специальную теорию относительности, которая имеет дело только со скоростью, то, согласно ее законам, наблюдатель, движущийся мимо электрического заряда, будет регистрировать магнитное поле, вызванное этим зарядом, а наблюдатель, неподвижный по отношению к заряду, такого поля регистрировать не будет.

Сформулировать закон в форме, одинаково пригодной для всех наблюдателей, математически крайне трудно, но Эйнштейну удалось это. Довольно неожиданно выяснилось, что существует один специальный закон такого рода для тяготения и он настолько проще любых других законов, что фактически этим и определяет свой выбор. К сожалению, этим законом трудно пользоваться, и были разработаны только несколько простых случаев. Когда тяготение слабое, закон Эйнштейна неотличим от ньютоновского закона тяготения, утверждающего, что две любые частицы притягивают друг друга с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Тяготение кажется нам значительной силой, но в действительности оно относится к числу самых слабых сил в физике\*. Два свинцовых шара, каждый весом в тонну (на Земле), с центрами на расстоянии метра притягивают

---

\* В мире элементарных частиц гравитационные взаимодействия слабее электромагнитных примерно в  $10^{42}$  раз. Ядерные же силы примерно в 100 раз превосходят электромагнитные. (Прим. перев.)

друг друга с силой всего лишь около 0,01 грамма. Тяготение оказывается внушительным для нас благодаря притягивающей массе Земли, которая по обыденным стандартам — очень большое тело.

Поэтому не удивительно, что для большей части приложений теории Ньютона и Эйнштейна дают одинаковый результат. Известно только три явления, все очень малозаметные, где эти теории дают разные результаты: это особенности орбитального движения планеты Меркурий, искривление световых лучей от звезды, проходящих около Солнца, и изменение длины световых волн, излученных в поле тяготения. Во всех трех случаях результаты опытов согласуются с теорией Эйнштейна в ожидаемых пределах. Но сами эффекты настолько малы, что велика относительная ошибка, и соответствие с теорией подтверждается недостаточно точно. Результаты же недавних опытов с рентгеновскими лучами, которые тоже являются формой света, хорошо согласуются с теорией Эйнштейна. К сожалению, этот тип опытов менее пригоден для роли решающих, чем оба других, ибо тот же результат можно предсказать, исходя из простого предположения о том, что энергия рентгеновских лучей меняется под действием тяготения так же, как менялась бы в поле тяготения энергия пули. А раз все виды энергии равноценны, то ничего другого и не следует ожидать.

Несомненно, эйнштейновская теория превосходит ньютоновскую в точности, хотя ею гораздо труднее пользоваться. Правда, теория Ньютона противоречит специальной теории относительности. Теория Ньютона может быть полностью справедливой только для привилегированного наблюдателя. Если, например, она была бы справедлива для наблюдателя, неподвижного относительно Солнца, то она не могла бы быть полностью справедливой для наблюдателя на Земле. И все же общая теория относительности не имеет такой притягательной силы, как специальная. Ведь общей теории относительности не пришлось, как специальной, объяснять серию безрезультатных опытов.

Кроме того, вполне удастся обнаружить абсолютное ускорение в форме вращения. Можно доказать, что Земля вращается, и измерить продолжительность сидерического дня в эксперименте в закрытом помещении, не видя

Солнца или звезд. Если раскачивать маятник на подвесе, который допускает свободное вращение, то плоскость движения маятника будет поворачиваться просто потому, что Земля поворачивается под ним. Такой маятник Фуко, хотя и известен уже столетие, не является точным устройством; трудно сделать подвес, который не увлекал бы маятник за собой. Однако гирокомпас, сейчас самый обычный прибор на борту корабля, хотя устроен сложнее и более труден для понимания, по сути дела, построен на том же основном принципе. Он дает высокую точность измерений и ведет себя в соответствии с требованиями теории Ньютона. Поэтому можно измерять две разновидности суток: одну как время, в течение которого Земля поворачивается по отношению к видимым звездам, и другую как чисто механическую, измеренную с помощью маятника Фуко или его эквивалента. Замечательно, что те и другие «сутки» совпадают. В этом случае звезды представляют собой избранную систему отсчета, обладающую особым свойством, систему, в отношении которой законы динамики приобретают чрезвычайно простую форму\*. Система отсчета, по отношению к которой законы Ньютона приобретают простейшую форму, называется «инерциальной системой отсчета». Следовательно, оси, направленные на неподвижные звезды, образуют инерциальную систему отсчета, а линии широт и долгот на Земле такой системы не образуют. Маятник Фуко качается в одной и той же плоскости в инерциальной системе отсчета неподвижных звезд.

Давно, еще в XIX столетии, австрийским физиком Махом (именем которого названо «число Маха» в аэродинамике) было выдвинуто предположение, что массы звезд некоторым образом сами создают инерцию и образуют привилегированную систему отсчета. Эйнштейн соглашался с Махом в том отношении, что если уничтожить всю материю, кроме экспериментальной частицы, то эта частица не будет обладать массой, то есть и инерцией.

Теория Эйнштейна подразумевает, что пространство вблизи тела, обладающего силой тяжести, является не

---

\* Любая система отсчета, движущаяся по отношению к такой избранной системе с равномерной скоростью без вращения, будет с теми же свойствами. Разумеется, это следует и из специальной теории относительности. (Прим. автора.)

совсем эвклидовым и теорема Пифагора поэтому не вполне справедлива. Давно известно, что эта теорема не является логически необходимой, а представляет собой экспериментальный факт, правда, установленный с высокой степенью точности. В неэвклидовом пространстве планеты движутся по эквивалентам прямых линий, которые для нас выглядят кривыми; примерно то же самое происходит, когда кратчайшие расстояния между двумя точками на Земле оказываются дугами большого круга, а не прямыми. Уиттэкер в качестве сравнения использовал игру в кегли, популярную на севере Англии. Там кеглю ставят на вершине небольшого холмика. Шар, приближающийся к холмику чуть косо, сворачивает в сторону, будто отталкиваемый кеглей. Его движение можно описать, считая площадку гладкой и вводя соответствующую силу отталкивания. Примерно так и поступил Ньютон, с тем лишь отличием, разумеется, что сила у него была притягивающей.

Эйнштейновское описание гравитации с помощью геометрии крайне привлекательно. И очень может быть, что наиболее фундаментальные законы физики можно выразить в форме, не зависящей от системы отсчета, которой пользуется наблюдатель, хотя до сих пор попытки объединить теорию тяготения и электродинамику Максвелла и выразить их в такой форме к успеху не привели. Еще меньше удалось продвинуться в этом направлении квантовой теории.

Привлекательность общей теории относительности отчасти кроется в том, что фундаментальные законы Вселенной не должны зависеть от каких-либо привилегий для тех или иных систем отсчета. Однако существует одна естественно привилегированная система — система, которую создает вся материальная Вселенная. Это требует определенной степени симметрии в свойствах материальной Вселенной. Если бы, например, наша собственная Галактика, которая почти определенно имеет форму диска, была единственной материей во Вселенной, и связанная с ней система отсчета была бы наиболее естественной, то можно было бы ожидать различий для движения в плоскости диска и в направлении, перпендикулярном к нему. Но такие различия никогда не наблюдались, если исключить движение Солнца, которое подобно пла-

нете вращается вокруг центральной группы звезд. Наша Галактика тем не менее окружена тысячами миллионов других подобных галактик, разбросанных так, что нельзя особо выделить ни одно из направлений. Недавно на роль фундаментального закона был предложен принцип, названный космологическим, который гласит, что в самых больших масштабах Вселенная однородна во всех направлениях и выглядит одинаково, с какой бы галактики ни велись наблюдения. Принцип спорен и может не оправдаться при изучении наиболее отдаленных астрономических районов с помощью радиотелескопов, но если он окажется обоснованным, даже в видоизмененной форме, то это будет означать возможность привилегированной системы отсчета. Как мы уже видели, это была бы инерциальная система отсчета.

Мне кажется, общей теории относительности следует воздать по заслугам, как теории, которая достаточно хорошо объяснила определенные экспериментальные факты. Но к ней не следует относиться как к чему-то метафизическому, чему должны подчиняться все остальные теории. Мы уже видели, что специальная теория относительности применима в определенных пределах. Эта теория пригодна для ограниченного круга наблюдателей, которые не находятся под действием тяготения (или, что то же самое, ускорений). Когда возникают ускорения, результаты меняются. Хорошо, если эти изменения попадают в круг тех же первоначальных идей, как это происходит в общей теории относительности.

Даже если общая теория относительности так глубоко верна, как утверждают ее самые рьяные сторонники, относительность вращения не означает, что Галилей был неправ, настаивая на том, что Земля движется. Без учета вращения Земли нельзя получить инерциальную систему отсчета.

Мы проделали долгий путь от предположения, что антиподы должны упасть, до теории относительности; и если сейчас различия в мнениях или, скорее, в оттенках мнений по вопросам времени, пространства и тяготения еще и возможны, то все же современные взгляды остаются в рамках чего-то общего для всей физики. Очень разные точки зрения могут приводить к идентичным или почти идентичным выводам, когда они переведены на

язык наблюдений. Именно наблюдения ближе всего к реальности. Чем больше абстрагируешься от наблюдений, тем более захватывающие, далеко идущие выводы можно сделать, но тем меньше уверенность в том, что другие взгляды, совершенно непохожие на старые, приведут к тем же выводам.

### Г. А. ЛОРЕНЦ

Одна из наиболее отрадных черт нашего времени — тесные узы, связывающие ученых разных стран. Наука всегда была интернациональной, и даже в семнадцатом столетии ученые мужи из юного Королевского общества поддерживали личные и коллективные контакты с коллегами на континенте. Сейчас международные связи ученых несравненно шире и прочнее, чем пятьдесят или сто лет назад. Многие причины привели к этому, но ничей личный вклад не был больше, чем вклад Лоренца.

Выдающийся исследователь, он обладал недюжинным административным талантом, незаурядными лингвистическими способностями: он говорил на английском, французском и немецком языках, так же свободно, как и на своем родном — голландском, но главное — он обладал такими душевными качествами, которые всегда завоевывали ему уважение, а часто и любовь окружающих. Много лет подряд Лоренц был президентом Сольвеевских конференций, периодически созывавшихся в Брюсселе для обсуждения основных проблем физики и химии. Конференции учредил и финансировал Е. Сольвей, глава знаменитой химической фирмы, и они стали образцом многих подобных конференций, столь важных сейчас в жизни физика-исследователя. У Лоренца был особый дар сглаживать трудности, которые могли возникнуть на международных встречах.

Исследования Лоренца продолжают работу Максвелла. Он решил несколько важных вопросов, оставленных им без ответа. Эти вопросы связаны с отражением света и его распространением в движущейся среде. К числу еще более значительных достижений Лоренца следует отнести то, что он был одним из тех, кто ввел в обиход представление об индивидуальных равных единицах электрического заряда, по сути дела, об электронах. До

Лоренца Максвелл и Фарадей сосредоточили внимание на среде между наэлектризованными и намагниченными телами, и представление о заряде, предложенное Бенджамином Франклином, было отодвинуто на второй план. Лоренц со своей электронной теорией вернул ему ключевое место, которое оно и занимает с тех пор.

Лоренц с готовностью поддержал гипотезу Фитцджеральда об уменьшении размеров тел в направлении их движения в эфире, в результате которого движущаяся сфера оказалась бы, подобно Земле, сплюсненной у полюсов. Вернувшись домой после короткого визита к Дж. Дж. Томсону, Лоренц и госпожа Лоренц прислали в подарок Джи-Джи голландский сыр обычной формы с надписью «модель электрона».

Хотя от первоначального выражения для фитцджеральд-лоренцевского сокращения, связанного с представлением о материальном эфире, пришлось отказаться, на его основе были сформулированы «преобразования Лоренца», которые впоследствии стали математической основой специальной теории относительности и сыграли существенную роль во всей дальнейшей работе.

Когда П. Зееман, ученик Лоренца, открыл эффект воздействия магнитного поля на свет от натриевого пламени (см. главу III), то Лоренц был первым, к кому Зееман обратился за объяснением. Объяснение было получено в течение нескольких дней на основе новой электронной теории. Тогда же была сделана первая оценка отношения заряда к массе для еще гипотетических электронов. В двадцатые годы нашего столетия эффект Зеемана оказался мощнейшим орудием исследования атомных структур. На грани двух столетий в Голландии работали другие выдающиеся физики, среди них Ван дер Ваальс, и хотя Голландия — маленькая страна, она по праву была великой державой в физике.

### **АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН**

Об Эйнштейне написано так много, что трудно отважиться что-либо добавить к этому. Милый и ласковый характер Эйнштейна, который очаровывал всех, кто знал его в последние годы жизни в Принстоне, хорошо известен и не нуждается в новых комплиментах. То же можно

сказать и о деятельности Эйнштейна в защиту мира, что не помешало ему послать письмо Рузвельту и предупредить его о смысле открытия деления урана. Известна и борьба Эйнштейна в защиту интеллектуальной свободы. Однако в такой книге, как наша, где речь идет прежде всего о методе научных исследований, уместны несколько слов о подходе Эйнштейна к физике. Его научная деятельность — ярчайший пример использования математических моделей. В XIX веке физики строили механические модели природы. Особенно атомов и эфира. Эти модели основывались, разумеется, на механике Ньютона и были иногда очень сложными, а иногда не сложнее, чем трясущееся желе. Успех максвелловской электродинамики, показавшей, что эфир не может быть чисто механическим, отбросил эти модели. Опыт Майкельсона — Морли и объяснение его специальной теорией относительности положили конец попыткам вновь изобрести электрический эфир. Само слово «эфир» исчезло из физики и стало выглядеть почти неприличным, хотя в последние годы появились признаки, что и термин, и представление снова приобретают какой-то смысл.

Место механических моделей заняли математические. Широкое применение математических моделей характерно для наших дней, хотя еще Галилей использовал их в простой форме, и нельзя не отметить, что математическая модель была основой греческой космогонии. Чтобы построить математическую модель, выбирают какую-то привлекательную, элегантную ветвь математики, обладающую некоторым сходством с изучаемыми физическими фактами, а затем делают попытку полностью или частично согласовать математические построения с исследуемыми явлениями. Это похоже на то, будто сначала чертят серию идеальных географических карт, а потом отыскивают страну, которую они изображают. Для создания своей общей теории относительности Эйнштейн применил математический аппарат, который называется тензорным исчислением. По сути дела, это геометрия, хотя, как и большая часть современной геометрии, тензорное исчисление выражено в алгебраических символах. Основная идея Эйнштейна сводилась к тому, что тяготение — свойство пространства вблизи массивных тел. Разработка идеи требовала использования тензорного исчисления, а

иногда им диктовался и ход работы. О результатах мы вкратце рассказали раньше, насколько это возможно без применения математики.

Простота так важна для красоты математики, что любой математик всегда выберет простейшую из открывшихся возможностей, которая не слишком расходится с фактами. Хотя, казалось бы, нет никаких особых причин считать, что Вселенная устроена просто, все же лучше предполагать, что это именно так. Если же проблема, над которой работают, действительно очень сложна, то ее можно оставить до той поры, пока не будет найден подход простой, но достаточно близкий к истине, чтобы его применить. Особых оснований считать природу подчиняющейся математическим закономерностям нет, но если бы это было не так, вряд ли был бы возможен прогресс теории. На практике математические модели оказались полезными, независимо от того, сказала ли теория Эйнштейна последнее слово в теории тяготения или нет. Грандиозные проблемы, затрагивающие глубины космоса, к которым ведет теория Эйнштейна, сами по себе знаменуют колоссальный прогресс.

Математический подход к задачам весьма отличен от подхода Резерфорда, однако оба метода оказываются сходными в том, что рисуют идеальную картину скрытых явлений, которые в одном случае уподобляются соотношениям между некоторыми математическими величинами, а в другом — соотношениям между материальными телами, движущимися определенным образом.

Работа Эйнштейна никоим образом не ограничивается лишь теорией относительности. Помимо ранней теории броуновского движения частиц вещества в жидкостях, Эйнштейн усовершенствовал квантовую теорию Планка. Он распространил ее на излучение в свободном пространстве, которое, как он предполагал, происходит в виде пакетов, называемых теперь фотонами. Этим Эйнштейн объяснил тот парадокс, что слабый пучок рентгеновских лучей может вырывать из вещества электроны с такой же силой, хотя и в меньшем количестве, как и гораздо более интенсивный рентгеновский пучок. Если кусок вещества подносят ближе к источнику рентгеновских лучей, то меняется число (но не энергия) выбиваемых электронов.

## МАССА, ЭНЕРГИЯ, МАТЕРИЯ

Понятия массы и энергии настолько тесно связаны друг с другом, настолько важны и интересны, что заслуживают специальной главы. Галилей и Ньютон создали представление об инертной массе — основное в классической механике. И до них задумывались над тем, что именно заставляет предметы двигаться, и давали самые разные объяснения. Галилей поставил вопрос по-другому и показал, что следует скорее выяснить, почему движущиеся тела останавливаются и при каких условиях это происходит. Он понял, что свойство инерции, которое препятствует ускорению массивного тела, мешает и его остановке, если тело уже движется. Чем массивнее пуля, тем большее повреждение она вызывает. Галилей полагал, что сила способна изменить состояние не только покоящегося тела, но и тела, находящегося в движении. Под действием силы тело будет ускоряться до величины, равной силе, деленной на число, определяющее количество материи в теле и именуемое массой. Со строго логической точки зрения этот закон лишь вводит определение силы и массы, но имеется в виду, что масса куска материи постоянна, если частицы материи не добавляются к этому куску или не удаляются из него. Силы же предполагаются закономерно связанными с условиями вне тела, на которое они действуют. Это может быть вес, то есть действие тяготения Земли, натяжение видимой нити, магнитная сила, которая, хотя и невидима, возникает благодаря видимому магниту. Помимо того Ньютон показал, что силы всегда двусторонни, то есть действие всегда равно противодействию. Благодаря этому сразу появляется воз-

можно сравнивать массы, сталкивая два тела друг с другом и наблюдая, как изменились их скорости в результате действия и противодействия (разумеется, совершенно безразлично, какой из концов силы называть действием, а какой противодействием).

Мы уже говорили, что вес тела в любой точке земной поверхности пропорционален его массе, поэтому массы

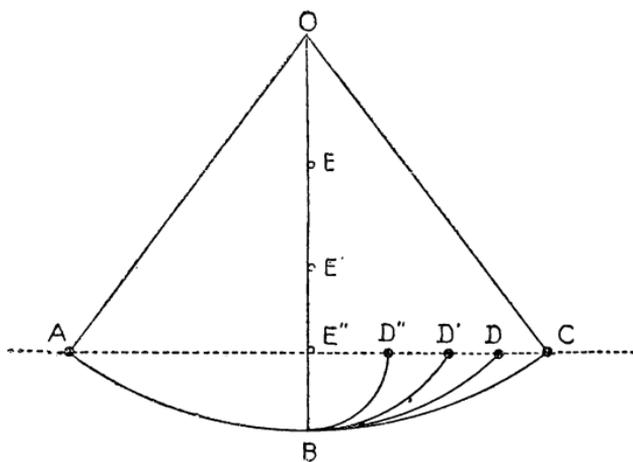


Рис. 9. Опыт Галилея. Пуля подвешена на нитке к гвоздю  $O$ . Она отводится в точку  $A$  и опускается. Тогда пуля описывает кривую  $AB$ , которую Галилей рассматривал как серию очень коротких наклонных участков с разной величиной наклона. Затем пуля изменяет направление своего движения и попадает в точку  $C$  на том же горизонтальном уровне, что и точка  $A$ . Вобьем гвоздь в точке  $E$  и повторим опыт. Пройдя вертикальную линию, нитка обернется вокруг гвоздя, и пуля опишет дугу  $BD$  с центром в точке  $E$ , но поднимется до того же уровня  $AC$ . То же самое произойдет, если гвоздь вбить в точках  $E'$  или  $E''$ .

можно сравнивать и путем взвешивания. Покупая фунт масла, мы, по сути дела, покупаем массу. Вес просто создает лишние неудобства нести это масло домой.

Рассмотренное понятие массы годилось для целей механики 250 лет и даже дольше. Казалось бы, это было наиболее твердо обоснованное физическое понятие. Масса представлялась основным свойством материи, почти определением материи. Первый слабый намек на то, что

дело обстоит не так просто, появился в 1881 г. в работе Дж. Дж. Томсона, о которой я упоминал. Исследование Томсона было дальнейшей разработкой тогда еще непривычной теории электромагнетизма Максвелла. Томсон показал, что наэлектризованный металлический шар должен вести себя так, будто он имеет небольшую дополнительную массу. Этот довесок массы был слишком мал, чтобы можно было надеяться обнаружить его экспериментально, но даже если бы его удалось обнаружить, нельзя было бы сказать, подлинная ли это масса или что-то похожее на нее.

Во всяком случае, с тех пор стали говорить об электромагнитной массе, а когда был открыт электрон, предположили, что электромагнитная масса имеет электронную природу. Это была разумная мысль, так как масса, вычисленная для данного электрического заряда, возрастает с уменьшением радиуса сферы. Электрон же мог быть действительно очень маленьким. Затем выяснилось, что массы электронов в бета-лучах зависят от их скорости, возрастая с увеличением последней. Это полностью противоречило ньютоновским представлениям, но для электромагнитной массы этого следовало ожидать. Правда, расчетное изменение массы не соответствовало измеренному, причем разница становилась значительной, когда скорость электронов приближалась к скорости света.

