

1948K
1832

3
432

6995
#69

1948K
1832
Л 22

Проф. Е. ЛЕХЕР

ФИЗИЧЕСКИЕ КАРТИНЫ МИРА

12254

с 29 рисунками



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ
1923

1992 г.

1978 г.

Прод. Е. ЛЕХЕРА

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА.

Настоящее издание книги венского физика Лехера печатается по последнему русскому изданию 1913 года (изд. „Природа“) с незначительными против последнего изменениями. Книга, освещающая „Физические картины мира“ с энергетической точки зрения, призвана, пополняя серию научно-популярных книг, дать широкому кругу читателей возможность ознакомиться с монистическим взглядом естествознания на строение мира.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	СТР.
Сохранение массы и энергии	1
Энергия без весомой массы	11
Атомистика	18
О теории вероятности	22
Кинетическая теория газов	24
Молекулярные величины	30
Термодинамика	39
Значение теории вероятности в физике и других обла- стях знания	45
Катодное излучение. Электрон	48
Электрон в электропроводности	55
Электрон в электродинамике	66
Электрон в оптике	69
Радиоактивность	72
Кажущаяся масса	83
Принцип относительности	85
Заключение	95

Сохранение массы и энергии.

Тяготение и инерция. Массу можно определить двояким образом.

Массой называется все то, что:

- 1) притягивается землей, и
- 2) что обладает инерцией.

1. В последней половине XVII столетия Ньютон показал, что все массы обладают взаимным притяжением. Это притяжение, называемое силой тяготения, действует между землей, луной, солнцем и всеми звездами точно так же, как между двумя любыми земными телами. Величину этой силы можно вычислить из того факта, что луна в течение тысячелетий совершает свой путь вокруг земли, а не падает на нее. Измерено также притяжение, существующее между двумя маленькими свинцовыми или ртутными шариками.

Можно сказать, что масса—это все, обладающее притяжением. Можно также измерить массу тем притяжением, которое она производит.

2. Покоящееся тело вечно остается в покое; движущееся тело вечно движется по прямой линии с одной и той же скоростью. Это свойство массы сохранять свое состояние покоя или движения называется инерцией или способностью сопротивления. Изменяется это состояние, т. е. покоящееся тело приходит в движение, или, наоборот, движущееся тело останавливается, только в том случае, если существует какая-нибудь причина, которую мы называем силой. Все то, что, противодействуя инерции, изменяет состояние движения тела, называется силой. Инерция у различных тел бывает различной. Труднее бросить большой камень, чем маленький. Этому нас учит опыт, и можно, таким образом, полученной из опыта величиной инерции измерить массу.

Таким образом, массу можно определить двояким способом: 1) по ее тяжести, и 2) по ее инерции. Идентичны ли эти оба определения? Или же, другими словами, будет ли более тяжелое тело обладать также большей инерцией? Это не является необходимым выводом из понятий тяжести и инерции. Так как мы не знаем ни того, что такое тяжесть, ни того, что такое инерция, то наша фантазия могла бы представить себе тела одинаково тяжелые, но обладающие различной инерцией. Бессель, напр., хотел сделать опыт с маятником и кусками метеоритов, для того, чтобы исследовать этот вопрос для не земных тел; еще недавно не считался безнадлежащим во многих отношениях аналогичный опыт с радием. Это новейшие соображения, к которым мы еще обратимся.

До сих пор в „старой“ механике держится взгляд, добытый опытным путем, что определение массы из ее тяжести должно быть идентичным с определением ее из инерции. Более тяжелое тело является в то же время более инертным. Говоря о массе, мы предполагаем в „старой“ механике именно эту массу.