Здесь придется прервать наш рассказ и вернуться к нему вновь после того, как мы рассмотрим понятие энергии. Представление об энергии господствовало в физике середины девятнадцатого столетия и было связано с именами Джоуля, Кельвина, Гельмгольца и Клаузиуса. Однако зародыш представления об энергии можно увидеть в экспериментах, отчасти действительных, отчасти мысленных, которые привели Галилея к общему представлению о массе. Когда грузик, подвешенный на нити, раскачивается, как маятник, он набирает скорость от высшей точки, где находится в состоянии покоя, до низшей точки, где движется быстрее всего. Затем, когда другую половину пути грузик начинает подниматься, он движется все медленнее, пока на мгновение не останавливается на той же высоте, с которой начал движение. Галилей показал, что если нить ударяет по колышку, торчащему на пути

се движения, то грузик описывает дугу меньшего радиуса, но поднимается на прежнюю высоту. Маятник в нижней точке обладает определенным количеством движения, и, когда оно расходуется, грузик поднимается на первоначальную высоту независимо от пройденного пути. Ускорение движения, таким образом, связано с падением, а замедление — с подъемом.

Но что при этом считать надлежащей мерой «количества движения», или, как иногда говорят, «живой силы»?

Этот вопрос оживленно обсуждали в XVII веке. Одни придерживались мнения, что такой мерой следует считать массу, умноженную на скорость, другие полагали, что скорость входит в это выражение в квадрате, давая формулу  $mv^2$ . Здесь  $m$  — масса медленно движущейся частицы. Как часто случается в таких дискуссиях, правы были обе стороны. Все зависит от того, для каких целей нужна мера количества движения. Обе предлагаемые величины получили свое наименование. Масса, умноженная на скорость, так и называется количеством движения, а масса, умноженная на квадрат скорости (и деленная на 2 по причинам, которые будут ясны далее), называется кинетической энергией. Оба эти понятия полезны, так как для обоих существует соответствующий закон сохранения, согласно которому количество движения или кинетическая энергия сохраняются в ходе того или иного процесса.

Легко показать, что сохранение количества движения прямо следует из ньютоновского закона равенства действия и противодействия. Закон сохранения количества движения утверждает, что общее количество движения группы тел не меняется по направлению и величине при взаимодействии между этими телами. Закон этот применим к любой полностью замкнутой системе, но не к маятнику, так как грузик маятника притягивается Землей. Чтобы использовать закон в этом случае, мы должны как-то измерить количество движения, передаваемое Земле благодаря натяжению нити маятника, и учесть его, что, по-видимому, не очень-то практично. А вот при выстреле из пушки закон сохранения количества движения вполне практичен и говорит о том, какой должна быть отдача в зависимости от начальной скорости снаряда и отношения массы снаряда к массе пушки. В этом случае вес

пушки довольно малая сила по сравнению с большой силой взрыва.

Закон сохранения кинетической энергии немного сложнее. Сама по себе кинетическая энергия не сохраняется, сохраняется сумма кинетической энергии и другой величины, которую именуют потенциальной энергией. Для маятника потенциальная энергия равна высоте груза над некоторым уровнем, умноженной на вес груза. Уровень, выбранный для отсчета, не имеет значения, так как важна только разница в уровнях. Когда маятник качается, энергия груза постепенно меняется от чисто потенциальной в верхней точке качания до чисто кинетической в нижней точке, если для удобства выбрать нижнюю точку качания в качестве отсчетного уровня. Расчет показывает, что выражение  $\frac{mv^2}{2}$  правильно определяет количество кинетической энергии в таком процессе. В некотором смысле приведенное определение кинетической энергии произвольно. Любые характеристики движения маятника можно найти, не пользуясь представлением о кинетической энергии. Это представление не вносит ничего нового. Хотя в более сложных задачах, например касающихся движения планет или спутников, представление об энергии упрощает математические вычисления. Но если бы все дело было только в этом, роль энергии была бы невелика.

Понятие энергии стало одним из величайших понятий физики, потому что оно объединило разные ветви физики в единое целое. Например, долгое время теплоту считали невидимым флюидом, который называли «калорическим». Этот флюид будто бы тек от нагретых тел к холодным. Но тела могли нагреваться значительно выше температуры среды, в которой они находятся, с помощью трения. Впервые это показал Румфорд в опытах со сверлением жерл пушек, а затем более точно Джоуль, перемешивавший воду лопатками, которые приводились в движение падающими грузами. Потери потенциальной энергии при падении груза оказались строго пропорциональными выделенному теплу. В воде не происходило никаких других изменений, кроме повышения температуры. Нетрудно понять, как вывести из этих фактов закон сохранения. Нужно только измерить тепло в соответ-

вующих единицах, и тогда в любом таком опыте тепло плюс потенциальная энергия останутся неизменными. Если же потенциальная энергия уменьшается, на ту же величину увеличивается количество выделенного тепла. Возьмем другой пример. Пуля обладает кинетической энергией, которая, если выстрелить вверх в воздух, частично превращается в потенциальную энергию. Если, однако, выстрелить пулей в мишень, где она задержится, то пуля сильно нагреется. Если измерить это тепло, мы найдем, что оно будет точно равно истраченной кинетической

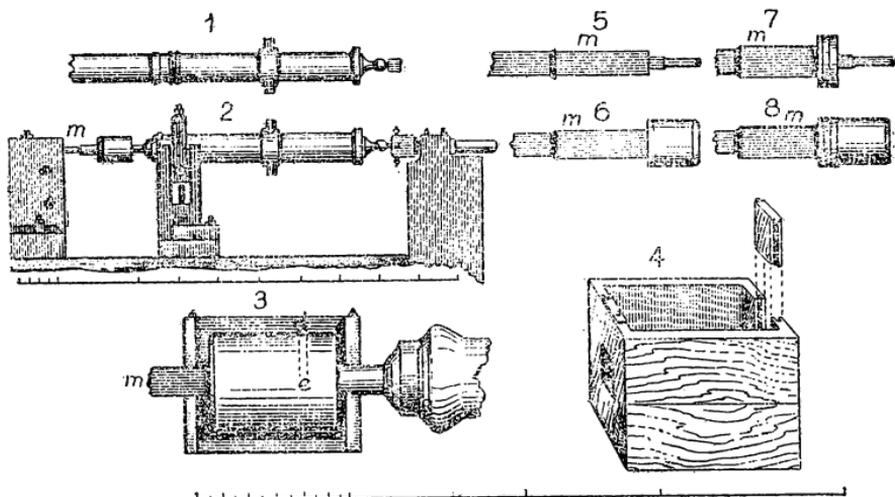


Рис. 10. Собственные рисунки Румфорда, относящиеся к его опытам со сверлением жерл пушек. На фиг. 1 изображена пушечная отливка со сплошной болванкой на дуле. Между болванкой и пушкой, поставленной на примитивный токарный станок (фиг. 2), приводившийся в движение лошадьми, была проточена шейка. Тупое сверло *m* с силой вводили в отверстие болванки, которая была укутана фланелью и помещалась в деревянном ящике (фиг. 3 и 4). Возрастание температуры в результате трения измерялось термометром в отверстии *de* (фиг. 3). В одном из опытов температура поднялась на  $70^{\circ}$  по Фаренгейту; вес металла был равен 113 фунтам. Образовалось всего лишь 54 грамма стружек. Цель этого эксперимента заключалась в том, чтобы опровергнуть возражение, будто значительное тепло, возникающее при резании металла, выделялось из стружек, которые, как предполагали, обладают меньшей теплоемкостью, чем металл болванки. Румфорд считал, что малое количество стружки и опилок при таком большом количестве тепла делает это объяснение неправдоподобным. Он показал также, что удельная теплоемкость стружки та же, что и у металла болванки.

энергии пули. Существует множество разных экспериментов такого типа, полностью подтверждающих, что тепло — это одна из форм энергии. Чтобы было яснее, представьте себе горячий газ, в котором молекулы находятся в беспорядочном бурном движении, так что каждая обладает своей кинетической энергией, или твердое тело, где атомы или молекулы быстро колеблются относительно фиксированных положений. В последнем случае энергия атомов и молекул отчасти кинетическая, а отчасти упругая. Силы, удерживающие атомы, могут запасать энергию так же, как заводная пружина часов.

Тепло — лишь одна из множества форм энергии. Потребовалось бы слишком много времени, чтобы подробно описать бесчисленные ее облики в виде электрической и магнитной энергии, энергии излучения Солнца и других нагретых тел, ядерной энергии или химической энергии, которая выделяется при сжигании угля или нефти. Рассказать обо всем этом почти то же самое, что написать учебник физики. Суть в том, что энергия может принимать множество форм, может передаваться от тела к телу, переходя из одной формы в другую, — и все это в строгом количественном соотношении.

Например, потенциальная энергия, освободившаяся при падении груза весом в килограмм с высоты 100 метров, нагреет 236 граммов воды на  $1^{\circ}\text{C}$ , или, при полном превращении в электрическую энергию, даст около киловатта электрической мощности в секунду. Практически при работе гидроэлектростанции часть энергии уходит на нагревание вытекающей воды и генератора, а остальная энергия, около 90 или 95%, превращается в электрическую.

А теперь настало время воспользоваться введенными понятиями для случая сталкивающихся частиц, чтобы увидеть, каким образом на основе идей теории относительности можно прийти к представлению о массе как разновидности энергии. Выберем такие частицы, которые сталкиваются без существенных потерь кинетической энергии на нагревание или излучение. Такие частицы, конечно, идеализация, и она не соблюдается точно в опыте с объектами вроде бильярдных шаров. Точность намного выше, если мы имеем дело с атомными частицами, но, во всяком случае, ход рассуждений не нарушится из-за то-

го, что благодаря превращению в тепло или излучению произойдет небольшая потеря кинетической энергии.

При столкновении, разумеется, происходит передача энергии и количества движения от одной частицы к другой, но в целом обе величины сохраняются. При этом специальная теория относительности требует, чтобы законы сохранения были одинаково справедливы для всех наблюдателей, движущихся без ускорения по отношению друг к другу. Что тогда произойдет? Если мы запишем обычные выражения для количества движения  $mv$  и для кинетической энергии  $\frac{mv^2}{2}$  и преобразуем скорости с точки зрения одного наблюдателя в скорости с точки зрения другого по законам специальной теории относительности (отличающимся от ньютоновых) и сохраним при этом массы частиц, то законы сохранения будут нарушены. Но если законы сохранения действительно скрывают какой-то физический смысл, а не являются просто математическим курьезом, то они не должны зависеть от произвола наблюдателя. Мы оказываемся перед дилеммой: либо отказаться от прочно укоренившихся законов сохранения, либо согласиться с тем, что правила преобразования скоростей от одного наблюдателя к другому, установленные теорией относительности, неверны. Последнее означало бы отказ от теории относительности. Однако из этого положения можно найти выход. По-видимому, мы можем изменить математические выражения  $mv$  и  $\frac{mv^2}{2}$  таким образом, чтобы, будучи преобразованными по релятивистскому правилу, они сохранялись для любого наблюдателя. Изменения не должны быть чересчур решительными. Ведь мы исходим из «настоящих» верных выражений для количества движения и энергии, но мы знаем, что в прежнем виде они работают до тех пор, пока скорости много меньше скорости света. Следовательно, новые выражения при этих условиях должны быть очень похожими на прежние. Ограничения серьезные, но в действительности все это выполнимо. Такие математические выражения существуют. Для количества движения требуется прежнюю постоянную массу заменить новой, меняющейся со скоростью. Точное математическое выражение было уже предложено Лоренцем на основе пред-

ставлений о сокращении движущихся тел. Оно немного отличается от более раннего выражения для электромагнитной массы, но точные эксперименты с бета-лучами показали, что оно вполне применимо.

Новая переменная масса неограниченно растет вблизи скорости света в соответствии с фундаментальной идеей теории относительности о том, что ничто не может двигаться быстрее, чем свет. Инерция любого предмета в этом случае безгранично растет, и, таким образом, само тело эффективно противится действию любой силы, которая попыталась бы разогнать его быстрее скорости света.

Изменение выражения для энергии несколько более радикально. В выражение для энергии следует ввести новую переменную массу, назовем ее  $M$ , умноженную не на квадрат скорости данной частицы, а на квадрат скорости света. Мы получаем знаменитое эйнштейновское соотношение  $E = Mc^2$ , где  $c$  — скорость света. На первый взгляд это выражение не очень-то похоже на старое, ибо кажется, что из него исчезла скорость частицы. Но в действительности это не так, ведь скорость частицы входит в выражение для  $M$ . Нетрудно показать\*, что приближенно новое выражение совпадает со старым, с тем лишь важным исключением, что в выражении для энергии появляется новый член  $mc^2$ , где  $m$ , как вы должны помнить, первоначальная масса медленно движущейся частицы, которая называется в теории относительности массой покоя. Этот член в выражении для энергии (а величина его огромна, так как свет движется очень быстро) показывает (если вы готовы относиться к формуле всерьез), что масса, просто в силу своего существования, обладает колоссальной энергией.

Вдобавок к этому Эйнштейн показал, что поглощение

$$M = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{— выражение Лоренца для массы. Таким образом,}$$

$$Mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = mc^2 + \frac{mv^2}{2} + \frac{3mv^4}{8c^2} \dots$$

Если  $v$  много меньше  $c$ , третьим и последующими членами можно пренебречь. (Прим. автора)

телом энергии в виде радиации приводит к возрастанию его массы в соответствии с тем же самым законом. Эти предсказания Эйнштейна оставались теоретическими до тех пор, пока Астон не измерил очень точно массы индивидуальных подвидов атомов. Тогда появилась возможность сравнить массу, например, радиевого атома с массами осколков, возникающих при его распаде. Энергия взрыва радиевого атома достаточно велика и позволяет обнаружить уменьшение массы покоя материальных осколков по сравнению с массой первоначального атома.

С открытием ядерной энергии уравнение Эйнштейна получило практическое применение; им стали пользоваться для выяснения того, от каких ядерных реакций можно ожидать выделения энергии и от каких нельзя. Поистине удивительный парадокс, что масса — фактически синоним инерции — оказалась тождественной энергии. Именно об этом и говорит эйнштейновский закон. Масса любой системы определяет ее полную энергию. Если энергия системы возрастает в результате внешних воздействий, то масса системы должна увеличиваться *pari passu*\*. Такое увеличение массы обычно происходит либо из-за добавления видимой материи, либо благодаря поглощению излучений, ведь излучение тоже имеет массу. В XIX веке было экспериментально доказано, что свет, падающий на поглотитель или рефлектор, оказывает на них такое же давление, какое оказал бы, например, поток пуль\*\* Давление света с интенсивностью, доступной в земных условиях, невелико, но измеримо и соответствует предсказаниям максвелловской теории. Способность развивать давление, когда движение прекращено или изменено его направление, — одно из основных свойств массы.

Я попытался объяснить, как был открыт закон Эйнштейна, хотя по-настоящему необходимо было бы привлечь математику, чтобы показать, как с ее помощью можно сформулировать предполагаемый физический закон. Однако доказать его математика не в силах. В данном случае существовали две группы законов: законы сохранения и законы теории относительности. И те и другие

\* *pari passu* (франц.) — само собой. (Прим. ред.)

\*\* Давление света было экспериментально обнаружено выдающимся русским физиком П. Н. Лебедевым в 1899 г. (Прим. перев.)

были внутренне согласованными и надежно подтверждались опытами. Но, как уже говорилось, эти группы законов противоречили друг другу. Задача заключалась в том, чтобы найти такое преобразование какой-то группы законов, которое согласовывалось бы с опытами, на которых основаны эти законы, и в то же время устраняло бы противоречие. При решении этой задачи удалось обнаружить чрезвычайно важный новый принцип. И не раз случалось, что вначале попросту удобные математические выражения приводили к важным выводам, которые позднее подтверждались на опыте. Является ли природа действительно математизированной в самой своей сути? Или же мы способны открыть лишь те ее части, которые подчиняются законам математики?

Закон Эйнштейна иногда воспринимают так, будто материя — не что иное, как энергия. По-моему, такое утверждение заходит чересчур далеко. Обычная материя\* состоит из определенных элементарных частиц: электронов, протонов, нейтронов и, возможно, ряда других, достаточно стабильных единиц. Эти единицы материи служат центрами масс, и большую часть энергии обычных предметов составляет сумма масс покоя таких частиц. Реальная энергия обычно существенно меньше этой величины, так как огромное количество энергии освобождается при образовании тяжелых атомов, сформировавшихся, как мы считаем, из первичных электронов и протонов. Но частицы представляют собой нечто большее, чем просто центры масс. Прежде всего электроны и протоны имеют электрический заряд. Все три частицы обладают магнитным моментом и вращаются подобно волчку. Это целостные системы с определенными свойствами.

Один из доводов в пользу идеи о том, что материя всего лишь энергия, — возможность получить электроны из излучения, обнаруженная Блеккетом и Чадвиком. Электроны при этом рождаются не в одиночку, а всегда парами: один нормальный, отрицательно заряженный, а другой — положительный\*\*; причем последний позднее исчезает в самоубийственном столкновении с каким-либо

---

\* Здесь и далее автор употребляет термин «материя» в смысле — вещество. (Прим. ред.)

\*\* Положительный электрон — античастица, обычно называется позитроном. (Прим. перев.)

отрицательным электроном. Такое рождение пар — известный феномен, теоретически предсказанный Дираком. То же самое может происходить и с протонами, как было недавно показано в лаборатории университета Беркли, в Калифорнии. В этом случае начальный протон имеет положительный заряд, а новый «антипротон» — отрицательный. Позднее антипротон исчезает в процессе аннигиляции с нормальным протоном и происходит освобождение энергии.

Все это очень похоже на создание материи из энергии, однако есть другие новые опыты, которые по крайней мере намекают на иную возможность. Когда первичные космические лучи из межпланетного пространства врываются в атмосферу, рождается большое число разных нестабильных частиц, которые обнаруживают по следам, прочерченным частицами на фотопластинках или в камерах Вильсона. Сейчас действие первичных космических лучей имитируют большие протонные ускорители, такие, как бетатрон в Беркли, космотрон в Брукхейвене и ускоритель в международной лаборатории Европейского центра ядерных исследований близ Женевы. Правда, получать самые высокие энергии природа пока умеет лучше. Существует множество частиц, включая давно известные, такие, как отрицательные и положительные электроны, которые можно создать в ускорителях; всего зарегистрировано двадцать шесть частиц, но есть реальная возможность, что будет открыто по крайней мере еще несколько\*. Среди известных частиц имеются пары частиц и античастиц. Частицы делятся на три группы. В первую входят частицы, число которых не сохраняется. К ней относятся фотоны (из них состоит обычный свет), а также мезоны, играющие важную роль в проявлении ядерных сил. Вторая группа — частицы, родственные электрону, их для краткости называют лептонами. Наконец, третья группа частиц, близких протону, получила название барионов. Стоит заметить, что нейтроны, стабильные внут-

---

\* Сейчас число элементарных частиц, включая и очень короткоживущие, далеко перевалило за сотню. Огромный успех последних лет — открытие системы элементарных частиц, которая позволила предсказать свойства еще не открытых частиц. Оказалось к тому же, что элементарные частицы можно рассматривать как состоящие из трех гипотетических частиц — кварков. Экспериментально обнаружить кварки пока не удалось. (Прим. перев.)

ри ядра, освободившись, превращаются в протоны за время, примерно, в двадцать минут, и при этом испускают электроны и частицы другого вида — нейтрино.

Существует правило (в пользу этого правила говорят веские доказательства, но твердо установленным его пока нельзя считать), что две последние группы частиц резко отличаются друг от друга и число частиц в каждой группе в отдельности всегда постоянно. Но в правиле есть одна важная оговорка: если образуется античастица, то из общего числа частиц нужно вычесть единицу. Таким образом, пара электронов, частица и античастица, имеют право возникнуть из фотона. Фотон, принадлежащий к первой группе, с точки зрения закона сохранения числа частиц во второй группе считается нулем. Отрицательный электрон считается 1, а положительный — 1, значит, их общее число равно не двойке, а нулю. Точно так же возникающий при распаде нейтрона электрон «сокращается» за счет нейтрино, точнее, антинейтрино. Нейтрон и протон — оба барионы, и здесь изменения числа частиц не наблюдается. Очевидно, при правильном выборе частиц и античастиц такого рода закон будет соблюдаться, но, конечно, надо придерживаться однажды сделанного выбора, и особенно отрадно, что, хотя известно большое число превращений частиц, удастся провести непротиворечивое деление на частицы и античастицы.

Если дальнейшие исследования подтвердят рассмотренную закономерность, это будет означать, что материя состоит из элементов двух классов, каждый из которых может быть представлен частицами разной массы. Например, нейтрино или антинейтрино имеют массу покоя гораздо меньшую, чем электрон, скорее всего нулевую, хотя и нейтрино, и электрон являются лептонами. В соответствии с законом Эйнштейна частица с нулевой массой покоя имеет также и нулевую энергию, если только она, частица, не движется со скоростью света. В противном случае она может иметь любую энергию и любую соответствующую массу. Это не математический софизм о результате умножения нуля на бесконечность, а необходимая предпосылка в теории света (см. главу IX), хотя частицей с нулевой массой покоя в теории света служит фотон, а не нейтрино. Лептоны и барионы являются обособленными и могут обладать, и обычно действительно

обладают, определенными точными массами покоя, но далеко не всегда эти массы одинаковы. Например, масса нейтрона чуть больше массы протона, хотя оба являются барионами, а мю-мезоны, представители лептонов, обладают массой в 207 раз большей, чем электрон.

Масса становится фактически только одним из нескольких свойств первичной единицы материи. Возможно, масса даже не относится к самым главным характеристикам материи, так как массы новых частиц обладают крайне неправильными соотношениями и не подчиняются никакому простому закону\*. В отличие от масс заряды частиц равны либо  $-1$ , либо  $+1$ , либо  $0$  в единицах электронного заряда, а их спины являются небольшими целыми кратными единичного спина. Похоже, что масса лишь следствие чего-то гораздо более фундаментального. Итак, хотя масса несет в себе энергию и в массе покоя обычно содержится наибольшая часть энергии материальной системы, материя есть нечто гораздо большее, чем энергия.

Загадочной остается связь между массой покоя и зарядом. Основываясь на теории относительности, физики-теоретики не склонны приписывать определенный радиус электрону или протону, но если рассматривать электроны как точки, их массы покоя становятся бесконечными. Были придуманы разные способы, чтобы преодолеть математические трудности и получить правильные ответы, но в целом положение дел еще весьма неудовлетворительно.

---

\* В новой систематике частиц (см. прим. стр. 107) удается установить и определенные закономерности изменения масс элементарных частиц. (*Прим. перев.*)

## КАК БЫЛИ СДЕЛАНЫ НЕКОТОРЫЕ ОТКРЫТИЯ

Открытие электрона и атомного ядра — примеры открытий, которые разрешили давно поставленные проблемы: в первом случае — двойную проблему природы катодных лучей и единичного электрического заряда, во втором — проблему массивной положительно заряженной части атома. Но прогресс физики — это открытия не только такого типа, и интересно рассказать о двух других важных открытиях, скорее неожиданных удачах, чем завершениях планомерного поиска. Это открытия X-лучей Рентгеном и космических лучей Гессом. В эту же группу можно включить открытие аргона Релеем, неожиданный результат измерений высокой точности.

8 ноября 1895 г. профессор Вюрцбургского университета Вильгельм Конрад Рентген одиноко трудился в лаборатории, изучая разряд индукционной катушки в трубке, наполненной разреженным газом (трубка Крукса). Рентген закрыл трубку тонким черным картоном и положил неподалеку экран из бумаги, покрытой кристалликами платиноцианистого бария. Когда Рентген включил разряд, он с удивлением обнаружил, что экран светится. Ученого поразило не то, что экран мог флуоресцировать, так как он сам приготовил экран для этой цели, а то, что экран светился, когда на него не попадала ни одна из известных форм радиации. Восемь недель Рентген напряженно работал без чьей-либо помощи, и 28 декабря вручил результаты секретарю Вюрцбургского физико-медицинского общества. Работу сейчас же опубликовали, а оттиски разослали известным физикам и врачам. Бук-

важно в течение нескольких дней опыты Рентгена были повторены в лабораториях всего цивилизованного мира, а через несколько недель были сделаны первые попытки применить новый метод исследования в хирургии.



Рис. 11. Рисунок из журнала «Панч» 25 января 1896 г. «Новое фотографическое открытие». Благодаря открытию профессора Рентгена германский император сможет получить теперь точную фотографию позвоночника колоссальных размеров и силы.

Новые лучи захватили воображение публики. О лучах писали «Панч», «Ля натюр», «Лайф» и более серьезные журналы. Никогда до или после этого чисто научное открытие не становилось известным столь быстро; ближайшим соперником могло бы стать открытие ядерного деления в последние дни 1938 г., но тогда мир не так спешил использовать открывшиеся возможности.

Первая работа Рентгена представляет собой образец четкого экспериментирования. Пользуясь очень простыми средствами, Рентген установил, что степень проникно-

вения лучей в вещество зависит только от плотности последнего, что лучи возникают в той части круксовой трубки, где катодные лучи ударяются о стенку или (позднее) о специальную платиновую мишень, впаянную в трубку. Кроме воздействия на платиноцианистый барий и другие флуоресцирующие вещества, лучи приводили к почернению фотографических пластинок, не преломлялись призмами или линзами и проходили сквозь порошок без рассеяния, словно свет сквозь молочное стекло. Но плотные вещества вызывали некоторое преломление лучей. Рентген установил также, что, в отличие от катодных, X-лучи, как называл их Рентген, не отклонялись даже сильным магнитным полем. Они распространялись по прямым линиям и, следовательно, при встрече с препятствиями должны были отбрасывать резкие тени. Рентген предположил, что эти лучи создаются продольными колебаниями эфира. Световые же колебания всех известных типов поперечны, как и колебания струны, чем отличаются от продольных колебаний в звуковых волнах в воздухе.

Во второй работе, опубликованной в марте, Рентген описал эксперименты, доказывающие, что лучи делают газы проводниками электричества. Это важное открытие было сделано одновременно и независимо в Кембридже и Париже.

Ко времени открытия Рентгену было пятьдесят лет. И хотя он опубликовал сорок девять работ, ни одна из них не относилась к явлению газового разряда. По-видимому, его интересовала главным образом флуоресценция. Утверждают, что Рентген рассказывал, будто приготовил экран из платиноцианистого бария, чтобы сравнить его флуоресценцию с флуоресценцией органического вещества, которое использовал Ленард для обнаружения катодных лучей, выведенных в атмосферу с помощью тонкого металлического окошка. Но историческая трубка, с помощью которой было сделано открытие, не имела окошка. Вполне возможно, что Рентген, только начавший работу в новой области, повторял эксперименты других исследователей с трубкой Крукса, которая куда надежнее и проще в обращении, чем трубка для ленардовского эксперимента. Ленардовские лучи делали воздух видимым на расстоянии нескольких сантиметров, но

считалось, что они вызывают электрические эффекты на большем расстоянии. На самом деле эти эффекты появлялись благодаря возникавшим в небольших количествах рентгеновским лучам. Через несколько месяцев после открытия Рентген сказал посетителю, что собирался обнаружить невидимую радиацию, вероятно, связанную с ленардовскими лучами. В этом смысле можно считать, что Рентген нашел то, что искал, хотя присутствие экрана вблизи затемненной трубки было счастливой случайностью.

Ленард покрывал трубки черной бумагой, вероятно, для того, чтобы лучше видеть слабое свечение лучей. Говорят, что Рентген делал то же самое, и, очевидно, это естественно, если вы собираетесь обнаружить очень слабое свечение. Поэтому Рентген затемнял трубку Крукса, с которой работал. Без этого он вряд ли смог бы сделать открытие, во-первых, потому, что было бы гораздо труднее увидеть флуоресценцию, вероятно, весьма слабую, и, во-вторых, потому, что флуоресценцию можно было бы приписать действию ультрафиолетового свечения, которое, как было известно, излучалось разрядной трубкой, а сквозь черный картон ультрафиолетовые лучи проникнуть не могли.

Рентген заслужил свое открытие по двум причинам: во-первых, потому, что он с готовностью начал исследования в новой многообещающей области науки, не побоявшись оставить старую работу, и, во-вторых, потому, что так быстро понял, что мерцающий экран означает нечто совершенно необычное. А это было не так-то просто, как показывает пример людей, которые имели все возможности сделать это открытие, но не смогли. Это могли быть Ленард и Герц, заметившие электрический эффект ленардовых лучей, хотя намек был не таким ясным, как в другом случае, когда несколько исследователей, работавших с разрядными трубками, обнаружили затуманивание фотопластинок. Один оксфордский физик\* обнаружил связь между затуманиванием пластинок и работой разрядной трубки и просто убрал свои пластинки подаль-

---

\* См. Whittaker E. A. History of the Theories of Aether and Matter, vol. II, 1951, p. 358.

ше! Крукс, прекрасный экспериментатор, вначале приписал затуманивание дефектам в пластинках, но когда поставщики пластинок убедили его в обратном, попытался улучшить атмосферные условия в помещении, где пластинки хранились перед использованием. В конце концов он мог бы прийти к открытию лучей, но Рентген опередил его.

Не принижая роли Рентгена, уместно сказать, что ему повезло не только в том, что он сделал открытие, но и в том, что оно оказалось гораздо более важным как в прикладном, так и научном отношении, чем можно было ожидать. По сути дела, оно знаменовало начало новой эпохи, отделяя старую физику от новой, физику непрерывности от физики дискретных единиц, электронов, квантов и тому подобного. Но, разумеется, хотя такое деление и удобно, оно далеко не точно. Открытие рентгеновских лучей несомненно способствовало открытию электрона и, снабдив физику удобным способом делать газ электропроводным, стало средством дальнейших открытий, в которых Рентген уже не принял большого участия. Он вернулся к изучению флуоресцирующих твердых тел.

Быть может, не так уж и удивительно, что такое революционное открытие было в значительной степени случайным. Когда область исследований поистине нова, когда она связана с известным, только, так сказать, через очень узкую дверь и дает лишь ничтожные сведения исследователю, тогда не только разум, но и удача помогают делать открытия.

Для многих людей наука — это измерения, выполняемые со скрупулезной тщательностью. Такие измерения играют важную роль в разработке открытия, но очень редко ведут к нему. Поэтому стоит привести пример, когда открытие было сделано именно таким образом.

В 1892 г. лорд Релей стал измерять плотность газообразного азота. Плотность равна массе в единице объема, и, так как газы легко сжимаются, измерения имеют смысл, только если выдерживать стандартные условия давления и температуры, при которых сравнение плотности газов эквивалентно сравнению веса их молекул. В 1892 г. Релей просто занимался точными измерениями плотности азота и сравнивал результаты с теми, которые недавно получил для водорода и кислорода.

Азот — основная составная часть атмосферы. Газ этот сравнительно инертен, и Релей получал его, как было принято в то время, удаляя химическим путем другие компоненты воздуха — кислород, двуокись углерода и водяные пары. Плотность азота получалась такой же, как и у предыдущих исследователей, и всякий другой на месте Релея кончил бы на этом работу. Но Релей решил, что нужно испытать и иной способ получения азота, при котором часть газа выделялась из аммиака, а часть из воздуха. Плотность газа, полученного таким методом, была чуть меньше, чем в первом случае, и разница повторялась из опыта в опыт. Испробовав несколько разновидностей каждого метода и не добившись никаких изменений, Релей начал склоняться к мысли, что азот из воздуха должен отличаться от азота, полученного из аммиака. Поэтому он использовал метод, при котором весь азот данного образца получали из аммиака. Этот образец имел гораздо меньшую плотность, чем любой из прежних. Разница в плотностях между этим азотом и атмосферным была примерно в четыре раза больше, чем раньше, и эффект, до того стоявший на грани различимости, стал бесспорным. Неожиданный результат следовало объяснить. Один из образцов или даже два могли быть загрязнены, но ведь количество гипотетической примеси оставалось постоянным всегда. Наконец Релей решил выделить чистый азот из воздуха, соединив его с кислородом действием длительного искрового разряда. Этот метод использовал столетием раньше Кавендиш, который, как обнаружил Релей, прочитав его работу, не мог избавиться от небольшого остатка (меньше процента от первоначального количества газа) даже после очень продолжительной обработки. Сейчас искровой метод используют в больших масштабах для получения азотных соединений из воздуха. Но прибор Релея, хотя и гораздо более совершенный, чем у Кавендиша, работал чрезвычайно медленно. Однако Релей тоже получил небольшой остаток. С большим трудом было собрано достаточное количество остатка, чтобы определить его свойства. Остаток оказался гораздо плотнее азота (в отношении 40:28) и химически совершенно инертен, за что и получил название аргон, недействительный, неактивный.

Сэр Уильям Рамзай, который помогал в заключительной части исследований и использовал для выделения азота магний, получил этим способом достаточное количество азота с целью показать, что его плотность соответствует плотности азота из аммиака. Рамзай продолжил работу и открыл еще три новых газа: неон, криптон и ксенон, таких же инертных, как аргон, и всегда смешанных с ним в небольших количествах. Он также обнаружил, что газы, выделяющиеся из некоторых минералов и считавшиеся раньше азотом, имеют оптический спектр, совпадающий с неизвестными линиями, которые до этого Локьер наблюдал в спектре Солнца и приписал гипотетическому элементу гелию.

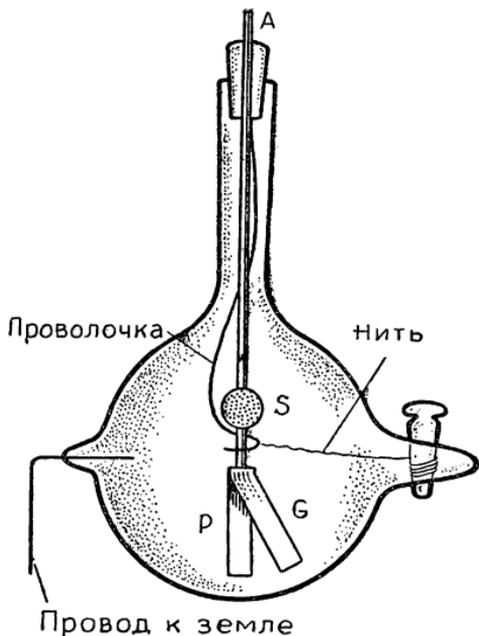
Все эти вещества — особые элементы и образуют полную группу инертных газов. Помимо технического применения в газонаполненных лампах накаливания и разрядных трубках цветного света эти газы крайне важны и для чистой науки. Мы уже встречали гелий в качестве продукта распада радия, а неон сыграл большую роль в истории открытия изотопов. Стоит отметить, что релеевская точность измерений была совершенно необходима, так как следовало установить реальность разницы между двумя почти равными величинами: между плотностью чистого азота и азота с примесью примерно одного процента аргона (и с гораздо меньшим количеством других инертных газов). Точные значения физических величин часто сами по себе не имеют особой важности, но может потребоваться огромная точность, если значащей величиной является разница.

История следующего открытия послужит примером того, как тщательное рассмотрение маленького неизученного эффекта может привести к большим последствиям. Для работы вначале нужны были очень простые приборы, чтобы можно было проследить за ходом экспериментов подробнее, чем в других случаях. Почти каждому приходилось видеть действие электроскопа с золотым листочком (рис. 12). Наэлектризованный касанием, например эбонитовой палочки, потертой о кошачью шкурку, листочек электроскопа отходит от опоры, так как одноименные заряды листочка и опоры отталкиваются. Если электроскоп постоит какое-то время, листочек начнет постепенно приближаться к опоре. Происходит утечка

электрического заряда. Причина утечки заряда может скрываться в недостаточно хорошей изоляции опоры от земли, но даже в XVIII веке уже понимали, что это еще не решение вопроса: ведь даже при самой лучшей изоляции опоры заряд медленно стекает через воздух.

Воодушевленный открытием рентгеновских лучей, Беккерель поставил эксперименты с урановыми солями и

Рис. 12. Электроскоп вильсоновского типа. На конце стержня *A* наплавлен шарик из серы *S*. С другой стороны к шару *S* прикреплены пластинка *P* и свободно прилегающий к ней золотой листок. *A* и *P* соединены проволочкой, и электроскоп заряжается путем подключения *A* к одному из полюсов батареи. Одноименные заряды на *P* и *G* заставляют *G* отойти от *P*, как это показано на рисунке. Контакт между *A* и *P* в этот момент прерывается, проволочка отодвигается с помощью нитки. Утечка заряда с *G* через воздух на землю заставит листочек *G* медленно опадать. Любая утечка через *S* от *A* к *P* вызовет обратный эффект. Внутренняя поверхность сосуда сделана слабопроводящей.



обнаружил, что они испускают лучи, которые действуют на фотографические пластинки и делают окружающий воздух электропроводным. После открытия Беккереля серьезное внимание обратили и на естественную проводимость воздуха. Проводимость воздуха под действием рентгеновских лучей с успехом удалось объяснить. Предположили, что и урановые лучи тоже расщепляют некоторые молекулы воздуха на две заряженные половинки, именуемые ионами, — одну положительную и другую отрицательную. Если, например, электроскоп нес отрицательный заряд, то он должен притягивать положительные ионы, нейтрализующие его заряд. Отрицательные ионы при этом отталкивались бы.

С помощью простого устройства (рис. 12) можно воспрепятствовать утечке заряда через опору. Тогда можно считать, что скорость опадания листочка является мерой числа присутствующих ионов. Опыты на открытом воздухе давали случайные результаты. Когда устройство поместили в замкнутый сосуд, то обнаружили, что скорость опадания листочка в большом сосуде выше, чем в маленьком. Это следствие того, что в большом сосуде в общем образуется больше ионов и условия таковы, что все или почти все ионы нужного знака попадают на золотой листочек.

Эффект заметно зависит от материала, из которого сделан прибор, но даже без особых усилий можно получить около 20 пар ионов на  $1 \text{ см}^3 \text{ сек}$ . Это звучит солидно, пока не подумаешь, что в кубическом сантиметре воздуха при атмосферном давлении и обычной температуре содержится  $2,7 \times 10^{19}$  молекул. Эта цифра примерно равна численности населения нашей Галактики, если допустить, что у каждой из десяти миллиардов (или около этого) звезд есть планета с тем же населением, что и на Земле! Возможность обнаружить и количественно изучить процесс, при котором в секунду из такого числа молекул разрушается только 20, показывает необыкновенную чувствительность электрического способа регистрации ионов.

Хотя уран, прародитель радия, крайне редкий элемент, в небольших количествах он повсеместно распространен и содержится во многих горных породах, в том числе и в строительных материалах. Поэтому стены лабораторий «отвечают» за расщепление значительной доли тех самых 20 молекул. Если лабораторию раньше использовали для опытов с радиоактивностью, то скорее всего она загрязнена радиоактивными веществами, особенно если исследования относились к раннему периоду, когда еще не понимали, насколько вредны эманации. Эманациями называют газы, которые выделяет радий и два других радиоактивных элемента, особенность эманаций состоит в том, что, претерпевая через некоторое время распад, они образуют на любой близлежащей поверхности радиоактивные отложения, опасные в течение двадцати лет или более.

Ионизацию внутри сосуда оказалось возможным уменьшить, защитив электроскоп свинцом достаточной

толщины. Правда, после определенного предела никакое увеличение толщины свинца не меняло картины. Первое можно было объяснить тем, что свинец поглощал излучения от стенок и грунта (оно было в основном проникающим гамма-излучением), второе предполагало, что либо существует излучение с большей проникающей способностью, чем излучение известных радиоактивных веществ, либо радиоактивные загрязнения содержатся в самом свинце. Электроскопы, изготовленные из разных металлов, давали неодинаковые результаты. Видимо, количество радиоактивных загрязнений было разным. Но только ли в загрязнениях дело? Не виновата ли тут естественная радиоактивность всех (или большинства) атомов, очевидно, очень маленькая, но той же самой природы, что и радиоактивность тяжелых элементов урана, тория и их производных? Надежда на такое открытие заставляла многих экспериментаторов продолжать работу даже после того, как Ч. С. Райт, впоследствии отправившийся в Антарктику вместе со Скоттом, при измерениях на льду озера Онтарио показал, что скорость ионизации должна быть снижена до 4,4 иона в кубическом сантиметре за секунду.

Многие опыты проводили на вершинах башен, чтобы избавиться от радиоактивных излучений грунта. Но при этом возникла другая трудность. Ведь камни башни могли приобрести радиоактивные отложения из эманаций, выделяемых грунтом, когда давление воздуха падало. Как выяснилось, с увеличением высоты скорость ионизации уменьшалась, но не до нуля.

Незадолго до первой мировой войны группе ученых в Австрии пришла мысль проверить эффект на воздушном шаре. Первые полеты не дали определенных результатов, хотя и показали уменьшение ионизации на высоте примерно первой 1000 футов, но уменьшение было слабее, чем ожидалось. Ионизационные камеры в этих опытах, вероятно, были довольно сильно загрязнены, так как было найдено минимальное значение концентрации ионов — столь же низкое, как и в экспериментах Райта. Это затрудняло объяснение результатов. Наконец Гесс поднялся действительно высоко, до 5000 футов, и подтвердил уже существовавшие подозрения. На самом деле на больших высотах ионизация не падала, а росла, и притом до-

вольно резко. Существовало лишь одно объяснение, и Гесс его дал. Сверху вниз шел поток радиации неизвестной природы, и наверху ее было легче обнаружить просто потому, что, спускаясь вниз, радиация поглощалась воздухом. Так были открыты космические лучи.

С тех пор космические лучи исследовались очень широко. Они оказались чрезвычайно сложными по составу, главным образом из-за тех превращений, которые испытывают частицы, проходя сквозь атмосферу.

А теперь несколько слов, чтобы дать представление о значении открытия Гесса.