Сохранение массы. Если рассматривать различные массы, находящиеся в замкнутой системе, то сумма их остается постоянной. Замкнутой системой называется такая, через границы которой не могут попасть внутрь ее массы, находящиеся извне, и наружу—массы, находящиеся внутри ее. Такую систему представляет, напр., хорошо закупоренная стеклянная бутылка. Что находится внутри нее, там и остается. Может быть, это вызовет удивление, что такие, сами собой разумеющиеся вещи возводятся в закон и что можно говорить о необходимости обоснования их при помощи опыта. Но нужно всегда помнить, что естествоиспытатель должен относиться с большим недоверием к словам „само собой разумеется“. Можно было бы наполнить целые томы историческими сопоставлениями всего того, что в свое время считалось само собой разумеющимся, а в настоящее время с полным правом отрицается; это составило бы даже большую часть истории каждой науки. Закон сохранения массы также потребовал продолжительного времени, пока не был разъяснен Лавуазье в конце XVIII столетия, хотя уже греческие фи-

лософы говорили о невозможности возникновения и уничтожения массы. Но здесь дело идет не о проблеме, разрешаемой теоретико-познавательным путем. Философия здесь, как и большей частью в естественных науках, не является компетентной.

При определении массы тяжестью и инерцией, можно себе представить, что определенные физические или химические процессы могли бы изменить одно или оба эти свойства; а тогда, сообразно с нашим определением, могла бы измениться и масса.

Совсем недавно некоторые известные исследователи считали, что открыли исключения из этого закона, найдя, как они думали, изменение веса массы в совершенно запаянной стеклянной трубке при наступлении определенных химических процессов. Ландольт не считал излишним,—и был в этом прав,—доказать ошибочность таких наблюдений при помощи опытов, продолжавшихся целые годы. Точно так же было проверено опытным путем, что инерция массы не изменяется при химических реакциях.

То, что имеет значение для замкнутой системы маленькой стеклянной колбы, переносится на весь мир. Никогда в ограниченной системе масса не может ни вновь образоваться ни исчезнуть.

Механическое мировоззрение. Тяжесть и инерция какого-нибудь физического тела даны, следовательно, в массе этого тела; но тело обладает еще многими другими свойствами,—теплотой, цветом, способностью электризоваться или намагничиваться и т. д. Наука все эти свойства „объяснила“, т. е. свела к нескольким, самым по себе понятным процессам. Слова „сами по себе понятные“ понимаются здесь в смысле венского философа Маха, как „такие, с какими свыклаась наша мысль“. Каждое объяснение должно, в конце концов, свестись к той вещи, объяснять которую излишне, которая кажется объясняющему сама собой понятной. Иначе объяснению не было бы конца. Будет ли „само собой понятное“—абсолютной истиной, этого никоим образом доказать нельзя.

Вместе с тем каждое объяснение представляет картину, относительно которой мы никогда не можем сказать с опре-

деленностью, соответствует ли она точно действительности вне нас.

Уже в том, что каждый из нас считает само собой понятным, т. е. в исходном пункте всякого объяснения всего существующего, лежит широкое произвольное допущение, и, поэтому, в высшей степени важно всегда об этом помнить.

Произвольной точкой зрения, с которой естествознание конца прошлого столетия пыталось все объяснить, было механическое мировоззрение. Все пытались свести к движениям неизменяемых, однородных точек, обладающих массой, и к тем законам, которые были установлены для этих движений прежней механикой. Долгое время это было единственным возможным основанием каждого исследования. Еще в 1894 году Герц сказал: „все физики согласны в том, что задачей физики, как науки, является сведение явлений природы к простым законам механики“.

Такая антропоморфная точка зрения, была, естественным образом, первой исходной точкой стремления человека к уразумению мира.

Антропоморфизм в науке. Под антропоморфизмом в собственном смысле слова подразумевается представление вещей, не воспринимаемых внешними чувствами, в виде человека. Наши внешние чувства представляют единственную входную дверь нашего познания. Поэтому нам прежде всего приходится мыслить образами, какие дает нам наше непосредственное чувственное восприятие. Даже самая пылкая фантазия не может выйти из этих рамок. Мы, люди, стремимся все очеловечить. Такой антропоморфизм господствует во всех человеческих представлениях, а также, следовательно, и в научных.