Первичные лучи, как сейчас известно, состоят из ядер элементов с атомными номерами, вплоть до железа. Но больше всего в составе космических лучей протонов. Второе по численности место занимают гелиевые ядра (то есть альфа-частицы). Ядра, во всяком случае, те, которые попадают в верхние слои атмосферы, обладают энергией от 100 миллионов до  $10^{16}$  электрон-вольт\* или более. Самый большой из действующих ныне ускорителей частиц в Женеве, в Европейском центре ядерных исследований, дает протоны с энергией около 25 миллиардов электрон-вольт\*\*. Это были бы довольно слабые космические лучи. Происхождение космических лучей еще неясно, но весьма вероятно, что, по крайней мере частично, они рождаются во время гигантских взрывов сверхновых звезд, которые происходят в нашей Галактике каждые два-три столетия. Небольшая доля более слабых космических лучей испускается Солнцем во время солнечных бурь, которые видны нам как солнечные вспышки, но ясно, что это отнюдь не основной источник космического излучения.

Сталкиваясь с космическими частицами, ядра атомов воздуха расщепляются. То же самое происходит с космическими частицами, исключая лишь те, которые начали свой путь в виде протонов и не могут измениться. В результате столкновений возникает интенсивный поток

---

\* В атомной физике принято подсчитывать энергию в электрон-вольтах, то есть в виде той энергии, которую приобрела бы частица с единичным зарядом, двигаясь под действием разности потенциалов в столько-то вольт. (Прим. автора)

\*\* Сейчас самый большой ускоритель действует в нашей стране. Это Серпуховский ускоритель, который позволяет разогнать протоны до энергии 70 миллиардов электрон-вольт. (Прим. перев.)

энергетической радиации вроде жестких рентгеновских лучей, который в свою очередь рождает попарно электроны и позитроны. Большая часть радиации на умеренных высотах состоит из них. С теоретической точки зрения более интересными продуктами превращений являются разные типы мезонов и странных частиц. Это не атомы и не протоны, не нейтроны и не электроны. Однако их называют элементарными частицами, так как они не состоят из каких-то других частиц\*. Их масса колеблется от 200-кратной массы электрона примерно до 1,5 массы протона. Все они не стабильны и самопроизвольно превращаются в одну из частиц своей группы: электрон или позитрон, протон или нейтрон. Каждое превращение сопровождается уменьшением массы покоя, а иногда и делением на две или больше частиц такого же типа. Остаток энергии принимает форму кинетической энергии частиц, обычной электромагнитной энергии (рентгеновские лучи) или энергии нейтрино. Нейтрино — это почти неуловимые частицы с нулевым электрическим зарядом и нулевой массой покоя. Их ввел Паули для объяснения некоторых загадочных особенностей возникновения бета-лучей. К нейтрино долгое время относились с подозрением и допускали их существование, только чтобы спасти закон сохранения энергии, но с течением времени, подобно многим нововведениям, нейтрино наконец полностью утвердилось в правах. Удалось даже экспериментально обнаружить большие потоки нейтрино (точнее, антинейтрино), рождающиеся в ядерном реакторе.

Мезоны определенного вида играют важную роль в теории ядерных сил. Странные частицы привели к понятиям о лептонах и барионах.

Все это открыли люди, которые усомнились, будто утечка зарядов в электроскопах полностью объясняется уже знакомыми явлениями. Ученые надеялись открыть универсальную радиоактивность, которой на самом деле не существует, а вместо этого открыли космические лучи. Стоит заметить, что, правда, три или четыре элемента в средней части периодической таблицы обладают слабой радиоактивностью, особенно это относится к калию, ко-

---

\* См. прим. на стр. 107.

торый входит в состав человеческого тела и своим излучением обуславливает заметную часть той дозы радиации, которую мы получаем в течение жизни. Эти немногие исключения с теоретической точки зрения не слишком важны и не могут сравниться со значением открытий, сделанных благодаря исследованию космических лучей.

Чтобы делать великие открытия, совсем не обязательно знать, что именно хочешь открыть. Бывает это крайне редко, но очень важно обладать хорошим чутьем, чтобы сразу заметить серьезную неувязку.

**ДЖОН УИЛЬЯМ СТРЕТТ,  
ТРЕТИЙ БАРОН РЕЛЕЙ  
(1842—1919)**

Релей был выдающимся представителем тех, кому столь многим обязана английская наука, тех, кто в скромной роли любителей посвятил свою жизнь науке, не требуя платы за свой труд и не пытаясь выдвинуться в лидеры признанной профессии. Правда, в течение пяти лет Релей занимал кафедру кавендишского профессора в Кембридже, но это лишь эпизод в его жизни; большую часть экспериментальной работы Релей проделал в своей усадьбе в Терлинге (графство Эссекс), в маленькой лаборатории, с единственным ассистентом.

Хотя Релей и был любителем, в праздности его, конечно, заподозрить нельзя. В «Собрание трудов» Релея входит 446 работ; среди них «Теория звука», книга, которой пользуются до сих пор. Иногда говорят, что Релей был последним человеком, который «знал физику». Может быть, это и не так, но он был последним, кто внес существенный вклад во все области физической науки, известные во времена его молодости. Работа с аргоном, описанная здесь, была, вероятно, вершиной его научной деятельности, но это исследование лишь немногим превосходит необыкновенно высокий уровень его работ. Ведь именно Релей объяснил голубизну небосвода и исправил ошибки в прежних измерениях основных электрических величин, которые доходили до трех процентов. Релей, бывший победитель кембриджского конкурсного экзамена по математике, сам научился искусству эксперимента, но в равной степени он отличался и в теории.

Вообще обнаружено, что математики, как и поэты, делают лучшие свои работы в молодости, и многие из тех, кто смолоду добился больших успехов, после тридцати не совершают важных открытий. Релей публиковал свои первоклассные работы даже в семьдесят лет. В науке, как и в литературе, можно наметить грубое деление на романтиков и классиков. Релей определенно относился к классикам. Немногие из научных статей читают через десять лет после публикации. К этому времени, если работа важна, то ее основное содержание попадает в учебники, детали разрабатывают и улучшают, и перечитывать оригинальную работу кому-нибудь, кроме историков науки, совсем ни к чему. Работы же Релея, в особенности теоретические, читают и цитируют до сих пор. Отчасти это связано с тем, что Релей писал так ясно и хорошо, что даже сейчас чтение его работ доставляет удовольствие; отчасти с тем, что он делал все весьма тщательно, и вряд ли можно было многое добавить после его исследований.

Релей женился на сестре Артура Бальфура \*, другая сестра Бальфура, госпожа Седжвик, сотрудничала с Релеем в одной из его работ. Нередко в лабораторию приглашали и самого Бальфура, чтобы помочь в некоторых измерениях. Наука в те дни была гораздо менее формальным делом.

Погруженный в науку, Релей тем не менее любил общество и слыл остроумным рассказчиком. Физика не фигурировала в дошедших до нас его рассказах, и только один имел научный оттенок.

«...Горничная леди Н. опоздала на звонок и оправдывалась тем, что обо всем забыла, заинтересованная обсуждавшимся внизу вопросом: происходит ли мы все от Дарвина?»

Старший сын и наследник титула Релея тоже был физиком. Он больше всего известен своими работами по определению возраста Земли, вернее, возраста некоторых радиоактивных минералов и горных пород, который оценивался по содержанию в них гелия, накопленного вследствие испускания альфа-лучей радиоактивными элементами.

---

\* А. Бальфур — английский государственный деятель, в 1902—1905 гг. занимал пост премьер-министра. (Прим. перев.)

## ТАКТИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперименты бывают разными, и их характер меняется по мере развития исследований. Сначала они в значительной мере пробные, и цель их — выяснить, что происходит, без особых забот о точности. Такие опыты помогают экспериментатору составить общее представление о явлении, которое он изучает. Экспериментатор узнает, с какими факторами следует считаться, например, насколько важна чистота материала и какая она должна быть. Это совсем не просто, так как иногда существенны чрезвычайно малые количества загрязнений; так, в полупроводниках, из которых делают транзисторы, приходится учитывать миллиардные доли примесей, ибо даже их содержание крайне важно. Во многих более обыденных случаях один процент загрязнений вряд ли вызовет ошибку больше нескольких процентов. В области, достаточно хорошо изученной, такие вещи известны уже заранее.

В ходе исследований вы будете получать все более полное представление о том, что изучаете. Вероятно, вы получите и ряд неожиданных результатов, которые не согласуются с существующими представлениями. Значит, либо существующие представления неверны, либо, что скорее всего, прибор, которым вы пользовались, далек от совершенства. Есть утечка, плох контакт или загрязнилась поверхность. Но бывает, что к прибору предъявить претензий нельзя, и тогда, может быть, вы сделали открытие.

Существует несколько практических рекомендаций, пригодных для многих физических исследований, и, хотя они не имеют большого теоретического значения, часто помогают добиться успеха. Экспериментальное исследова-

дование, как уже говорилось, прежде всего — борьба упорства экспериментатора с упрямством косной матери. Как правило, прибор сразу, после того как он собран, практически никогда не работает из-за одной или нескольких мелких ошибок, вроде неверного соединения проводов.

Когда такие ошибки устранены, удается получить какой-то эффект, обычно слабый и искаженный. Затем наступает процесс наладки аппаратуры. С помощью незначительных изменений, иногда лишь в настройке, иногда в конструкции прибора, добиваются желаемых результатов. Поразительно, насколько улучшает поведение прибора терпеливая работа, хотя иногда нельзя даже с уверенностью сказать, что именно было сделано. В конце концов либо прибор начинает работать достаточно хорошо и дает нужные результаты, либо приходят к выводу, что конструкция в корне не верна и надо сломать прибор и начать все сначала.

Существует заметная тактическая разница между экспериментами поискового типа, которые должны дать только общее представление о явлении или обнаружить в нем что-то новое, и экспериментами, где требуется подробно и точно изучить эффекты, общий характер которых уже хорошо известен. В первом случае особенно важно представить результаты максимально возможным числом разнообразных способов. Не удовлетворяться, например, просто измерениями тока несколькими амперметрами, а добиваться того же самого в виде картины на экране катодного осциллографа, похожей на телевизионный экран. Может быть, величины, которые вы измеряете, окажутся теми же, но преимущество двумерного экрана осциллографа или (в соответствующем эксперименте) следов на фотографической пластинке, или просто наблюдения цвета электрического разряда, заключается в том, что вы получаете на первый взгляд избыток информации. Однако избыточной она будет лишь в том случае, если прибор работает в соответствии с принятой вами теорией явления. Если же, что вполне вероятно, прибор регистрирует совершенно другое явление, то информация, раньше избыточная, укажет вам на это и уберезет от серьезной ошибки. Более полные результаты позволяют убедиться, что действительно не происходит ничего неожиданного.

Часто полнота влечет за собой некоторую потерю точности, но обычно это вполне допустимо. Только поняв смысл явления, можно стремиться к точности, делать же это раньше времени — значит преднамеренно идти к грубому промаху. Даже будучи полностью уверенным в результатах, стоит, если возможно, еще раз проверить их на первоначальном варианте прибора, который давал самый широкий охват явления, и лишний раз удостовериться в том, что все идет так, как нужно.

Значение точности в физике часто преувеличивают. Грубо говоря, точность много больше процента важна только там, где нас интересует разница величин, например в измерениях плотности азота Релеем (см. главу VI) или в прецизионных измерениях массы атомов Астоном, где ничтожные отклонения от целых чисел (в определенной шкале) обуславливают энергию атомов.

Один общий принцип особенно важен при проведении экспериментов — чистота. Чистота не в буквальном смысле слова, хотя, конечно, она тоже важна, а такая постановка опыта, когда на изучаемый эффект не накладываются посторонние явления. Требование это достаточно очевидно, но зачастую его очень трудно выполнить. Нередко бывает, что исследуемая характеристика усредняется, прежде чем ее удастся измерить, и при этом исчезают все более мелкие детали явления.

Например, кардинальные выводы атомной физики получены при исследовании взаимодействия быстро движущихся частиц атомного и субатомного размеров с неподвижными атомами (см. стр. 63). Идеально было бы узнать подробности столкновения отдельной частицы с одним атомом мишени или ядром этого атома, увидеть путь падающей частицы и траектории рассеянных частиц, траектории атомов и осколков атомов мишени. Иногда это удается, если пользоваться туманной камерой Вильсона или фотографическими пластинками, позволяющими фиксировать отдельные атомные следы. Если же это невозможно, тогда наилучший выход — ограничить атомы мишени таким тонким слоем, чтобы каждая падающая частица претерпевала только одно эффективное столкновение. Но при этом неизбежно возникает некоторое загрязнение результатов; уже нельзя определить, где тот осколок мишени, который выбила данная

частица (даже если предположить, что удастся различать падающие частицы и осколки мишени), хотя многое можно установить. Хуже всего иметь толстую мишень, где каждая частица претерпевает большое число столкновений. Частица будет беспорядочно и многократно изменять свое движение то вверх, то вниз, то влево, то вправо, и конечный эффект больше зависит от случайностей, чем от характеристик самого столкновения. Из подобного опыта, кроме средней рассеивающей способности мишени, можно узнать немного. Однако такие эксперименты соблазнительны, так как обычно они гораздо проще, чем чистые опыты. Ведь при этом не нужно делать очень тонкую мишень, легко измерить значительное рассеяние.

Обычно советуют менять каждый раз лишь одно условие опыта, иначе произойдет путаница и найти ясную причину наблюдаемых различий будет невозможно. Конечно, это абсолютно разумное правило легко выполнить, если лишь поставить несколько кнопок и нажимать их по очереди. Но ситуация может быть и не столь простой. Например, если ставить опыты с электрическим током в разреженном газе, то нельзя изменить давление газа, не изменив либо ток, либо напряжение, приложенное к газу. Одно и то же напряжение не дает одинакового тока при различных давлениях. Точно так же если вы захотите поменять газ в трубке, то должны использовать новый газ либо под тем же, что и раньше, давлением, либо под давлением, которое при прежнем напряжении позволяет получить прежний ток; сохранить прежними и давление, и напряжение, и ток не удастся. На практике единственный настоящий выход из такого положения — изменять каждую величину в самом широком диапазоне, но это требует многих экспериментов.

В действительности правило, предписывающее изменять каждый раз только одно условие опыта, не всегда дает наилучшие результаты. Особенно это относится к биологическим или, например, сельскохозяйственным опытам. Пусть результаты опытов, скажем, по влиянию удобрений на урожай, очень нестабильны из-за действия разных неконтролируемых беспорядочных факторов. Чтобы получить достоверные результаты, нужно провести тщательный статистический анализ большого числа опы-

тов, но каждый опыт стоит дорого, и это ограничивает их число. Кроме того, чем больше будет опытных участков, как того требует статистика, тем больше между ними будет накапливаться различий по качеству почвы, что может существенно повлиять на конечные результаты, а такое влияние по мере сил нужно исключить. Р. А. Фишер очень тщательно изучил планирование подобных опытов\* и нашел способ получать максимум надежной информации из выполненной экспериментальной работы. Чаще всего приходится учитывать влияние двух или большего числа переменных. Например, нужно найти лучшее для нескольких разновидностей кукурузы удобрение. Фишер доказал, что самое разумное — сразу в одном опыте обработать участки для всех разновидностей кукурузы всеми типами удобрений, а не ставить множество отдельных опытов для каждой разновидности. Это не только экономит время и деньги, но и дает более разнообразную информацию.

Когда все эти условия выполнены, самый главный фактор, определяющий успех исследования, — искать в правильном направлении. В любой момент в любом научном вопросе существует несколько точек роста, несколько почек, которые вот-вот раскроются. Именно там и надо работать, и искусство состоит в том, чтобы распознать эти точки роста, прежде чем слишком много людей найдет их и все испортит. Изредка, конечно, происходят прорывы и в совершенно новые области, на существование которых ничто не указывало, как было, например, с открытиями Рентгена и Релея. Здесь важен элемент удачи, хотя, быть может, такие находки ценятся больше всего, так как открывают свежую область исследований.

Приступая к работе, не надо ждать слишком многого, ведь на каждый успех приходится столько неудач, или почти неудач, когда в награду за труд получают лишь заурядные факты. Хотя удачи и редки, но если в течение всей трудовой жизни упорно браться за многообещающие вопросы, то нужно быть действительно несчастливцем, чтобы не напасть по крайней мере на одно стоящее открытие. К сожалению, слишком многие довольствуются

---

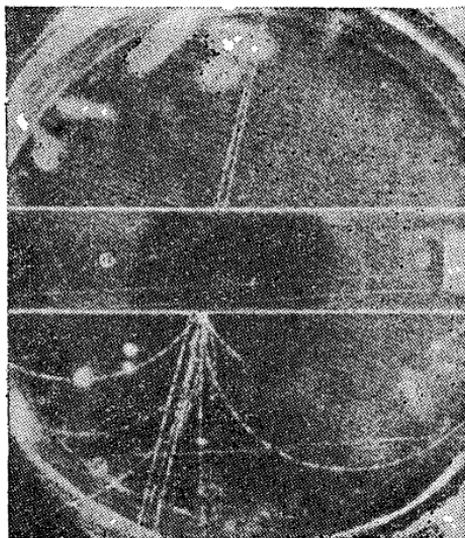
\* Планирование эксперимента в последние годы превратилось в самостоятельный раздел науки. (*Прим. перев.*)

ся работой в рудниках, где руда становится все беднее. Конечно, можно случайно наткнуться на новый пласт, щедро вознаграждающий усилия, но вероятность этого мала, и чаще такие вещи происходят с новичками, сохранившими свежесть подхода.

#### Ч. Т. Р. ВИЛЬСОН (1869—1960)

Вильсон прожил славную и деятельную девяностолетнюю жизнь. Он был одним из ветеранов Кавендишской лаборатории. Свою деятельность ученого он начал с исследований формирования облаков, — явления, близко ему знакомого на практике во время путешествий по шот-

Рис. 13. Космические лучи в камере Вильсона. Две космические частицы падают сверху и входят в толстую свинцовую плиту, которая делит камеру на две части. Одна из частиц является мю-мезоном и проходит прямо через плиту, другая представляет собой электрон и порождает несколько пар положительных и отрицательных электронов, либо непосредственно, либо с помощью фотонов, являющихся промежуточной стадией. Камера помещена в магнитное поле, которое отклоняет положительные и отрицательные электроны в разные стороны. Первичные частицы движутся слишком быстро и не дают заметного отклонения.



ландским горам. В некотором смысле Вильсон никогда не оставлял этой чудесной проблемы, и она повела его по крайне неожиданным и интересным путям. Вильсон обнаружил, что капельки влаги образуются вокруг наэлектризованных ионов, которые, как мы знаем сейчас, возникают под действием земной или космической радиации, и это первое его открытие легло в основу метода Дж. Дж. Томсона для определения заряда ионов, со-

зданных рентгеновскими лучами (стр. 44). Потом он сам использовал это же явление, создав камеру Вильсона, которая позволяет увидеть след ионизирующей частицы во влажном воздухе. Для этого воздух в камере резко охлаждают, и жидкость конденсируется на отдельных ионах, которые, таким образом, становятся видимыми и их можно фотографировать. Равномерность охлаждения обеспечивается внезапным расширением влажного воздуха. Туманные камеры оказались важнейшими приборами в атомной физике и больше, чем что-либо другое, способствовали тому, что атомы, электроны и другие частицы стали реальными для нас.

Вильсон был великолепным экспериментатором. Соблюдая чисто шотландскую осторожность, он работал очень медленно и сам делал большую часть необходимых приборов. Классическая история, которую рассказывают о нем, правдива, если и не буквально, то по духу. Некто X распрощался с Вильсоном, шлифовавшим стеклянную пластинку в своей комнате в Кавендише. Спустя три года X возвратился, а Вильсон все еще шлифовал пластинку. «Верно, — ответил Вильсон, когда ему рассказали об этом, — но это была уже другая пластинка». За свою жизнь он провел лишь несколько экспериментов, но каждый стоит всей работы многих других людей. Надо сказать, что Вильсон принадлежал к числу наихудших лекторов в мире, но был прекрасным учителем для одного ученика, и за это у меня есть достаточные основания благодарить его. Учебные опыты он ставил с блестящим искусством. Вильсон был человеком крупным, у него были тонкие черты лица, пронзительный взгляд, и говорил он с сильным шотландским акцентом.

## СТРАННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОЧЕНЬ МАЛЕНЬКОГО

В этой главе лучше всего, мне кажется, коротко рассказать о волнах и сразу же сделать некоторые выводы, а потом обсудить причины, которые к ним привели. Эти выводы прямо противоречат обыденному здравому смыслу, но я могу заверить читателя, что к таким странным выводам ученые пришли не сразу и не без труда, и много раз пытались применить другие подходы, ни один из которых, однако, не выдержал проверки экспериментом.

Под очень маленьким я подразумеваю здесь электроны, самые легкие из частиц, о которых пойдет тут речь. И дело не в том, что протоны и целые атомы существенно отличаются по размерам от электронов; просто из-за большей массы странное поведение таких частиц, которое нас интересует, менее ярко выражено. Различия касаются лишь степени странности: если для электрона странности бросаются в глаза, то для атомов они уже заметны с трудом, а для объектов много большего размера странности становятся лишь теоретической возможностью. Фотоны, вообще не обладающие массой покоя, во многом похожи на электроны и ведут себя так же, как и они.

Поскольку понятие волны весьма существенно для объяснения этих явлений, читатель, надеюсь, позволит мне короткое отступление в эту область. Самые знакомые нам — это, конечно, волны на воде; однако волны, возникающие в море под действием ветра, обычно очень неправильны и не обладают в достаточной мере характерными свойствами. Другие важные виды волн — звуковые

и радиоволны. Звуковые волны представляют собой быстрые попеременные сжатия и расширения воздуха. Радиоволны — это волны, посредством которых электромагнитные эффекты распространяются в пространстве, или, если вам нравится старое название, в эфире\*. В морских волнах каждая частица воды вращается по вертикальному кругу, двигаясь вперед на гребне волны и назад во впадине. В звуковых волнах воздух движется взад и вперед по направлению распространения волны. В радиоволнах электрическая сила, действующая на антенны приемников, направлена под прямым углом к линии распространения волн и колеблется туда и сюда вдоль этого перпендикуляра. Число полных повторений процесса в данном месте за одну секунду (которое называют частотой) весьма различно даже для волн, где расстояние между следующими друг за другом гребнями или другими подобными состояниями одинаково. Если это расстояние (длина волны) равно одному метру, тогда частота волн в воде равна 1,25 колебаний в секунду, звуковых волн — 340 колебаниям в секунду (мы услышим звук, как будто нажали клавишу вблизи центра клавиатуры рояля) и радиоволн — 300 миллионам колебаний в секунду (область радиоволн, которая используется в телевидении). Такая разница в частотах есть результат весьма различных скоростей распространения волн разных типов. Но, несмотря на эту огромную разницу в скоростях распространения и в характере передающей среды, любые волны представляют собой пример непрерывных изменений; все, что происходит в одном месте, есть следствие того, что произошло в другом месте немного раньше. Все волны обладают также другим очень важным свойством — они интерферируют. Это значит, что в определенных местах в определенные моменты времени волны могут гасить друг друга. Если, например, на поверхности воды впадина одной волны совпадает по времени и месту с гребнем другой, то они пога-

---

\* Обычный воздух оказывает очень незначительное влияние на распространение радиоволн. Но верхняя атмосфера, где много свободных электронов, при некоторых обстоятельствах отражает радиоволны и таким образом способствует их распространению вокруг Земли. (Прим. автора.)

сят друг друга. Такое взаимное погашение в большинстве случаев не происходит постоянно в каком-то одном месте, но можно подобрать волны так, что именно это и случится. Тогда появится устойчивое чередование спокойных и возмущенных районов, где будут складываться впадины со впадинами, а моментом позже — гребни с гребнями. Говорят, что в таких местах волны находятся в фазе, а там, где они гасят друг друга, — в противофазе. К сожалению, волны на воде обычно слишком неправильны, чтобы можно было четко увидеть эти эффекты, однако всякий, кто много плавал по морю, знает, что даже при сильном волнении временами появляются участки сравнительного спокойствия.

Интерференцию хорошо наблюдать у световых волн, похожих на радиоволны, но с гораздо меньшей длиной волны, — в опыте, который в начале девятнадцатого столетия впервые поставил Юнг. В этом опыте свет от очень узкой щели освещает экран, где вплотную друг к другу прорезаны две другие щели, причем все три щели параллельны. Если свет, прошедший через экран, попадает на другой экран, то на нем вместо двух ярких линий (как можно было бы ожидать, судя по ходу лучей) можно увидеть ряд затемненных полос, параллельных щелям. Если свет белый — полосы разноцветные и видны только некоторые из них. Если же используется желтый свет сильной натриевой лампы, то полосы черные и желтые и число их велико. Светлые полосы появляются там, куда волны от двух последних щелей приходят в фазе, темные же появляются между светлыми там, куда волны приходят в противофазе и гасят друг друга. Если вместо двух параллельных щелей сделать множество находящихся на равном расстоянии прорезей, то светлые полосы станут гораздо уже и ярче, а темные соответственно увеличатся. Полосы, следовательно, превратятся в яркие линии на темном фоне. Экран с большим числом щелей, который дает такую картину, называют дифракционной решеткой.

Обычно думают, что звук может огибать углы, а свет не может. В действительности разница здесь лишь количественная. На самом деле звук очень сильно ослабляется препятствиями, и в то же время тщательные опыты еще в семнадцатом столетии показали, что свет слегка загибается в область тени. Количественное различие

здесь просто соответствует значительной разнице в длинах волн. Типичная длина световой волны около  $5 \times 10^{-5}$  см, тогда как длина звуковых волн исчисляется десятками сантиметров. Это полностью объясняет их разную способность огибать препятствия. Значит, очень короткие волны распространяются почти по прямому. Такой характер распространения волн можно описать с помощью понятия луча. Но, согласно Галилею и Ньюто́ну, движение по прямой линии — это свойство частицы, свободной от действия каких-либо сил. Вероятно, подобное рассуждение и привело Ньютона к мысли, что свет состоит из частиц, и, как мы дальше увидим, Ньютон не был абсолютно неправ.

Короткими считаются волны, длина которых мала по сравнению с другими в данном явлении, скажем, по сравнению с высотой здания, если говорить о звуковых волнах, распространяющихся с одной улицы на другую, или по сравнению с размерами предмета, который отбрасывает тень, когда речь идет о световых волнах.

Частицы Ньютона, как и обыкновенные песчинки, ничем не обнаруживали волновых свойств, таких, как интерференция. Попадая в одно и то же самое место, две ньютоновских частицы всегда оказывались лишь двумя частицами, но не 0 или 4, как это могло быть с волнами. Новые же представления говорят о том, что в случае очень маленьких частиц нечто похожее на интерференцию действительно происходит. Иными словами, частица на самом деле обладает некоторыми волновыми свойствами. Об этом стоит рассказать подробнее.

Согласно новым взглядам, движущийся электрон уже не рисует себе чем-то вроде пушечного снаряда, который имеет определенную траекторию. Разрешается принимать во внимание только начало и конец движения электрона, то есть места, где электрон вызвал или вызовет определенный эффект. С современной точки зрения бессмысленно задавать вопрос, что происходит между началом и концом движения.

Но сейчас об этом стоит поговорить. Если вы поставите какой-либо экран для улавливания электрона (вроде тех экранов из проволоки, сквозь которые стреляют для определения скорости пули), то на самом деле вы не сможете сказать, где или в какой момент времени пролетел

электрон. Кроме места его старта и финиша, вам ничего не удастся определить. Экраны, которые ставят для определения скорости пули, смогут эту пулю обнаружить, но вряд ли повлияют на ее движение. С экраном для электрона, как мы увидим дальше, дело обстоит иначе. Все, что способно обнаружить электрон, будет влиять на него и должно рассматриваться, так сказать, как временная мишень электрона.

В новой теории, получившей название квантовой теории, жизненно важен сам процесс наблюдения и те возмущения, которые непременно его сопровождают. Квант, о котором идет речь, — это единица так называемого действия. Такую количественную характеристику ввел в теоретическую механику более столетия назад великий ирландский математик Уильям Роуан Гамильтон.

Нет необходимости подробно объяснять здесь понятие «действие», нужно только знать, что изменение действия грубо соответствует степени влияния одного тела на другое. Но если действие может передаваться только определенными порциями, то для любых событий влияние одного тела на другое не может быть меньше, чем эта порция. Таким образом, если объект, который нас интересует, вообще взаимодействует с регистрирующим устройством, он обязан претерпевать какое-то минимальное изменение. Строго говоря, это так же справедливо для пули, как и для электрона, но если в первом случае нарушением движения пули можно пренебречь ввиду большой величины ее количества движения, то для электрона такое возмущение всегда существенно, точнее, оно просто определяет все его дальнейшее поведение.

Остановимся сейчас на вопросе о том, как можно обнаружить электрон. Быстрые электроны, как и альфа-частицы, вызывают свечение некоторых кристаллов. Это свечение гораздо слабее, чем то, которое вызывают быстрые альфа-частицы, применявшиеся Резерфордом, однако слабое свечение можно усилить с помощью фотоумножителей и зарегистрировать электрическим способом. Другое подходящее регистрирующее устройство — счетчик Гейгера, трубка, наполненная обычно смесью аргона с органическим газом и находящаяся под электрическим напряжением, достаточно низким, чтобы не вызвать разряд. Электрон, попадая в счетчик, вызывает разряд, и

можно записать возникающий импульс тока, а прибор в это время автоматически подготавливается для регистрации следующего электрона. Оба эти метода годятся для быстрых электронов и позволяют обнаружить только одну вещь, что электрон прошел через прибор где-то в довольно большой чувствительной области. Более точно положение электрона можно определить с помощью камеры Вильсона или специальных фотографических пластинок. В туманной камере Вильсона путь ионизирующей частицы, вроде быстрого электрона, становится видимым благодаря скоплению вдоль этого пути отдельных водяных капелек, сконденсированных на заряженных частицах, ионах, когда при расширении влажного воздуха, заполняющего камеру, создается искусственный туман. На фотографических пластинках путь быстрого электрона можно увидеть после их проявления в виде ряда темных точек, представляющих собой зерна бромистого серебра фотоэмульсии, зачерненные при прохождении электрона.

Оба способа позволяют увидеть трек, то есть путь электрона, но в каждой точке этого пути, где электрон вызывает заметный эффект, например, почернение зерен серебра или рождение пары ионов, он может отклоняться в самом неожиданном направлении, и истинное его движение может быть совершенно хаотичным.

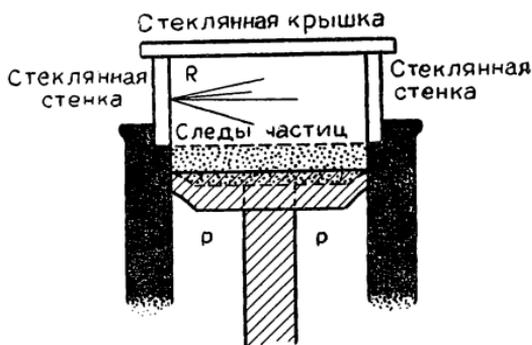
Чтобы обнаружить медленные электроны, принято ускорять их действием электрической силы, делать их быстрыми и затем регистрировать одним из описанных выше способов. Если, например, электрон испускается цинковой пластинкой под действием ультрафиолетового света (стр. 44), он бывает довольно медленным, однако потом его можно ускорить, приложив между пластинкой и параллельной ей проволочной сеткой соответствующее напряжение. При этом электрон оказывается в положении лыжника, который помогает себе палками перевалить через холмик, а затем набирает большую скорость под действием силы тяжести.

Самые прямые доказательства волновой природы электронов (хотя и не самые первые) получили, изучая поведение электронов, проходящих сквозь металлические кристаллы\* или отраженных от их поверхности. Атомы

\* Впервые это было показано в 1927 г. Дэвиссоном и Джермером в Нью-Йорке и вскоре после этого, независимо от них, автором

в металлическом или любом другом кристалле выстроены в параллельные ряды, которые тянутся через весь кристалл и прерываются только в местах неправильного роста кристалла (рис. 14). Пространство между двумя соседними параллельными рядами можно представить себе как щель, а весь кристалл — как экран с большим количеством параллельных щелей, то есть фактически как

Рис. 14. Разрез расширяющейся камеры в приборе Ч. Т. Р. Вильсона для наблюдения следов альфа-частиц. Поршень  $PP$  резко опускается из положения, обозначенного пунктирной линией, в положение, обозначенное сплошной линией. В результате расширения воздух внезапно охлаждается, и на следах гелиевых атомов, испускаемых радием из точки  $R$ , собирается туман.



дифракционную решетку, описанную выше. Если кристалл очень тонкий, быстрые электроны могут пройти сквозь него, не испытывая значительных возмущений. Кристалл берут потому, что щели должны быть очень узкими и трудно (хотя при соответствующем оборудовании вполне возможно) сделать такую же решетку искусственно. Когда провели эксперимент, выяснилось, что электроны, попадающие на фотографическую пластинку после кристалла, дают такую же картину, какую давал бы и свет определенной длины волны. Чуть большая сложность этой картины объясняется тем, что на самом деле кристалл устроен не так просто, как я это изобразил, и, кроме того, тонкий кристаллический слой металла может состоять из множества отдельных кристалликов. Но и такую усложненную картину удается объяснить во всех подробностях, если предположить, что электроны ведут себя как волны с длиной волны, зависящей от их скорости. В соотношении между скоростью, массой и длиной

этой книги в Абердине. Описание в тексте относится к методу автора, см. рис. 17. (Прим. автора.)

За исследования по дифракции электронов Томсону и Дэвиссону была присуждена в 1937 г. Нобелевская премия. (Прим. ред.)

волны электрона входит величина  $h$ . Это квант действия (постоянная Планка), который Планк ввел в 1900 г., чтобы объяснить некоторые свойства теплового излучения нагретого тела, и который сыграл в то время в физике многогранную и важную роль.

Провести опыты с электронами подсказала теория Луи де Бройля, согласно которой любая частица обладает свойствами волны в соответствии с законом\*, сформулированным де Бройлем. Для электронов закон этот полностью подтвердился. Впоследствии, несмотря на большие трудности эксперимента, закон удалось подтвердить и для протонов, и для гелиевых атомов. Все это показало, что во многих случаях частицы ведут себя наподобие волн.

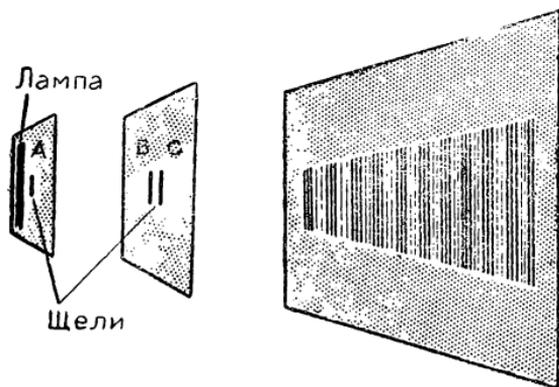
За двадцать лет, прошедшие с начала века, были собраны данные о том, что в поведении света, наоборот, есть свойства, характерные для частиц. Целое столетие свет представляли как волны, и это обеспечило успех многим красивым и сложным экспериментам (рис. 15). Но уже к концу XIX века обнаружили странное явление, которое называли фотоэлектрическим эффектом. Свет, падающий на цинковую пластинку (а также на многие другие тела), выбивает из них электроны (стр. 44). Эти электроны вылетают с энергией, которая не зависит от силы света, а зависит лишь от его окраски, соответствующей (на языке волновой теории) частоте. Усилив освещение, мы получим больше электронов, но двигаться быстрее они не станут. Это ничуть не похоже на поведение волн и напоминает легкую зыбь на море, которая выбрасывает гальку на пляж с той же силой (хотя и в меньшем количестве), что и свирепый шторм. Но именно этого и следует ожидать от частиц. Если по зданию стреляют пулями из винтовки, то размеры кусочков, отбиваемых от камней, не зависят от того, сколько пуль попадает в стенку (исключая редкий случай, когда две пули попадут в одно место одновременно). Может быть, однако, в цинке существует какой-то механизм, накапливающий энергию волн, и, когда он срабатывает, электрон,

---

\* Закон гласит: длина волны равна постоянной Планка, деленной на количество движения частицы. (Прим. автора.)

словно стрела из арбалета, выбрасывается с энергией, определяемой этим механизмом? Но если прикинуть, сколько времени потребуется, чтобы набрать энергию от слабого пучка света и взвести воображаемый арбалет, то окажется, что это время чересчур велико. При облучении цинка слабыми рентгеновскими лучами, близкими к ультрафиолетовым, потребовались бы годы, чтобы набрать для электрона нужную энергию. На самом же деле никакой отсрочки, даже в миллионную долю секунды, между облучением и появлением электронов не существует.

Рис. 15. Интерференционный опыт Юнга. Щель *A* служит для того, чтобы дать узкий пучок света, который затем проходит через щели *B* и *C*, также очень узкие. Пучки *AB* и *AC* растягиваются в горизонтальном направлении в результате дифракции и перекрываются на удаленном экране, образуя систему полос, показанную на рисунке (ширина полос и расстояние между ними на рисунке для наглядности увеличены).



Этот парадокс беспокоил физиков в течение многих лет. Кажущаяся иррациональность природы вызывала странное ощущение, которое никогда не забудут те, кто его пережил. Теория де Бройля вывернула парадокс наизнанку, заявив, что парадокса нет, а такова природа вещей, и опыты с электронами подтвердили это. Почему волновые эффекты не обнаруживаются в обыденной жизни, нетрудно объяснить; так как  $h$  малая величина, то она существенна только в тех случаях, когда либо волна имеет очень высокую частоту, либо частица имеет очень малое количество движения, что на практике означает очень маленькую массу, немногим большую массы электронов.

Для гипотетических световых частиц в целях классификации ввели специальное название — «фотоны». Фотоны движутся со скоростью света, и они имели бы бесконечную массу и энергию, если бы обладали какой-то мас-

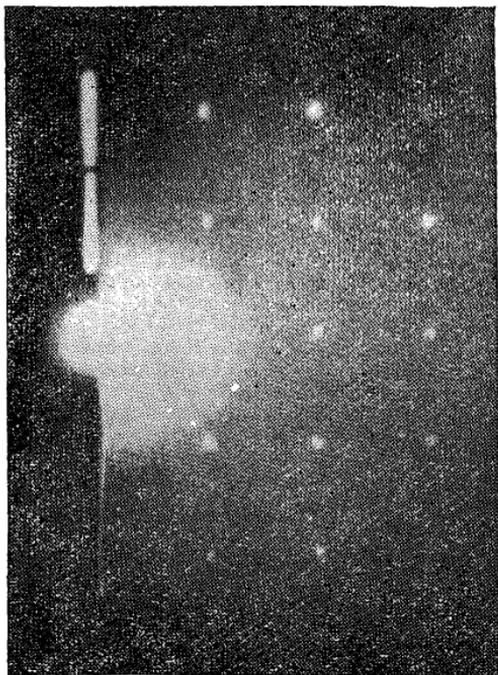
сой покоя. Следовательно, фотоны должны иметь нулевую массу покоя и приобретать конечную массу, количество движения и энергию при движении со скоростью света.

Эйнштейн, по сути дела, за двадцать лет до теории де Бройля предположил, что свет существует в виде квантов, каждый из которых обладает энергией  $h\nu$ , где  $\nu$  — частота света. Фотоны живут лишь при движении со скоростью света, и их нельзя собрать в бутылку. Хотя и фотоны, и электроны — примеры дебройлевских частиц, и одинаковые общие суждения применимы к обоим, легче все же говорить об электронах, которые не обязаны всегда быстро двигаться, и тогда можно обойтись без теории относительности. Дальше мы ограничим свои рассуждения электронами.

Посмотрим, к чему мы пришли. Фактически мы преодолели фотоэлектрический парадокс и объяснили новые эксперименты с электронами ценой отказа от ньютоновских законов движения. Движение частиц оказалось связанным с движением волн; грубо говоря, частицы попадают туда, где сильны волны. Но волны, как мы видели, не распространяются по прямым линиям, даже для самых коротких волн их путь в лучшем случае лишь приблизительно прямолинеен, но никогда не может быть абсолютно прямым. Следовательно, нужно отказаться от представления Галилея о том, что частица, свободная от действия сил, будет бесконечно двигаться по прямой линии. Из новых представлений не следует, что частица должна остановиться, но она обязана размазаться, расплыться, как расплываются волны, проходящие сквозь щель или отверстие. Например, звуковые волны, размывание которых легко встретить в повседневной жизни. Но как может расплыться частица? Оказывается, что для расплывшейся частицы нельзя даже сказать, где она находится, известно только, что она должна быть где-то в районе волны. Выражаясь более формально, интенсивность волны является мерой вероятности обнаружить электрон в определенном месте, если туда поместить регистрирующее устройство. Волны — лишь способ расчета возможного местонахождения электрона (или фотона), но они не позволяют (и это очень существенно) точно определить, где в действительности находится частица. Сами по себе

волны призрачны, и их невозможно обнаружить. Их существование удастся заметить только благодаря электронам, частицам, которые в отличие от волн способны вызвать почернение зерен фотографической пластинки или свечение кристалла.

**Рис. 16. Дифракционное изображение.** Изображение, созданное электронами, прошедшими сквозь промежутки между атомами в кристалле серебра, тень которого видна слева (белая вертикальная линия нанесена после основного опыта в качестве отсчетной отметки). Кристалл действует наподобие двух дифракционных решеток, скрещенных под прямым углом. Использовался точечный источник электронов, а не щель, как в обычном оптическом спектроскопе, и поэтому изображение состоит из точек, а не из линий. Межатомные промежутки в кристалле эквивалентны тонкой пленке, о которой говорится в тексте.



Совсем не обязательно знать (а возможно, и бессмысленно спрашивать), какая среда переносит эти волны или какая физическая величина в них соответствует движениям капелек воды в волнах на море или изменениям давления воздуха в звуковой волне. Волны выполнили свою задачу, когда сообщили о том, где скорее всего должен быть электрон.

Первоначальная теория де Бройля скорее наталкивала на размышления, нежели вела к точным выводам. Но Шредингер и другие ученые развили идеи де Бройля в стройную математическую теорию, известную сейчас как квантовая механика и способную предсказать последствия почти любого возможного эксперимента в микромире. Для этой теории характерно существование для одного

и того же объекта и волновых свойств, и свойств частицы. Из теории по желанию можно извлечь либо характеристику волны, либо характеристику частицы, но никогда нельзя получить обе характеристики сразу. Если ставить опыт с целью найти местоположение исследуемого объекта, то в результате мы всегда обнаружим волну. Опыт можно спланировать и так, что проявятся свойства частицы, например сохранение количества движения при столкновениях. Но условия опыта, при которых можно наблюдать одну группу эффектов, исключают наблюдение эффектов другой группы, и, наоборот, Нильс Бор назвал такую взаимосвязь дополнительностью.