Первое внешнее впечатление, которое в течение тысячелетий всегда и всюду получало человечество, и которое каждый из нас повторяет в своем детстве, вновь подтверждая унаследованное,—это впечатление твердого, непроницаемого внешнего мира. Мы наталкиваемся на твердые, тяжелые тела, поднятие и движение которых требует усилия. Эти внешние впечатления необходимо сначала бессознательно и инстинктивно привести в порядок для того, чтобы создать примитивное оружие и утварь, необходимые для жизни первобыт-

ного человека. Все эти ремесленные опыты, вызванные экономическими интересами существования, привели к тому, что полученные на практике механические представления так вошли в привычный обиход мышления первобытного человека, что ему, например, тяжесть или инерция казались сами собой понятными. И когда развивающееся разделение труда вызвало любопытство, превышающее непосредственный практический интерес, вызвало настоящую потребность знания, то простые, давно привычные для мысли механические явления остались сами собой понятными и как будто не требующими дальнейшего разъяснения. С этой механической точки зрения пытались понять весь мир, сводя до последнего времени все происходящее, даже сложное, к движениям определенных масс. Мы также в этой книге станем прежде всего на эту точку зрения, объясним сначала все механическим путем, но позднее вспомним о том, что это механическое мировоззрение, точно так же, как и всякое другое, является произвольным и в своей последней предпосылке необоснованным. Да и нельзя его обосновать: мы видим, что уже—в немногих строках этой главы—попали в замкнутый круг. Мы определяли массу силой притяжения или же противодействием, которое инерция противопоставляет каждому изменению движения, другими словами, мы определяли массу силой. Но, при этом мы не знаем, ни что такое масса ни что такое сила! Когда в школе учитель говорил нам о „силе тяжести“ и „инерции“, у нас у всех, вероятно, было такое чувство, что все это само собой понятно. Что камень падает, что при падении он разбивает оконное стекло, этого нам, мальчикам, не нужно было говорить; физика же могла, лишь самое большее, предположить здесь проявление сил и научить определять и вычислять их. Больше этого не в состоянии сделать даже самое высшее знание. Земное притяжение, которое мы с детства считаем само собой понятным, действительно, „само собой понятно“, так как никто не понимает его действительной сущности. Мы никогда не будем знать, что такое сила. Сила—это название всех причин движения. Величину, направление и другие условия этой силы наука может точно определить, но ее внутренняя сущность нам совершенно неизвестна. Как только произне-

сено слово „сила“,—мы стоим на границе нашего познания, но не на границе нашего знания.

Законы падающего потока воды, напр., или же электрического тока, мы знаем так хорошо, что техники точно вычисляют по ним свои мельницы или турбины, могут правильно строить свои динамо-машины или электромоторы; но последней причины движения воды и электричества мы совершенно не знаем, потому что говорим здесь о „силах“, признаваясь этим, что стоим на границе познания. Когда говорят, „здесь образуется сила“,—будет ли она электрической, или силой упругости, или какой-нибудь другой, то всегда и везде, в каждой науке, это значит: „откажись от дальнейшего познания“.

То, что мы действительно видим, это всегда только действие силы, т. е. движение. „Сила“—это создание нашего интеллекта. Каждое научное изложение должно поэтому стремиться к тому, чтобы по возможности избегать понятия „силы“ или же, по крайней мере, возможно упростить его, свести количество сил к наименьшему и уменьшить этим число неизвестных.

Как механическая физика старается свести все явления природы к определенным движениям масс, так и в других, не физических областях естествознания, можно также видеть только сложные физические проблемы; можно основные положения химических, а потому и биологических взаимодействий рассматривать, как чисто механические.

Но строительный материал, доставляемый физикой для такого взгляда на природу, оказался непригодным для постройки всех частей здания механического мировоззрения. Для понимания явлений света и электричества механическое мировоззрение нуждается в новой массе, которая, хотя и инертна, но не подчинена силе тяжести. Эта невесомая масса называется световым эфиром (об этом в следующей главе).

Эта явная непоследовательность послужила толчком новейшим научным стремлениям обойтись без светового эфира (см. дальше).

Сохранение энергии. Энергия—это способность производить работу. Кроме тяжести и инерции физические тела обладают и другими свойствами; с ними происходят и раз-

личные другие явления, которые особенно ясны в их взаимных отношениях, когда мы вводим понятие „энергии“. Каждая определенная масса определенной тяжести и инерции:

- 1) смотря по ее положению,
 - 2) смотря по ее скорости,
- может быть в физическом смысле не одной и той же.