Дополнительность характеризуется принципом Гейзенберга, который называют принципом неопределенностей. Принцип гласит, что наблюдения положения и количества движения частицы взаимно исключают друг друга. Если точно определить одну величину, другая должна быть неточной. Квантовая механика утверждает, что вся информация об электроне содержится в волне. Если известно, что волна ограничена в небольшой области пространства, то и электрон должен быть где-то в этой области, но если в этой области пространства разместится несколько волн, то нельзя определенно сказать, в какой из волн находится электрон, — все они будут равноценны. Длина волны и количество движения обратно пропорциональны друг другу. Когда одна величина возрастает — другая уменьшается, так что, если одна из них неопределенна — другая также неопределенна, иными словами, если есть длинная вереница волн, можно довольно точно определить момент количества движения, но волны будут занимать большое пространство и электрон может находиться в любой его точке. Так выглядит материя с волновой точки зрения.

С точки зрения представлений о частицах можно попытаться локализовать электрон, рассматривая его в микроскоп, использующий одну из разновидностей света. Этот свет в соответствии с хорошо известным законом микроскопии может обнаружить положение частицы с точностью, чуть большей длины его волны, и, чем большая нужна точность, тем короче должна быть длина волны. Лучше всего использовать для этой цели «свет» рентгеновских лучей. Но и свет и рентгеновские лучи являют-

ся одновременно и частицами, фотонами, обладающими количеством движения и передающими электрону при столкновении с ним импульс в неизвестном направлении. Поэтому конечное количество движения электрона становится неопределенным в пределах, примерно равных количеству движения фотона. В свою очередь, количество движения фотона тем больше, чем короче длина волны\*, и, даже если для освещения используется лишь один-единственный фотон, электрон получит значительный импульс. А меньше одного фотона быть не может, ибо тогда вообще не будет света. Мы снова возвращаемся к той же дилемме, хотя и под новым углом зрения.

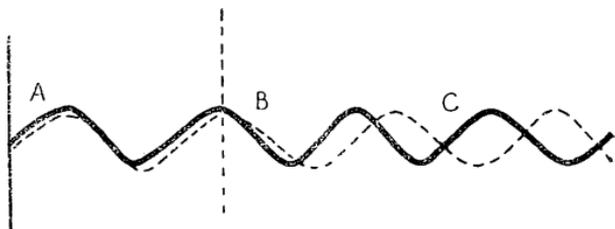


Рис. 17. Волны в ограниченной области. Красные и голубые (здесь изображенные черными) волны едва различаются на начальном участке  $AB$ , но дальше расхождение в фазах становится все больше и больше, и около  $C$  волны начинают гасить друг друга. Если наблюдения ограничены участком  $AB$ , то нельзя произвести выбор между волнами, и длина волны на этом участке будет определена неточно.

Если принять, что волны всегда сопутствуют частицам и электрон является и тем и другим, приходится отказаться от возможности точного предсказания масштабов очень маленького. Прежде всего потому, что назначение волн лишь в том, чтобы определять вероятность присутствия электрона. Если бы удалось сконцентрировать волны в математической точке, то можно было бы сказать, что электрон находится здесь. Но волны в лучшем случае

---

\* Чем короче длина волны, тем выше частота, которой прямо пропорциональна энергия фотона. (Прим. автора.)

можно сфокусировать в области с радиусом только около половины длины волны во всех направлениях, ибо волны всегда непрерывны и резко отличаются этим от идеальных частиц.

Но даже если отвлечься от этого, точные предсказания все равно нельзя сделать, так как, согласно принципу Гейзенберга, невозможно зафиксировать начальные условия для электрона. Астрономы способны предсказать движение планеты с точностью, которая зависит от искусства их измерений, ибо астрономические наблюдения не влияют на движение планеты и ее орбиту можно определить длительными наблюдениями, каждое из которых увеличивает точность предсказания. Но каждое наблюдение электрона возмущает его состояние непредвиденным образом, так что повторение наблюдений не дает никакого выигрыша. А так как точно неизвестно, откуда начал двигаться электрон и как быстро он движется, то нет надежды и предсказать, где он окажется позднее. Заметим, что принцип Гейзенберга зависит от того, что свет является также совокупностью частиц, фотонов, которые способны передавать момент количества движения. Если бы свет состоял из чистых волн, он оказывал бы на электрон только слабое постоянное давление, с которым вполне можно было бы примириться. Ведь такой свет можно было бы сделать сколь угодно слабым и, таким образом, уменьшить его возмущающее действие. Но меньше, чем один квант, то есть один фотон света, быть не может; если нет фотона, то нет и света вообще. Значит, такой путь закрыт.

Прежде чем рассматривать очень важные следствия этого вывода, есть смысл бегло затронуть некоторые другие разделы квантовой теории. Исторически отправной точкой всей теории явилось соотношение между частотой и энергией  $E = h\nu$ , хотя рассматривать его как вывод из общих положений квантовой механики мы сейчас не можем. В слегка измененной форме это соотношение применил Планк для объяснения спектра излучения абсолютно черного тела, а позднее — Эйнштейн для объяснения фотоэлектрического эффекта. Тесная связь между частотой и энергией, кроме всего прочего, объясняет также разрушение светом кристаллов, алмазов и отклонение от нормы в тепловом поведении твердых тел при низких

температурах. Грубо говоря, дело сводится к тому, что частота колебаний атомов у этих твердых тел столь высока и квантовая энергия их, следовательно, столь велика, что при низких температурах они не могут получить достаточно тепла для вибраций, и большая часть их атомов «застывает» на месте.

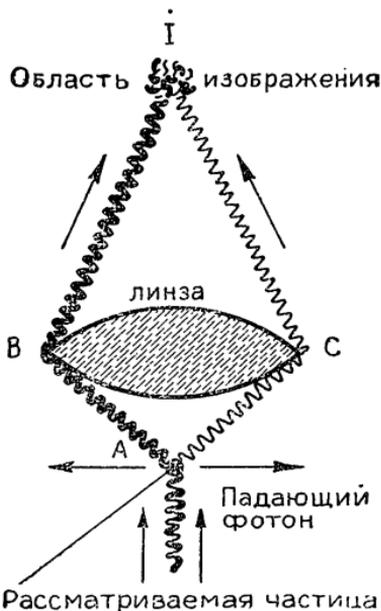


Рис. 18. Фотонный микроскоп.  $AB$ ,  $AC$  — возможные пути фотона. Фотон, движущийся по  $AC$ , отбросит электрон влево, по  $AB$  — вправо. Отметим, что, согласно известному результату микроскопии, угол  $BAC$  должен быть большим, чтобы область изображения была насколько возможно малой, то есть примерно в половину длины волны в поперечнике.

Постоянная Планка определяет и размеры атомов. В Солнечной системе нет никаких внутренне присущих ей механизмов, которые определяли бы абсолютные размеры планетных орбит. Эти размеры могли бы быть вдвое больше или вдвое меньше действительных, и вся система работала бы одинаково хорошо. Истинные размеры планетных орбит, вероятно, являются следствием пока еще не известных исторических событий, которые привели к рождению планет. Но атомы имеют определенные размеры. Все атомы углерода, например, принадлежащие даже к различным изотопам, имеют один и тот же размер. Как это получается? Нильс Бор первым ответил на этот вопрос, используя величину  $h$ . Теория Бора была неполной, и я не буду приводить ее здесь, хотя она очень помогла развитию физики в течение двенадцати

решающих лет. В терминах волновой теории ответ, грубо говоря, состоит в следующем: размер атома должен быть таким, чтобы волна могла точно улечься вокруг атома и закончиться там же, где и началась. Если комната оклеена разрисованными обоями, то некрасиво, когда в месте склейки рисунки не совпадают, но если размеры комнаты таковы, что на стене уложится целое число рисунков, то разрисовка в месте склейки совпадет. Точно так же обстоит дело и с волнами электрона в атоме. Следует только помнить, что длина волны электрона в атоме зависит от его скорости, а скорость будет возрастать под действием притяжения положительного электрического заряда ядра. Возникает математическая задача, настолько сложная, что ее трудно решить даже в самом простом случае атома водорода, у которого всего один электрон. Для сложных атомов со многими электронами эта задача, по сути дела, неразрешима, хотя удается сделать приближенные расчеты, тогда как для водорода задача решается точно. В рассмотренной теории есть одно присущее ей ограничение. Путь электрона, как движущегося объекта, проследить невозможно. Если попытаться определить положение электрона в атоме, то, как показывает принцип Гейзенберга, фотон обычно наносит такой удар электрону, что вышибает его из атома. Любая попытка проследить путь электрона обречена на неудачу. И все же есть известный смысл утверждать, что некоторые, хотя и не все, электроны вращаются вокруг ядра. Они заставляют весь атом вращаться подобно волчку и меняют его поведение в целом.

Теперь вернемся к выводам из принципа неопределенности. Эти выводы были восприняты огромным большинством физиков как фундаментальное ограничение познания. Новизна состояла не в том, что эксперимент неточен; конечно, эксперименты были и всегда будут в определенных пределах неточными, а в том, что теперь появился предел, перешагнуть который не могла никакая точность, сколько бы ни прилагалось усилий и выдумки. Физика привыкла говорить о том, что нельзя сделать, например, вечный двигатель. Впервые ей пришлось говорить о том, что нельзя познать.

Со времен Ньютона, если не раньше, считали, что неутощенный мир (по крайней мере) детерминирован и

что события следуют друг за другом в определенной причинной последовательности. В пользу этого свидетельствовал главным образом огромный успех астрономов в предсказаниях движения планет. Последнее расхождение между теорией и фактами в астрономии — сдвиг перигелия Меркурия — было устранено общей теорией относительности, ознаменовавшей конец старой физики. Конечно, квантовая механика не коснулась движения планет, ведь они настолько массивны, что даже в самых несбыточных мечтаниях самых неистовых астрономов нельзя было надеяться достигнуть теоретических пределов точности. То же самое, по существу, относится и к точным лабораторным приборам типа прецизионных маятников. Но на атомном уровне ситуация совершенно иная.

Считают, и достаточно обоснованно, что испускание альфа-частиц радием и другими радиоактивными веществами — это квантовомеханический эффект, который не наблюдался бы, если бы частицы не обладали волновыми свойствами. Если, например, внутри счетчика Гейгера содержится мизерное количество вещества, испускающего альфа-частицы, счетчик будет срабатывать при освобождении каждой отдельной частицы. Подобрав соответствующее количество вещества, можно добиться нескольких отсчетов за минуту, каждый из которых можно сопровождать звуковым сигналом. Для одного типа вещества среднее число отсчетов в минуту совершенно постоянно, но число отсчетов в течение каждой данной минуты случайно. Если среднее число отсчетов равно, скажем, 12, то найдется много таких минут, когда число отсчетов будет равно 9, 10, 11, 13, 14 или 15, и несколько минут, когда число отсчетов еще больше отличается от 12. Если справедлива квантовая механика, то нет никакого способа заранее узнать, чему будет равно число отсчетов в следующую минуту.

Это всего лишь один пример многих разнообразных явлений, которые принципиально неопределенны вне зависимости от качества приборов. Такие явления складываются из индивидуальных событий, и, чем больше этих событий учитывается, тем увереннее можно предсказывать среднюю величину. Опыты с электронами в кристаллах, рассмотренные выше, попадают в эту же категорию;

чтобы получить картину явления, нужно очень много электронов. Статистика позволяет извлечь порядок из беспорядочных событий так же, как она обеспечивает прибыли в Монте-Карло, если только колеса рулеток вертятся правильно. Многим ученым чрезвычайно трудно представить себе природу в виде пресловутого колеса рулетки, но за прошедшие тридцать и даже более лет не нашлось никакой другой приемлемой для всех альтернативы, и это вовсе не из-за недостатка желания или усилий изменить положение.

Квантовая механика достигла многого, предсказывая и объясняя явления. Правда, существует еще много нерешенных вопросов, особенно касающихся структуры ядра, но даже в этих случаях представления, основанные на квантовой механике, позволили добиться серьезных успехов. По-видимому, мы должны считать основные принципы квантовой механики справедливыми, во всяком случае, мы можем принять их с гораздо большей уверенностью, чем старые принципы ньютоновского детерминизма. Разумеется, с точки зрения философии науки между этими двумя системами существует огромная разница, но, оглядываясь назад, невольно задаешься вопросом, действительно ли старые детерминистские представления были столь прочными даже в тех случаях, когда существованием  $\hbar$ , которое лежит в основе всех предыдущих рассуждений, можно пренебречь.

Возьмем для примера газ, находящийся в сосуде. Кинетическая теория девятнадцатого столетия (которую мы в основном сохранили) представляла этот газ в виде огромного числа молекул различной формы (иногда сферических — для простоты), которые беспорядочно мечутся, сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. Так как столкновения предполагаются упругими, кинетическая энергия не теряется, а переходит от одной молекулы к другой. В результате в какое-то мгновение одни молекулы движутся быстрее, другие медленнее, но после нескольких новых столкновений картина меняется. Каждая молекула претерпевает миллиарды столкновений в секунду. Чем горячее газ, тем выше средняя скорость молекулы.

Можно ли считать, что детерминизм полностью применим к системе молекул, подобной этой? Даже если

найдется вычислительная машина, способная выполнить расчет миллиардов столкновений каждой из миллиарда миллиардов молекул (в обычном воздухе содержится около 27 миллиардов миллиардов молекул в кубическом сантиметре), насколько результативным это окажется?

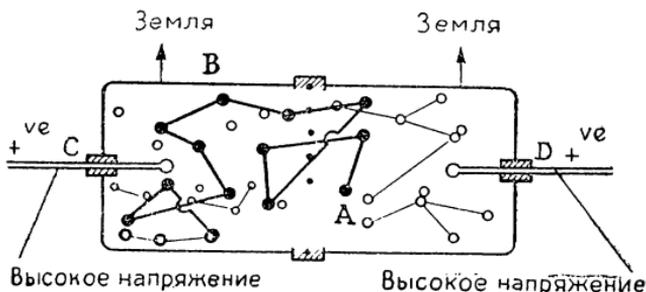


Рис. 19. Воображаемый эксперимент с двойным счетчиком Гейгера и радиоактивным атомом. Путь радиоактивного атома, обозначенный жирной линией, начинается в точке А. Атомы газа — светлые кружочки. В действительности в таком объеме находятся миллиарды миллиардов атомов, сталкивающихся друг с другом миллионы раз в секунду и случайно наталкивающихся на радиоактивный атом. Если прицельное направление в любом из столкновений слегка изменилось, то направление полета атома после этого столкновения меняется полностью, и поэтому последующие столкновения становятся совершенно другими. В конечном счете радиоактивный атом приближается к стенке, предположим в области В, прилипает к ней и распадается. Срабатывает левый счетчик Гейгера, вызвав разряд электрода С на заземленный корпус.

Чтобы точнее сформулировать вопрос, рассмотрим воображаемый опыт. Предположим, что одна молекула газа в счетчике Гейгера радиоактивна. Раньше или позднее она взорвется, испустив альфа-частицу, которая заставит работать счетчик. Пусть счетчик Гейгера состоит из двух половинок и обе его половины разделены проволочной сеткой, через которую могут проходить молекулы. Цель опыта будет в том, чтобы заметить, какая из половинок счетчика работает. Счетчик, конечно, следует защитить от космических лучей и других возмущений. Введем моле-

кулу в счетчик в известный момент времени около сетки и забудем о квантовой механике. Чтобы предсказать, какая половинка счетчика сработает, мы должны в своих расчетах учесть каждое столкновение, испытываемое радиоактивной молекулой при зигзагообразном движении в газе, пока она не достигнет стенки, у которой, как мы будем считать, она задержится. Мы можем спланировать опыт так, что молекула почти наверняка достигнет стенки, задержится в ней и взорвется. Это необходимо потому, что в действительности мы не знаем, когда должна распасться молекула. Детерминистский подход требует измерить вначале положения и скорости всех молекул вблизи радиоактивной и определить, с какой из них она столкнется. Затем мы должны рассчитать первое столкновение и определить, в каком направлении и с какой скоростью станет двигаться после него радиоактивная молекула. Справившись с этим, мы сделаем только первый шаг, так как расчет нужно повторить для следующего столкновения, и так далее. Гораздо хуже, что сталкиваются и все другие молекулы, и это нужно принимать в расчет, чтобы найти, в каком месте они окажутся. Ведь каждая из этих молекул может столкнуться с нашей радиоактивной молекулой во время ее зигзагообразного движения к стенке.

Но в абсолютной безнадежности решения этой задачи мы убедимся, как только перейдем к вопросу о точности расчетов. Тут даже не особенно важно, по какому закону происходят столкновения. Предположим для наглядности, что столкновения молекул протекают так же, как и соударения идеально упругих бильярдных шаров, то есть зависят от того, сталкиваются ли они «в лоб» или «в полшара». Тогда ошибка в половину диаметра молекулы приведет к совершенно искаженному результату. Даже гораздо меньшая ошибка будет заметно сказываться на угле разлета молекул. Такая погрешность в определении направлений движения будет сильно влиять на точность расчета положения молекул при следующем столкновении, поскольку оно происходит обычно на таком расстоянии от места первого столкновения, что туда уложится несколько тысяч диаметров молекул. При расчете каждого нового столкновения влияние маленькой ошибки в определении предполагаемых места и скорости

молекулы будет умножаться, и ясно, что через несколько миллионов столкновений, — а добираясь до стенки трубки, молекула должна испытать их гораздо больше, — потребуется фактически бесконечная точность в определении начальных условий. Только тогда наши выводы будут иметь хоть какую-то ценность, если мы решили узнать судьбу отдельной молекулы.

Значит, возвращение к статистическому способу неизбежно. Усредняя влияние отдельных столкновений, мы узнаем, какова вероятность того, что радиоактивная молекула попадает в ту или другую половину приборов.

Утверждать, что рассмотренная молекулярная система детерминирована, вряд ли имеет смысл, хотя в рассуждениях я пренебрег величиной  $h$  и считал, что каждое отдельное столкновение полностью детерминировано, как для обыкновенных бильярдных шаров. Неопределенность такого рода впервые заметил и обсудил Макс Борн. По видимому, ее не замечали «доквантовые» физики.

Подобные рассуждения показывают, что неопределенность может существовать даже в системах, где действие во много раз превосходит величину  $h$ . Возьмем пример из аэродинамики. Турбулентный слой на поверхности обтекаемых тел возникает из ламинарного потока в результате разрастания крохотных завихрений, когда скорость движения увеличивается. Несомненно, эти завихрения часто возникают из-за шероховатостей поверхности; но даже если поверхность очень гладкая, завихрения с тем же успехом могут возникнуть из очень небольших по масштабу флуктуаций скорости и плотности обтекающего потока, которые обусловлены беспорядочностью движения молекул. В слое, который становится нестабильным, эти маленькие завихрения будут расти до больших размеров, но положение и форма их в данный момент времени будут зависеть от условий их возникновения и поэтому будут случайными. Действительно, если система становится нестабильной, что обычно происходит, когда к ней подводится слишком много энергии, события молекулярного масштаба могут неограниченно разрастаться.

Квантовая механика вступает в действие лишь в том случае, если кто-то захочет возразить: «...но ведь в принципе можно провести наблюдения с необходимой точностью и предсказать все эти явления». Квантовая меха-

ника утверждает, что и в принципе существует предел точности наблюдений; в случаях, подобных тем, которые я описал, точность никогда не может быть достаточно хорошей.

Физические явления, даже происходящие в макромасштабах, часто неопределенны. Старое представление о необходимости ограничено определенным классом явлений. Скажем, можно очень и очень сомневаться в том, будут ли когда-либо возможны долгосрочные метеорологические прогнозы. Вряд ли удастся, например, уверенно заявить когда-нибудь, что в новогодний день 2060 года в Кембридже можно будет кататься на коньках под открытым небом.

По-моему, очевидно, что тому, кто принял представления квантовой механики, природа должна представляться совершенно иной, чем последователям Ньютона. Ведь колоссальный успех ньютоновской механики в применении к астрономии глубоко повлиял на весь строй мышления, вплоть до нашего времени. Мне кажется очень странным, что большая часть профессиональных философов, которым, разумеется, известны эти идеи, по-видимому, склонна преуменьшать их значение. Быть может, это объясняется тем, что квантовую теорию довольно широко использовали как аргумент в пользу свободы воли. Такой подход может быть, а может и не быть обоснованным. Если проблема свободы воли и доступна научному исследованию, а это, по-моему, вопрос спорный, то это отнюдь не та проблема, которую должна решать физика. Но детерминизм существует, и в этом вопросе физики единодушны, за немногими исключениями. Мы можем быть не правы, но ошибаться в вопросе, в котором ошибался Ньютон, почти почетно. Во всяком случае, есть достаточные основания надеяться, что ошибку, если она существует, удастся найти только в результате развития физики, после того как мы будем все больше и больше узнавать об истинном поведении разных видов материи в условиях, кажущихся нам сейчас необычными.