1. Если мы забросим на крышу тяжелый камень и оставим его там лежать, или же установим на горе резервуар с водой, то камень на крыше не будет больше тем самым камнем в физическом смысле, который мы подняли вниз; вода, находящаяся на горе, не будет больше той водой, которая протекала в долине. Стекая, вода может приводить в движение мельницу, или дать при этом электричество, т. е. произвести работу или энергию. То же самое мог бы произвести падающий с крыши град камней.

Следовательно, каждая масса, не изменяясь физически в других отношениях, только благодаря особенности своего положения относительно других масс,—в нашем примере относительно земли,—приобретает способность производить работу. Эта способность называется энергией, и в только что описанных случаях—энергией положения или потенциальной (возможной) энергией; раньше она называлась силой напряжения.

Вытянутая упругая часовая пружина, электрическое или магнитное напряжение, а также избирательное сродство в химии, служат примерами такой потенциальной энергии. В угле или наших пищевых продуктах заключена потенциальная энергия, которая при известных условиях может произвести работу в качестве производительной силы в паровых машинах или в животных организмах.

2. Летящий или покоящийся камень, текущая или спокойная вода в физическом смысле не одно и то же. В движении каждой массы заключается способность производить работу, называемая энергией движения или кинетической энергией. Примером может служить текущая вода или ветер.

Чисто механическое мировоззрение не нуждается в только что описанном двойном разделении энергии на потенциальную и кинетическую. Здесь все только масса и движение.

Причиной потенциальной энергии является некоторое движение масс, которого мы не видим, скрытое движение. Сжатый газ обладает потенциальной энергией, точно так же, как свернутая пружина. В первом случае давление газа происходит, как увидим позднее, от толчков отдельных частичек газа. В этом примере потенциальная энергия сводится к кинетической. У часовой пружины или, положим, у силы тяготения мы еще не знаем движений, производящих это напряжение.

Понятие потенциальной энергии обозначает, след., с механической точки зрения, временную границу познания. Механическое мировоззрение надеется когда-нибудь разъяснить все скрытые движения, охватываемые собирательным именем потенциальной энергии.

Сохранение энергии. Все производившиеся до настоящего времени физические опыты показывают, что всегда в тех случаях, когда потенциальная энергия исчезает, появляется точно такое же количество кинетической энергии, и наоборот. Камень, обладавший на крыше определенным количеством потенциальной энергии, теряет ее при падении; она все уменьшается по мере приближения камня к земной поверхности. Но зато в той же мере увеличивается кинетическая энергия (движение). Если мы возьмем вместо камня идеально упругий шар, то, ударившись о землю, он подпрыгнет опять на ту же самую высоту, с которой он упал. Здесь мы имеем пример того, как кинетическая и потенциальная энергии непрерывно превращаются одна в другую. Другим примером мог бы служить качающийся маятник.

Изобретатели с богатой фантазией неустанно стремились добыть такие энергии из ничего, изобрести такую машину, которая сама собой всегда двигалась бы и производила работу. Все попытки построить такой *perpetuum mobile* не удавались и только все более и более служили к укреплению убеждения, что энергия представляет собой нечто несотворяемое и неуничтожаемое. Опыт все более и более приводил к тому представлению, что энергия в замкнутой системе, а поэтому, следов., и во вселенной, так же вечна, как масса. Сотворение мира с точки зрения механической должно

было быть двукратным: сотворение массы должно быть следствием движущейся массы. Ни одна малейшая частица этой массы и движения никогда не может исчезнуть; но энергия может переходить от одной массы к другой. Катящийся бильярдный шар, напр., передает свое движение другому, а сам останавливается. Тот факт, что движение не связано продолжительно с определенной массой, означает непрерывное изменение формы проявления энергии.

Совершенно неупругое тело, падающее с какой-нибудь высоты, упав на землю, остается лежать неподвижно; вся кинетическая энергия как будто вдруг исчезает. Но в действительности тело от толчка изменилось, оно нагрелось. Находящаяся в падающем теле энергия движения общей его массы превратилась в форму энергии, называемую теплотой, или тепловой энергией; о ней мы тоже можем говорить, как о быстром движении мельчайших частичек массы, молекул и атомов (см. далее). При падении движется вся масса, как целое, после удара—отдельные частички с виду покоящегося тела.

Кроме механической и тепловой энергии нам известны еще многие другие формы энергии: энергия электрического заряда или электрического тока, магнитного напряжения, энергия света и т. д. Вся физика представляет исследование того, как меняются различные формы энергии, как они превращаются без остатка друг в друга.

Примером может служить самый могущественный источник энергии, какой только существует у нас—солнце. Солнечная энергия исчезает, когда растения освещаются солнцем, при чем химические составные части углекислого газа и воды образуют сложные химические соединения, углеводы, в которых потенциально сохраняется исчезнувшая солнечная энергия. Она переходит в растения, служащие пищей животному организму, и проявляется опять в животных в виде теплоты организма или в виде мускульной энергии и т. д. Уголь, остаток растений прошедших столетий, также содержит накопленную солнечную энергию, которая приводит, таким образом, в движение наши паровые машины, динамомашинны и др. Каждый водопад обязан своей энергией солнцу;

солнечная теплота превращает воду океана, испаряя ее, в облака, поднимающиеся над горами. „Высокому солнцу, жизни подателю“, обязаны мы жизненной энергией.

Энергия является нам в вечно меняющихся формах; все, происходящее в природе, состоит из этих превращений энергии; но общее количество энергии вселенной остается вечно постоянным.

Разве нельзя теперь сказать, что энергия—это бытие? Разве нельзя предположить, что сотворение мира состояло только в сотворении энергии?

Конечно, такое чисто „энергетическое“ мировоззрение также возможно.

Если мы положим в основу наших исследований понятие энергии, то тогда отпадает понятие силы, а также понятие материи. Единственно реально существующим была бы энергия.

Мы говорили, напр., что луна и земля притягиваются ньютоновской силой тяготения, и по величине этих сил определяли массу. Но мы можем обойтись без понятия силы, если скажем: при одновременном нахождении двух тел в пространстве проявляется энергия (энергия расстояния), зависящая от взаимного удаления этих тел. Вместо силы тяготения, электрической, силы сцепления и т. д., можно говорить об энергии расстояния, объемной, энергии формы и т. д.

О материи мы говорим в „энергетике“, когда в одном и том же месте мы встречаем энергию формы, объема, движения, расстояния и химическую. В то время, как для механического мировоззрения реальная масса с своим движением является носителем энергии, у энергетиков понятие материи заменяется проявлением определенных форм энергии.

Действительное, окончательное познание не достигается этим мировоззрением. Механическое мировоззрение не может сказать, что такое масса (или сила); энергетик не знает, что такое энергия. Полное понимание невозможно.

Оствальд¹⁾ показал, что, исходя из энергетической точки зрения, можно охватить в одной простой схеме все

¹⁾ „Лекции по натурфилософии“, 3 изд. Лейпц. 1905. Небольшая книжка Оствальда „Колесо жизни“ также проникнута энергетическим мирозерцанием.

разнообразие явлений мертвой и живой природы, и что духовные явления так же укладываются в рамки энергетического мировоззрения при помощи „психической“ энергии.

Энергия без весомай массы.

Энергия без массы. Во всех тех проблемах, которые мы до сих пор рассматривали, энергия всегда была связана с массой. Если бы это было так всегда, то мы могли бы в будущем надеяться (узнав „скрытые“ от нас теперь движения) понять все формы энергии, а вместе с тем все происходящее в природе при помощи простых движений масс. Но, к сожалению, такая общая картина невозможна, так как мы знаем также формы энергии, не связанные с обыкновенной массой. Таковы все электрические энергии, к которым в настоящее время относят как настоящие электромагнитные явления, так и все физические явления света.

Световой эфир. Свет, посылаемый нам отдаленнейшими неподвижными звездами, прежде чем проникнет в крошечную воздушную оболочку нашей земли, странствует в течение тысячелетий в безграничном мировом пространстве между звездами, где нет и следа обыкновенной материи.

Световой луч обладает всеми свойствами волнообразного движения. Наше же влечение к антропоморфизму требует существования такого нечто, части которого качались бы, подобно волнам.