Говоря о детерминизме, я имел в виду возможность предсказывать с достаточной степенью точности события, которые будут или не будут наблюдаться в действительности. Идеальный мир математики, выбранный для изображения кванта, существенно, но не полностью отлича-

ется от мира, изобретенного Ньютоном. В обоих случаях посредством точного вычисления значений тех или иных математических величин предсказывают наблюдаемые явления. Однако смысл этих величин различен. В типично ньютоновском случае они говорят о том, что произойдет некоторый определенный момент в будущем; в типично квантовом случае — какова относительная вероятность некоторых возможных событий, которые произойдут в данный или близкий к нему момент времени.

Карты ньютоновской и квантовой физики (возвращаясь к нашему старому сравнению) обе отпечатаны на бумаге, и, хотя на первый взгляд сильно отличаются друг от друга, очень похожи. Решающая разница выявляется, когда хотите использовать эти карты. Первая относится к миру из твердого камня, где все фиксированно и определено. Вторая — к миру океанов и облаков, взволнованному непрерывными порывами ветра и дождя. Мир, изображенный на этой карте, столь же реален, как и на первой, но в нем нет резких границ. И только на большом корабле можно не обращать внимания на волнение океана.

Даже если природа действительно разумно устроена, существуют тайны, которые она не собирается открыть нам раньше времени.

### МАКС ПЛАНК

История редко допускает такие совпадения, как то, что вместе с XX веком, буквально за месяц до его наступления, родилась самая важная из новых идей столетия. В декабре 1900 г. Планк выдвинул первый вариант квантовой теории, где уже была знаменитая постоянная Планка  $h$ . К тому времени Планк был уже немолод. Он родился в 1855 г. в Киле, где его отец был профессором юриспруденции. Как и большинство физиков его поколения, Планк получил математическое образование. Но, в отличие от многих, он остался математиком на всю жизнь и не вел экспериментальной работы, если не считать исследования большой фисгармонии, построенной для демонстрации различий между чистыми и темперированными тонами. Ранние труды Планка относились к термодинамике — той ветви физики, которая, несмотря на важные приложения в промышленной химии

и теории тепловых машин, может быть весьма абстрактной. Термодинамика была созвучна серьезному философскому подходу Планка к науке. Успехи Планка в термодинамике были достаточно внушительны и позволили ему получить кафедру теоретической физики в Берлине. Здесь, в Немецкой национальной физической лаборатории, в это время проводили широкие исследования излучения нагретых тел. На первый взгляд тепловое излучение не относится к числу основных физических характеристик, так как зависит от природы нагретого тела, но если рассматривать излучение внутри нагретого тела, то оно, как было доказано с помощью термодинамики предшественником Планка Кирхгофом и подтверждено опытами, совершенно не зависит от химической природы и физического состояния тела.

Если заглянуть в промежуток между двумя тлеющими угольками в камине, легко заметить, что края углей видны очень смутно. В более чистом опыте при наблюдениях через маленькое отверстие внутренней полости нагретого тела излучение от любого участка стенки выглядит совсем одинаковым. Излучение, проходящее через отверстие, называется полным излучением, или (иногда) излучением абсолютно черного тела. Так как оно не зависит от природы вещества или веществ, а зависит только от температуры, то, очевидно, такая характеристика достаточно важна. Когда полость становится горячее, количество излучения возрастает и меняется его качественный состав. Темно-красные, большей частью невидимые излучения переходят в ослепительный белый свет, который, словно солнечный, разлагается призмой на составляющие и содержит все цвета вплоть до фиолетового. Как зависит интенсивность излучения от его цвета, то есть от длины волны? И как эта интенсивность зависит от температуры полости? До Планка были предложены две формулы. Одну предложил Вин, вторую Релей, причем обе основывались на определенной теории. Первая хорошо подтверждалась для длинноволнового, или красного, света, вторая — для голубого и ультрафиолетового. Смысл первого шага Планка заключался в том, чтобы найти математическую формулу, которая совмещала бы обе предыдущие. Он получил такую формулу, пригодную для опытов с излучением любых цветов. Эта формула (ее

предлагали некоторые математики и до Планка) вначале не имела теоретического обоснования, но вскоре Планк нашел его. Он показал, что формулу можно вывести из существующих законов электричества (к тому времени максвелловская электромагнитная теория света была уже полностью признана), если только принять, что свет излучается и поглощается не непрерывно, что казалось вполне естественным, а дискретными порциями — квантами. Величину энергии кванта следовало считать пропорциональной частоте света, большей для голубого, чем для красного света. Постоянную в этом выражении Планк обозначил символом  $h$ .

Потребовалось немало лет, чтобы понять колоссальное значение открытия Планка, — открытия, означавшего не больше и не меньше, как замену непрерывности прерывностью в основных законах физики. Новой формулой, которая точно соответствовала фактам, заинтересовались многие, но способ ее вывода обычно упускали из виду, считая, что будет найден какой-то другой способ получить правильную формулу, где не потребуется таких решительных, поистине революционных допущений.

Об излучении в свободном пространстве Планк не говорил ничего. Считать и такое излучение прерывистым — в отличие от взглядов Максвелла — еще не требовалось. Следующий шаг в 1905 г. сделал Эйнштейн, который тоже работал в Берлине и был большим другом Планка. Он предположил, что даже в свободном пространстве излучение состоит из квантов, и формула  $E = h\nu$  впервые в знакомом нам виде появилась на досках физических лабораторий. Этот шаг значительно облегчил распространение квантовой теории, особенно среди экспериментаторов. Формула Эйнштейна сняла с теории специфический абстрактный налет теоретической термодинамики, от которого у экспериментаторов опускались руки, даже если они относились к квантовой теории с уважением. Кроме того, Эйнштейн объяснил ряд очень странных фактов, которые касались рентгеновских и ультрафиолетовых лучей и причиняли серьезное беспокойство. Затем в 1913 г. Нильс Бор выдвинул свою теорию водородного атома. Так концепция Планка впервые была применена к великой проблеме строения атома. Потом события раз-

вертывались так, как мы рассказали в этой главе. Но Планк не принял в них большого участия.

Планк был теоретиком до мозга костей и всю жизнь глубоко интересовался философскими аспектами физики. Планк фанатически верил в реальность внешнего мира и противостоял модным тогда позитивистским взглядам Маха и Оствальда. Чересчур узко ограничивая физику тем, что непосредственно наблюдается, позитивисты омертвляли воображение. Но Планк не был, подобно Дж. Дж. Томсону или Резерфорду, и создателем моделей. В философских выводах из своей работы он занимал осторожную позицию и оставался твердым сторонником причинности, хотя и понимал ее в довольно специфическом смысле. Планк верил в могущество чистого разума и свою автобиографию начал следующими словами:

«Мое первоначальное решение посвятить себя науке было прямым результатом открытия, которое не переставало вселять в меня энтузиазм в годы ранней молодости. Это решение возникло, когда я понял тот далеко не очевидный факт, что законы человеческого мышления совпадают с законами, управляющими последовательностями впечатлений, которые мы получаем от окружающего мира. И поэтому мышление позволяет человеку проникнуть внутрь этого мира. Первостепенную роль при этом играет то, что внешний мир является чем-то не зависящим от человека, чем-то абсолютным, и поиски законов, управляющих этим абсолютным, представлялись мне самой возвышенной и благородной научной целью на свете».

Признание обоснованности термодинамических идей Планка приходило довольно медленно, и Планк, вероятно, чувствовал это. Он был типичным немцем в лучшем смысле этого слова. Честным, педантичным, с чувством собственного достоинства, по-видимому, довольно твердым, но в благоприятных условиях способным отбросить всю чопорность и превратиться в обаятельного человека. Чистокровный ариец и убежденный патриот, Планк выступал против преследования евреев и во время официального визита к Гитлеру просил о смягчении участи некоторых из них. Гитлер был взбешен, и Планку пришлось удалиться.

Злой рок преследовал семью Планка: он потерял сына в первой мировой войне, две его дочери умерли во

время родов. Его младший сын был казнен вместе с лучшими представителями Германии, когда был раскрыт польский заговор против Гитлера.

По крайней мере однажды Планк публично выразил свою твердую веру в благотворное божество. Случилось, что Планка и Эйнштейна вместе награждали почетными степенями в Кембридже. Трудно представить себе двух людей, которые внешне были бы похожи меньше, чем Планк и Эйнштейн. В Эйнштейне, бросающемся в глаза, с копной седых волос, ореолом окружавших бронзовое лицо, легко было угадать гения или подвижника. Планк же выглядел очень обыкновенно, хотя особое благородство сквозило в его чертах.

Планк обладал спокойным достоинством и производил впечатление человека с большим и сильным характером. Планк снова был в Кембридже в 1931 г., и во время обоих визитов он и жена останавливались у Дж. Дж. Томсона в Тринити-Лодж. Джи-Джи восхищался работой Планка, гораздо более созвучной его собственному направлению мысли, чем работа Эйнштейна, и очень любил общество Планка. Планк, к счастью для Джи-Джи, владел хорошим английским языком, так же, как и его вторая жена, добрая, благоразумная женщина, преданная своему выдающемуся мужу.

Характеры Планка и Джи-Джи были схожи в некоторых отношениях. Оба не были эгоистами и были неприятельны, хорошо относились к людям, оба испытывали живой интерес к вопросам, стоящим в стороне от науки.

Хотя и Планк и Джи-Джи в большей части своих работ имели дело с абстракциями, они были очень реалистичны в подходе к повседневным событиям. Помимо науки, Планк увлекался музыкой и альпинизмом. Эйнштейн тоже был музыкантом, и, когда жил в Германии, он и Планк часто играли вместе — Эйнштейн на скрипке, а Планк на фортепьяно.

Планк продолжал активно заниматься альпинизмом даже в весьма пожилом возрасте, искренняя любовь к горам и простору была его отличительной чертой.

О хорошем здоровье в преклонные годы и об отменной любезности свидетельствует случай, когда Планк пошел провожать дочь Джи-Джи, проезжавшую через Бер-

лин поздно ночью, хотя ему было уже почти восемьдесят и на следующий день ранним утром он должен был отправиться за город.

Очень хорошо, что «Общество Макса Планка», ведущая научная организация в Германии после войны, названо в честь этого великого физика и благородного человека.

### К. Д. ДЭВИССОН

\* Судьба Дэвиссона примечательна даже вне зависимости от его научных заслуг. Его работа — один из первых случаев, когда открытие огромной важности для чистой науки было сделано в промышленной лаборатории.

Дэвиссону было уже тридцать шесть лет, и он имел солидную репутацию в физике ионов и электронов, когда в 1917 г. в связи с военными исследованиями он ненадолго поступил, как предполагалось, на службу в организацию, известную сейчас как «Телефонные лаборатории Белла» (в то время отделение компании «Уэстерн электрик»). В лабораториях Белла Дэвиссон проработал до 1946 г., после чего вышел в отставку и поселился в Шарлоттесвиле. Там Дэвиссон занимал пост профессора Виргинского университета до самой смерти в 1958 г.

Самое важное открытие Дэвиссона — первое прямое экспериментальное доказательство волновой природы электрона. Особенность его подхода к решению этой задачи состояла в том, что в опытах с электронами он попытался скопировать явления, происходящие при отражении светового пучка от твердой поверхности, разграфленной частыми параллельными линиями, или при пропускании света через разграфленную стеклянную пластинку. Оба явления одинаковы в своей сути. Свет с помощью подобных решеток, как и с помощью призм, разделяется на составляющие цвета. Для электронов аналогом цвета оказалась скорость. Решетка же в опыте Дэвиссона была довольно сложной и состояла из перекрещивающихся линий атомов на поверхности никелевого кристалла. Разграфленная поверхность в оптике называется дифракционной решеткой, и поэтому опыт Дэвиссона называют дифракцией электронов.

Изучающему научный метод должно быть интересно,

что открытие Дэвиссона не было с самого начала попыткой проверить теорию. В этом смысле его опыты отличаются от моих, к которым меня побудили идеи герцога Луи де Бройля. Дэвиссон интересовался поведением рассеянных электронов еще до появления теории де Бройля. Опыты Дэвиссона дали поразительный результат, и пришлось обратиться к теории, чтобы объяснить его.

Когда кончилась война, Дэвиссон занялся более тщательным изучением физики термоионных трубок, с которыми он работал в военное время. В выборе темы исследований Дэвиссона не ограничивали, признавая его выдающиеся способности. В 1921 г. Дэвиссон работал с так называемыми вторичными электронами, возникающими после того, как электронный пучок попадает на твердую поверхность. Вторичным электронам было посвящено уже довольно много работ, правда, невысокого качества. Исследования затруднялись тем, что эффект сильно зависел от состояния поверхности: была ли поверхность действительно чистой (что случается очень редко, так как трудно удалить слой газа, прилипающие к поверхности даже в хорошем вакууме) или загрязненной. Когда Дэвиссон и Кунсман, помогавший ему, стали работать с никелем в необычно благоприятных вакуумных условиях, они заметили, что большое число вторичных электронов отлетает от поверхности в нескольких строго определенных направлениях. Эти направления они назвали пиками и сделали попытку объяснить их существование.

Объяснение, однако, было не слишком убедительным. В 1925 г., проработав с несколькими другими металлами, Дэвиссон возвратился к никелю. До сих пор опыты проводились с обычным никелем, который состоит из множества очень мелких кристалликов, но однажды во время опыта лопнула ловушка с жидким воздухом и никелевый образец окислился, а когда поверхность восстановили нагреванием, образец превратился в агрегат из нескольких крупных кристаллов. Картина рассеяния электронов полностью изменилась, и пики сделались еще заметнее. Пришлось отбросить старые теории и выдвинуть новую, основанную на представлении о прозрачных направлениях в кристалле. Однако долго новая теория тоже не продержалась. Отчасти скорому ее концу способствовала поездка Дэвиссона в Оксфорд на собрание

Британской ассоциации, где он пришел к убеждению, что его результаты связаны с новой теорией де Бройля. Улучшив технику, Дэвиссон стал работать с мишенью, где один кристалл занимал всю поверхность, и в январе 1927 г. вместе со своим сотрудником Джермером получил результаты, отвечающие теории де Бройля. Добиться этого было крайне трудно, так как, хотя эффект от поверхностного слоя атомов преобладает, три-четыре нижележащих слоя тоже вносят свой вклад, а в то время влияние этих слоев было невозможно точно оценить теоретически. Некоторые результаты поэтому было трудно интерпретировать, но подавляющая их масса прекрасно согласовывалась с теорией де Бройля, и они были приняты как подтверждение этой теории.

Экспериментальное искусство праздновало подлинный триумф. Ведь относительно медленные электроны, которые применили Дэвиссон и Джермер (с энергией около 150 электрон-вольт), очень неудобны в работе. Чтобы результаты имели какую-то ценность, вакуум должен быть необыкновенно хорошим. Даже сейчас, после огромных успехов вакуумной техники, это был бы очень трудный эксперимент. В те дни это было настоящей победой. Об экспериментальном мастерстве Дэвиссона говорит то, что лишь двум или трем другим исследователям удалось успешно повторить опыт с медленными электронами, хотя недавно Джермер улучшил технику и теперь эксперимент гораздо легче. В отличие от дэвиссоновского, метод с быстрыми электронами (с энергией в 30 000 электрон-вольт или более), которым пользовался я, нашел много приложений, потому что он относительно прост.

В характере Дэвиссона были некоторые черты, отвечавшие общепринятому представлению об ученом, например застенчивость, но в действительности он был очень далек от традиционного типа ученого. Дэвиссон обладал исключительным обаянием. Я не встречал людей, которые не любили бы Дэвиссона, их просто не существовало. Однако он не производил сильного впечатления с первого взгляда. Он был хрупкого сложения, с нерешительной манерой говорить и выглядел от этого застенчивее, чем был на самом деле. В лаборатории он был прост, доступен и всегда был готов помочь тем, кто

обращался к нему за советом. Хотя Дэвиссон так долго работал в промышленной лаборатории, он был сугубым индивидуалистом в исследованиях, сотрудничая самое большое с одним или двумя людьми, и очень многое делал собственными руками. Тем не менее влияние Дэвиссона простиралось далеко и охватывало многих людей, в том числе многих выдающихся современных американских физиков. Дэвиссон обладал восхитительным чувством юмора, и его безобидные шутки были иногда совершенно неожиданными.

## НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ

Надеюсь, я сумел показать, что открытия, по крайней мере в физике, во многом зависят от удачи. Но великая сила науки в том, что удача бьет в набат, или, пользуясь другой метафорой, успех отпирает двери в комнату, о которой и не подозревали раньше. Открытие, экспериментальное или теоретическое, ведет к новым опытам, а часто к новой технике. Вскоре плодами успеха начинают пользоваться другие отрасли науки и техники, и через несколько лет мучительно трудный и изящный результат, все еще ненадежный даже после многих усилий самых квалифицированных специалистов, применяется в устройствах, которыми пользуются домашние хозяйки. Я восхищен искусством инженеров, которые делают физические эксперименты надежными. Домашний телевизор — это чудо, но не потому, что раньше подобный прибор можно было заставить работать лишь несколько минут после многих недель упорного труда тех, кто его изобрел, а скорее из-за того, что при самом минимальном уходе он работает столь надежно. Вот где, наконец, проявляется единство природы!

Связь научного открытия с повседневностью, по-моему, важна не только для обычного человека, но и для ученого. Чтобы мы ни думали о социальном влиянии телевидения, никто не сомневается в том, что оно существует; то же самое справедливо и для десятков других нововведений. Никакая предшествующая философия науки не имела столь тесной связи с жизнью и не переплеталась столь неразрывно со здравым смыслом. Какие бы у вас ни были взгляды на мир, вы должны признавать и телевидение, и все остальное, что пришло в наши дни. Это означает в некотором смысле, что наши пред-

ставления о мире верны. Но это не доказывает, что они единственно верные. Вероятно, то же самое, или почти то же самое, можно выразить несколькими весьма разными способами. Физика дает тому примеры. Однако существующий круг идей справедлив в чрезвычайно широких пределах. Идеи довольно просты, и даже если понятия, на которых они основываются, лишь частично соответствуют действительности, в определенных границах идеи эти скорее всего останутся неизменными, как было, например, с представлением о световых лучах. Современная теория электрона наверняка не полна; существуют явления, которые она не способна предсказать. Сейчас неизвестно, какие изменения необходимы в электронной теории. Эти изменения могут быть глубокими и серьезными, а могут и не быть таковыми, но даже если они будут столь же глубоки, как переход от ньютоновской теории к теории относительности, мне кажется, что практика (или учебники) электроники вряд ли изменится больше, чем изменилась конструкция часов после открытия Эйнштейна.

Пирамида физической науки надежно покоится на широком фундаменте из огромной совокупности фактов, которые удалось объяснить на языке определенных понятий. Часть этих понятий только приблизительно правильна и представляет собой лишь частный случай других более фундаментальных понятий. Но и те и другие могут изменяться со временем, и это делает физику особенно привлекательной и интересной.

Быть может, когда-нибудь любые понятия окажутся лишь частными проявлениями одного всеобъемлющего принципа, но я сомневаюсь в этом. То, что написал мой отец примерно тридцать лет назад, до сих пор остается в силе.

«Великое открытие — это не конечная станция, а скорее дорога, ведущая в области, до сих пор неизвестные. Мы взбираемся на вершину пика, и нам открывается другая вершина, еще более высокая, чем мы когда-либо видели до сих пор, и так продолжается дальше. Вклад, сделанный в понимание физики одним поколением, не становится меньшим или менее глубоким или менее революционным по мере того, как одно поколение сменяет другое. Сумма нашего знания не похожа на то, что мате-

матики называют сходящимися рядами... где изучение нескольких членов позволяет понять общие свойства целого. Физика соответствует скорее другому типу рядов, рядам расходящимся, где добавляемые члены не становятся все меньше и меньше и где нельзя считать, что выводы, к которым мы пришли при изучении нескольких известных членов, совпадут с теми, которые мы сделаем, когда наши знания будут больше».

# Словарь

- Альфа-лучи.** Наименее проникающий из трех видов излучений — альфа, бета и гамма, порождаемых радиоактивными веществами. Так как альфа-лучи распространяются в воздухе обычной плотности на расстояние всего лишь в несколько сантиметров, их трудно отклонить электрическими и магнитными полями. Альфа-лучи тождественны ядрам атомов гелия, движущимся с большой скоростью.
- Атом.** Наименьшая частичка вещества, сохраняющая все отличительные признаки химического элемента. Цепочка из 100 миллионов атомов вытянется в длину на один дюйм.
- Атомный вес.** Вес атома в единицах, которые позволяют считать вес наиболее распространенного изотопа углерода равным точно 12. До недавнего времени стандартом служил кислород, вес которого принимали равным 16. Разница между этими двумя единицами очень невелика. Химический атомный вес элемента представляет собой средний вес изотопов в нормальной естественной смеси.
- Атомный номер.** Если расположить элементы в ряд по порядку возрастания атомных весов (с некоторыми исключениями), то место элемента в такой последовательности называется атомным номером элемента. Так, первый элемент ряда — водород — имеет атомный номер 1, а последний из природных элементов в ряду — уран — номер 92. Мосли показал, что атомный номер равен электрическому заряду ядра в единицах электронного заряда.
- Барионы.** Группа субатомных частиц, самыми легкими из которых являются протоны и нейтроны. Остальные — это нестабильные частицы, рождающиеся в атмосфере под действием высокоактивных космических лучей.
- Белки.** Класс сложных органических веществ, содержащих длинные цепи углеродных и азотных атомов. Известно, что белки содержат около 10 000 атомов в молекуле.
- Бета-лучи.** Быстрые электроны, испускаемые некоторыми естественными или искусственными радиоактивными атомами при превращении их ядер.
- Вильсона камера.** Прибор, изобретенный Ч.Т.Р. Вильсоном для демонстрации пути быстрой частицы, движущейся в воздухе благодаря конденсации капелек влаги вокруг заряженных атомов и молекул, рождающихся в воздухе камеры после пролета этой частицы.