Когда на воду падает камень, то по ее поверхности расходятся во все стороны, расширяясь кругами, волнообразные повышения и понижения. При этом каждая водяная частичка поднимается вверх и опускается вниз, как это показывает плавающая по воде пробка. Другим типичным примером такого волнообразного движения служит струна. Каждая часть колеблющейся струны, которую мы вывели из состояния покоя (при помощи смычка, ударяя ее или дергая), стремится опять к покою, но дойдя до своего прежнего положения равновесия, отклоняется в противоположную сторону, одним словом, колеблется.

Когда выведенная из состояния равновесия часть струны стремится обратно к положению покоя, то для этого должна

существовать причина в виде силы. В большинстве случаев, как и при колеблющейся струне, этой силой будет упругость. Качающемуся маятнику и водяным волнам эту силу сообщает притяжение земли.

Но так как при этом происходит не только возвращение к состоянию равновесия, но и переход через него, то колеблющаяся масса должна, значит, также обладать инерцией.

Как же назвать то, что при колебании света движется вперед и назад, аналогично частичкам натянутой струны? Что же колеблется в мировом пространстве около своего положения равновесия?

Это вещество должно обладать весьма замечательными, еще не вполне разъясненными, свойствами. Оно должно обладать инерцией, или же, чем-то аналогичным инерции, потому что без нее невысказано колебание. Но оно не может быть обыкновенной массой, потому что ее нет в бесконечном мировом пространстве между звездами. Если бы эта масса обладала тяжестью наподобие газа, то она давно была бы притянута каким-нибудь мировым телом, подобно воздушной атмосфере вокруг нашей земли. Эту замечательную субстанцию, не имеющую тяжести, но обладающую инерцией, называли световым эфиром.

Электрические колебания. Для того, чтобы не задерживаться при дальнейшем изложении, мы сейчас изобразим здесь схематически основное явление этого феномена.

Два металлических шара A и B заряжены электричеством, при чем A положительно, а B с такой же точно силой отрицательно. Позднее мы покажем, как можно представить себе сущность электричества. Пока вообразим себе электричество, как очень тонкий, газообразный флюид

рис. 1. (жидкость), который свободно движется внутри межматериального пространства, в порах проводника, но из проводника не может выйти. Все тела на земле содержат определенное нормальное количество этого электричества, в зависимости от природы тела. На рисунке 1 у шара B взято немного от его нормального количества электричества и точно такое же количество перенесено на шар A .

Соединим теперь толстой проволокой (обозначенной пунктиром) A с B , тогда избыток электричества от A потечет по проволоке к B . Но при этом не наступит простого уравнивания до нормального состояния, ток продолжится больше, так что B окажется заряженным положительно, а A отрицательно. Затем явление пойдет в обратном порядке, и таким образом избыток электричества будет много раз колебаться вперед и назад между A и B . Можно легко и точно определить опытным путем отдельные фазы такого электрического колебания, можно все вычислить из обыкновенной теории колебаний, не имея определенного представления о настоящей причине явления. Это явление имеет такой вид, как будто идущий взад и вперед электрический флюид обладает инертностью, потому что качается подобно маятнику. Но опыты, направленные непосредственно к тому, чтобы доказать инерцию электричества, показали, что подобное предположение было бы неправильным.

Продолжительность во времени такого движения взад и вперед тока электричества, так называемая продолжительность колебания, зависит от величины шаров A и B и от формы соединительной проволоки. Эта продолжительность колебания очень мала, напр., $1/10000$ или $1/1000000$ секунды.

Электростатическое и магнитное поле. При электрических колебаниях, а также при всех других электрических и магнитных явлениях необходимо предположить, что важную роль играют процессы, происходящие в не проводника, содержащего электричество, так как природа окружающей среды оказывает большое влияние.

Все электрические и магнитные силы действуют также в безвоздушном пространстве. Наэлектризованное тело притягивает другое наэлектризованное тело в безвоздушном пространстве; точно так же магнитная сила передается через безвоздушное пространство.