- Волны.** Эффекты, обычно (но не обязательно) связанные с движением, непрерывно распространяющимся от точки к точке.
- Гамма-лучи.** Наиболее проникающий вид излучения радиоактивных веществ. По своей природе гамма-лучи тождественны рентгеновским лучам, но возникают главным образом в ядрах атомов.
- Гелий.** Легкий газ, присутствующий в некоторых минералах. Химически инертен.
- Гипербола.** Кривая, описываемая какой-либо кометой, которая проходит около Солнца и больше не возвращается.
- Гипотеза Прута.** Прут предположил, что все атомы построены из атомов водорода и их веса являются точными кратными веса водорода.
- Дифракционная решетка.** Устройство для разложения света на составляющие цвета, действующее подобно призме. В простейшем виде это стеклянная пластинка, на одной стороне которой четко и строго на одинаковом расстоянии нанесены параллельные линии, обычно около 10 000 линий на один дюйм.
- Длина волны.** Расстояние, на котором волновое движение повторяется. В волнах на воде длина волны равна расстоянию от гребня до гребня или от впадины до впадины.
- Изотоп.** Разновидность атома. Атомы одного элемента имеют одинаковый заряд ядра, но их вес может различаться на целые кратные атомной единицы. Все атомы одного веса считают принадлежащими одному изотопу.
- Индукционная катушка.** Устройство, сейчас почти вышедшее из употребления, применявшееся для преобразования постоянного тока низкого напряжения в переменный ток высокого напряжения.
- Инерция.** Другое наименование массы (см. Масса).
- Интерференционные полосы.** Чередующиеся темные и светлые полосы, которые бывают прямыми или искривленными и возникают при сложении двух пучков света, вышедших первоначально из одного источника.
- Ионы.** Заряженные частицы, в результате движения которых возникает ток. Ионы часто имеют размеры атомов.
- Катод.** См. электрод.
- Катодные лучи.** Представляют собой электроны, испускаемые отрицательным электродом, или катодом, когда в газе соответствующей плотности, обычно в тысячную долю атмосферной или меньшей, происходит электрический разряд.
- Квантовая теория.** Теория, утверждающая, что обмен энергией происходит дискретными порциями, или квантами, пропорциональными частоте, связанной с данным процессом. Теория возникла в нескольких формах, из которых общепринятой стала квантовая механика.

**Кинетическая теория.** Теория, рассматривающая свойства материи, в особенности газов, с точки зрения движения атомов и молекул. В газах движение молекул беспорядочно и все время прерывается столкновениями.

**Кинетическая энергия.** Энергия, обусловленная движением.

**Количество движения.** Количество движения тела равно произведению его массы на скорость.

**Конденсатор (паровой).** Сосуд, в котором пар, выбрасываемый машиной, охлаждается и превращается в воду.

**Конденсатор (электрический).** Сейчас часто называют «емкостью». Устройство для хранения значительного электрического заряда при умеренном потенциале (напряжении). Часто изготовляется из тонких листов металла, проложенных листками изолирующего материала.

**Коэффициент полезного действия.** В механических устройствах, таких, как домкрат, коэффициент полезного действия равен отношению полученной полезной работы к затраченной. В тепловых машинах коэффициент полезного действия равен отношению полученной полезной работы к механическому эквиваленту затраченного тепла.

**Кристалл.** Твердое тело, в котором атомы располагаются регулярно повторяющимися по всему кристаллу группами, подобно периодическому рисунку на обоях.

**Лептоны.** Класс частиц, недавно введенный в рассмотрение; к наиболее известным представителям лептонов относятся электроны. Другими типами частиц, входящими в этот класс, являются нейтрино и мю-мезоны. Все лептоны гораздо легче протонов или других частиц барионного класса.

**Луч световой.** Узкий пучок света, который можно приближенно считать математической линией.

**Магнитный полюс.** Часть магнита, где будто бы концентрируется притягивающая сила. Возможно более точное определение в математических терминах, но вряд ли понятие магнитного полюса можно отнести к числу фундаментальных.

**Масса.** Свойство тела, обуславливающее сопротивление переходу из состояния покоя в состояние движения и, наоборот, если тело уже движется, переходу в состояние покоя.

**Масса покоя.** Масса предмета, находящегося в состоянии покоя или медленного движения. Если предмет движется со скоростью, сравнимой со скоростью света, его масса становится больше массы покоя.

**Мезоны.** Нестабильные частицы, открытые в космических лучах; обладают массой, промежуточной между массами электронов и протонов. Сейчас мезоны можно получать в атомных ускорителях, таких, как ускоритель в Брукхейвене, США и в международной лаборатории близ Женевы.

**Молекула.** Группа атомов, удерживаемых химическими силами.

**Нейтрино.** Частица с нулевой массой покоя, электрически нейтральная. Рождалась вместе с бета-частицами, а также при других ядерных превращениях. Вначале существование нейтрино постулировали из теоретических соображений. Недавно вблизи атомного реактора обнаружены эффекты, вызываемые нейтрино.

**Нейтрон.** Нейтральная частица с массой, несколько большей массы протона. В стабильном состоянии входит в большую часть ядер. Свободные нейтроны, являющиеся рабочим материалом в ядерных реакторах, в течение примерно пятнадцати минут превращаются в протоны и электроны.

**Неевклидово пространство.** Пространство, в котором не верна теорема Пифагора.

**Органическая химия.** Химия соединений, содержащих углерод и зачастую, хотя и не во всех случаях, связанных с живой материей.

**Относительности теория.** См. Теория относительности.

**Поле** (электрическое, магнитное, гравитационное). Область пространства, в которой обнаруживается рассматриваемый эффект. В каждой точке такой области можно выделить направление действия эффекта, например, поле тяготения Земли направлено вертикально вниз.

**Положительные лучи.** Когда ток проходит через газ очень низкой плотности, за катодом иногда наблюдаются особые лучи. Чтобы наблюдать эти лучи, в катоду проделывают отверстие или в него вставляют трубку, и лучи выходят из этой трубки. Большую часть положительных лучей составляют атомы и молекулы, потерявшие один или более электронов и поэтому заряженные положительно.

**Полупроводники.** Твердые тела, заметно проводящие электричество, но в гораздо меньшей степени, чем металлы. Во многих случаях их проводимость крайне резко зависит от небольших количеств примесей. Коммерчески важными полупроводниками являются германий и кремний (см. Транзисторы).

**Протон.** Одна из основных элементарных частиц физики. Легко получается при ионизации водородных атомов, то есть при удалении одного электрона, который есть в таком атоме, в результате чего остается один протон. Считается, что остальные ядра построены из протонов и нейтронов. Протон несет положительный электрический заряд.

**Работа.** В физике и технике это слово используется в специальном смысле: под работой понимают произведение силы на расстояние, пройденное точкой ее приложения. В этом смысле человек производит работу, когда поднимает груз, но не в том случае, если просто держит его или несет по ровной дороге.

**Радияция.** Строго говоря, это любой эффект, распространяющийся от источника примерно по прямым линиям. Включает альфа-

лучи, катодные лучи и другие типы излучений. Иногда термины ограничивают только теми излучениями, которые, подобно свету, являются электромагнитными колебаниями и распространяются с фиксированной скоростью, скоростью света. Тогда радиация — это только инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи.

**Радиоактивность.** Свойство некоторых нестабильных ядер, природных и искусственных. Радиоактивное ядро самопроизвольно распадается, испуская альфа- или бета-лучи. Часто распад сопровождается также испусканием гамма-лучей.

**Радиоактивные отложения.** Когда радиоактивное вещество, такое, как радий, находится вблизи твердой поверхности, некоторые из атомов, возникающих при радиоактивном распаде, попадают на поверхность и оседают на ней. Эти дочерние атомы часто бывают сами радиоактивными и образуют радиоактивные отложения.

**Рентгеновские лучи.** Электромагнитное излучение, подобное обычному свету с тем лишь исключением, что длина волны рентгеновских лучей примерно в тысячу раз меньше, чем у света.

**Сверхновые звезды.** Очень яркие новые звезды, редко появляющиеся на небе, один раз примерно в двести-триста лет, называются сверхновыми. Считается, что они возникают в результате бурного взрыва звезды на некоторых стадиях звездной эволюции.

**Сидерическое время.** Время, измеряемое по видимому движению звезд. В году сидерических дней на один больше, чем солнечных.

**Сила.** То, что изменяет или стремится изменить состояние покоя или равномерного движения некоторого тела.

**Система отсчета.** Совокупность линий или плоскостей (часто воображаемых), по отношению к которым можно определить расположение предметов. Примерами систем отсчета являются параллели и меридианы на земном шаре или пол и две стены комнаты, сходящиеся в одном углу.

**Система отсчета инерциальная.** Система отсчета, в которой выполняются ньютоновские законы движения, но выполняются, строго говоря, лишь для больших объектов и умеренных скоростей.

**Спин.** Специальный термин в квантовой механике. Хотя, например, спин электрона и вызывает некоторые эффекты, напоминающие эффекты, характерные для вращающегося волчка, аналогия не простирается слишком далеко. Спин, в современном понимании этого слова, может быть определен только на математическом языке.

**Температура.** Степень нагретости тела.

**Тензорное исчисление.** Ветвь математики, используемая в общей теории относительности.

**Теорема Пифагора.** В прямоугольном треугольнике квадрат гипотенузы равен сумме квадратов двух других сторон.

**Теория относительности. Специальная.** Утверждает, что фундаментальные законы природы должны иметь одинаковую математическую форму для всех систем отсчета, движущихся относительно друг друга по прямым линиям с постоянной скоростью. **Общая.** Утверждает, что фундаментальные законы природы должны иметь одинаковую математическую форму для любых систем отсчета.

**Термодинамика.** Математическая теория превращений различных форм энергии, в том числе тепловой.

**Транзисторы.** Устройства, в которых для усиления действия электрических импульсов используются полупроводники.

**Тяготение.** По теории Ньютона, это сила взаимного притяжения между всеми телами Вселенной, взятыми попарно. Понятие тяготения используется также в любой другой теории, которая рассматривает эффекты того же типа, что и ньютоновская теория.

**Фотоны.** В ряде случаев свет ведет себя подобно потоку дискретных частиц. Такие частицы называют фотонами. Подобно электронам, фотоны являются частицами в квантовом смысле, то есть совмещают свойства обычных частиц с волновыми свойствами.

**Фотоэлектрический эффект.** Если ультрафиолетовый свет или рентгеновские лучи падают на некоторые вещества, то сейчас же начинается испускание электронов.

**Частица.** Маленькое тело. Как было показано, очень маленькие частицы ведут себя в полном противоречии с повседневным опытом.

**Частота.** Когда движение или какое-либо другое событие происходит через правильные интервалы, то число повторений за секунду называется частотой.

**Электрический заряд.** Тела считаются электрически заряженными, если они оказывают друг на друга воздействия, которые подчиняются законам электричества. Один из этих законов утверждает, что если тела малы, то сила воздействия их друг на друга обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Заряды бывают двух типов, причем одинаковые заряды отталкиваются, а разных типов притягиваются. Один тип зарядов называется положительным, а другой отрицательным. Равные положительные и отрицательные заряды нейтрализуют друг друга, но какой из зарядов положителен, а какой отрицателен — дело произвольного соглашения (деление зарядов на положительные и отрицательные было введено Бенджамином Франклином). Электроны отрицательны, а протоны положительны. Равное число электронов и протонов образует нормальное нейтральное вещество.

- Электрод, катод, анод.** Электроды представляют собой металлические проводники, через которые электрический ток «втекает» в жидкость или газ и «вытекает» из них. Катод является отрицательным электродом, анод — положительным. Условное направление тока в жидкости или газе принимается от анода к катоду. Так как электроны отрицательны, то на любом участке цепи, где они являются носителями тока, электроны движутся от катода к аноду.
- Электролиз.** Когда электрический ток проходит через неметаллическое жидкое химическое вещество, то происходит разложение этого вещества и продукты разложения выделяются на электродах (см. выше).
- Электрон.** Самая легкая из известных частиц, обладающих массой покоя. Электроны проявляют характерное смешанное поведение квантовых частиц, которые иногда подобны обыкновенным маленьким телам, а иногда волнам. Обычные электроны несут отрицательный заряд. Однако очень короткие промежутки времени могут существовать положительные электроны.
- Эллипс.** Кривая, для которой сумма расстояний от любой точки на ней до двух фиксированных точек, называемых фокусами, является постоянной. Эллипс можно нарисовать, привязав нитку к двум булавкам, изображающим фокусы эллипса.
- Эманация.** Газ, испускаемый некоторыми радиоактивными веществами, одним из которых является радий. Сами эманации радиоактивны и образуют радиоактивные отложения на поверхностях, на которые они попадают.
- Энергия.** Одна из наиболее фундаментальных величин в физике. Может принимать форму кинетической, гравитационной, тепловой и других видов энергии и передаваться от одного тела к другому, но общее количество энергии в любой изолированной области остается постоянным. Эйнштейн показал, что сама масса является формой энергии. Источником ядерной энергии является масса ядер, участвующих в процессах деления.
- Эфир.** Всеобъемлющая среда, которая, как раньше предполагали, переносит световые волны.
- Ядро.** Небольшая, но массивная внутренняя сердцевина атома, открытая Резерфордом. Несет положительный электрический заряд.

# Книга о вдохновении научного поиска

Вы прочитали книгу, написанную видным физиком нашего времени. Он рассказывает нам об основных понятиях физики, на примерах и эпизодах развития физики знакомит нас с некоторыми ее творцами. Как всякое изложение истории, основанное на личном опыте, книга несет на себе отпечаток личности автора. Автор, рожденный и воспитанный в самом центре английской физики — отец его был директором Кавендишской лаборатории в годы ее основания и расцвета, — точно передает стиль и образ мышления того времени — времени, когда создавалась значительная часть современных представлений в физике. Он живо описывает среду, в которой работали и воспитывались ученые. Иногда рассказ выходит за пределы Англии, и мы знакомимся с физиками других стран, с отделами физики, написанными вне Англии.

Мы, разумеется, должны со вниманием отнестись к замыслу книги, который, как это следует из слов Томсона, сводится всего лишь к попытке «рассказать о том, как думает ученый, особенно в процессе исследования», то есть к попытке рассказать о научном мышлении. Но мы должны помнить при этом, что точка зрения автора на некоторые вопросы и проблемы, затронутые в книге, глубоко личная, хотя в то же время достаточно традиционная. Ее издавна разделяют многие естествоиспытатели, привыкшие доверять только знанию, добытому в лаборатории путем эксперимента и интеллектуального поиска.

В иных случаях мы вынуждены считаться также со стремлением автора сделать книгу доступной даже для тех, кто не знает физики совсем. Трудность этого очевидна, как очевидны неизбежные потери и упрощения. Нелегко объяснить современные физические понятия, отражающие физические явления, недоступные наглядному представлению. Тем более достойны уважения и одобрения усилия ученого, сумевшего — пусть и с потерями — преодолеть эту трудность.

История науки, научного поиска привлекательна для многих, история физики — особенно. Никакая другая часть естественных наук так глубоко не потрясла современное общество,

как физика. Примеры, доказывающие это, общеизвестны, и приводить их нет смысла. Значение физики следует видеть также и в том, что именно ее понятия лежат в основе всего современного естествознания — от астрономии до биологии включительно.

Оговаривая выбор фактов и имен исследователей для воплощения замысла, Томсон предупреждает, что он ни в коем случае не стремился к полноте освещения современной физики, к созданию учебника. Тем не менее ему удалось охватить почти столетие в развитии физики, и что более важно — столетие, которое мы с полным правом можем назвать эпохой. И как всякая эпоха, она имеет начало и конец. Действительно, не нужно обладать большой прозорливостью, чтобы понять: мы присутствуем при новой смене этапов в развитии физики. Методы физики ныне крайне усложнились. Теперь успех исследовательского поиска зависит не только от изобретательности ученого, но в значительной степени от технических возможностей и бюджетов национальных и международных научных центров. Важное значение приобрела теоретическая физика, стремящаяся обобщить огромное количество накопленных фактов и создать общую теорию строения и превращения материи.

Современному исследователю приходится оперировать колоссальным объемом информации, которую он получает сам и его многочисленные коллеги от сложнейшей и уникальнейшей аппаратуры. Вместе с тем с неминуемой усложненностью опыта уменьшается не только вероятность, но и драматизм каждого нового открытия. Ушел в прошлое «золотой век», когда минимальные затраты и средства вели к результатам, до сих пор пленяющим воображение.

Изменилось и отношение между прикладной и «чистой» наукой. Граница между ними сместилась и перепуталась так, что кажется ее теперь нет вообще. В физике твердого тела, например, в оптике, где теперь реализуется глубокое понимание физических явлений, достигнутое квантовой теорией, многие успехи иногда справедливо называют научным изобретательством.

Явления и методы, найденные и созданные в поисках «чистого» знания, давно уже стали служить практическим часто далеко не «чистым» целям. А это ставит перед учеными не существовавшие ранее моральные проблемы. Конечно, наука никогда не была свободна от каких бы то ни было моральных

и нравственных проблем. Добросовестность и честность ученого, его умение поступиться личным престижем в угоду новой истине, беспристрастность в оценке результатов своего труда и труда своих коллег и многое другое — все это имеет сейчас такое же значение для научного прогресса, что и раньше. Но если раньше нравственные проблемы ограничивались в основном сферой чисто научных интересов, то теперь они затрагивают и сферу общественных интересов. На плечи ученого легла новая ответственность — ответственность перед обществом, причем не только за результаты своего труда, но и за направление научного поиска.

Никогда раньше наука не привлекала такого внимания всего общества, никогда раньше так много не ждали от науки, как сейчас.

Наука стала важнейшей составной частью нашей цивилизации и культуры.

Некогда бытовал образ ученого, живущего в башне из слоновой кости. Действительно, это было удобное убежище для интеллектуального отшельника, впечатляющий храм для жрецов. Но таких башен давно уже нет, их нет даже в воображении желающих их иметь. Но еще существуют и, видимо, будут существовать острова знаний, населенные специалистами, говорящими только на языке своей науки. Связь между людьми науки и другими людьми, а также между учеными разных специальностей осуществляет научная популяризация, значение которой именно сейчас необычайно велико.

Ценность книги Томсона именно в этом.

Автора книги можно рассматривать как писателя, если хотите — художника. Мы видим, как в частности своего жизненного опыта, в штрихах характеров ученых, в деталях их работ и открытий он находит то, что интересно должно быть многим читателям, пусть даже далеким от науки. В точных, но скупых и, можно сказать, застенчивых характеристиках ученых открывается перед нами большое моральное содержание. Наука воспитывает в человеке правдивость, хотя бы профессиональную, ибо природу обмануть нельзя. В науке любое утверждение, опыт или наблюдение могут быть проверены другими.

Книга вводит нас в атмосферу научного поиска, показывает тесную связь между научным методом и личностью ученого, которая, бесспорно, есть сейчас, несмотря на значительные изменения, происшедшие в науке.

С. П. Капица

## ОГЛАВЛЕНИЕ

От редакции	3
<b>Предисловие</b>	<b>5</b>
Глава 1. <b>Введение. К чему стремится наука</b>	7
Глава 2. <b>Научный метод и некоторые понятия</b> Джеймс Клерк Максвелл	14 27
Глава 3. <b>Из чего все сделано? Атомы</b> Джозеф Джон Томсон Ф. У. Астон Р. А. Милликен	32 46 50 55
Глава 4. <b>Из чего все сделано? Ядра атомов</b> Эрнест Резерфорд	60 67
Глава 5. <b>Точка зрения — понятия пространства и времени</b> Г. А. Лоренц Альберт Эйнштейн	71 92 93
Глава 6. <b>Масса, энергия, материя</b>	96
Глава 7. <b>Как были сделаны некоторые открытия</b> Джон Уильям Стретт, третий барон Релей	110 122
Глава 8. <b>Тактика эксперимента</b> Ч. Т. Р. Вильсон	124 129
Глава 9. <b>Странное поведение очень маленького</b> Макс Планк К. Д. Дэвиссон	131 153 158
Глава 10. <b>Некоторые выводы</b>	162
Словарь	165
<b>С. П. Капица. Книга о вдохновении научного поиска</b>	<b>172</b>

Д. ТОМСОН

## ДУХ НАУКИ

Редактор Н. ЯСНОПОЛЬСКИЙ

Оформление В. БРОДСКОГО

Худож. редактор Т. ДОБРОВОЛЬНОВА

Техн. редактор Л. МУРАВЬЕВА

Корректор Г. ХРАПОВА

Сдано в набор 24/X-1969 г.

Подписано к печати 3/VI-1970 г.

Формат бумаги  $84 \times 108\frac{1}{32}$  Бумага типографская № 2. Бум. л. 2,75.

Печ. л. 5,5. Условн. печ. л. 9,24. Уч.-изд. л. 8,86.

Тираж 76000 экз. Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Заказ 2676. Цена 42 коп.

Саратов. Типография издательства «Коммунист». Пр. Ленина, 94.