Мы не верим в какое-то сверхъестественное действие на расстоянии, и понятие силы стараемся заменить, по возможности, какими-нибудь процессами движения, возбуждаемыми наэлектризованным телом в окружающем его пустом пространстве; при помощи этих изменений в пространстве, окружающем наэлектризованное тело, притягиваемое им тело при-

ближается к нему. Если это так, то мы должны приписать безвоздушному пространству, т. е. пространству, не содержащему никакой обыкновенной массы, напр., даже следов газа,—способность изменяться, которая дает надежду на возможность объяснения известных электрических и магнитных явлений. Изменяться же может только то, что существует. Невольно является мысль попытаться применить и здесь для объяснения электрических и магнитных действий тот самый световой эфир, колебания которого должны служить нам для объяснения сущности светового луча. Как это происходит, мы увидим на простом примере, при чем здесь, как и всюду во всех отраслях знания, мы должны заранее предупредить, что полное понимание для нас невозможно.

Частицы эфира представляют мельчайшие, отделенные друг от друга точки, каждая из которых под действием сил, производимых соседними частицами, занимает определенное положение в пространстве.

Когда тело получает электрический заряд, то оно немного сдвигает каждую из находящихся вокруг него частичек эфира, выводя ее, таким образом, из состояния покоя на все время, пока оно остается заряженным. Эти сдвиги велики вблизи электрического тела и уменьшаются по мере удаления от него. Следовательно, электризация какого-нибудь тела производит в окружающем его световом эфире длительное состояние напряжения, которое может быть выражено математически и называется электрическим полем. Так как действие электричества проявляется также через воздух или другой непроводник, то значит, напр., стекло или воздух должны также содержать световой эфир, при чем этот световой эфир благодаря весовой массе стекла или воздуха будет обладать немногими измененными свойствами. Эфир, это — нечто вездесущее.

Когда исчезает электрический заряд тела, то каждая частичка эфира возвращается в свое состояние покоя, другими словами, электростатическое напряжение эфира поля исчезает. При этом исчезновении, а точно так же и при наступлении напряжения, следовательно, при движении частички эфира, происходят новые явления, которые называются магнитными. Это происходит так:

Представим себе прежде всего, что между A и B нет означенной пунктиром на рис. 1 соединительной проволоки; пусть A будет заряжено положительно, а B с такой же силой отрицательно. Тогда окружающий их световой эфир, согласно нашему предположению, придет в длительное состояние напряжения, которое будет продолжаться до тех пор, пока не изменится заряд. Соединим теперь A и B металлической проволокой; тогда избыток электричества потечет от A к B , состояние напряжения эфира исчезнет, и каждая частичка эфира возвратится в спокойное состояние. Но этот переход в нормальное состояние соединен с магнитным действием. Соединительная проволока между A и B будет магнитом, пока электричество течет от A к B ; поставленная рядом с ней магнитная стрелка отклонится от своего направления с севера на юг; проволока, по которой течет ток от A к B , притянет тонкий железный порошок и т. д. На этом магнетирующем действии, проводника спиральной формы, по которому протекает ток, основана большая часть всей нашей электротехники, телеграфии, телефонии и т. д. Всюду, где в проводнике движется электричество, это передвижение связано с магнитным действием, с образованием „магнитного поля“ в эфире. Какие движения эфира соответствуют этому магнитному полю, для дальнейшего безразлично.

Вместо того, чтобы дать протекать положительному электричеству от A к B по проволоке, можно также без нее, механически, привести в соприкосновение заряженное A с B . Действие на магнитную стрелку было бы тем же самым, потому что и здесь состояние напряжения эфира переходит в нормальное состояние. Механическое движение заряженных электричеством частичек массы также производит во вне магнитное действие, образует магнитное поле.

Основной закон Максвелла. Эта связь между электричеством и магнитным действием — взаимна. Исчезновение или образование, или в более общей форме, каждое изменение электрического напряжения в эфире производит магнитные действия, и, наоборот, каждое изменение магнитного поля в эфире вызывает электрическое состояние напряжения.

Таково главное содержание знаменитых уравнений Максвелла: изменение электрического состояния эфира вызывает временное магнитное состояние эфира и, наоборот, изменение магнитного состояния эфира вызывает электрическое состояние эфира.

Возьмем опять шары A и B , один заряженный положительно, другой — отрицательно, так что в эфире существует длительное состояние напряжения. Если соединить теперь A и B толстой проволокой, то электричество потечет от A к B , результатом чего явится исчезновение электрического напряжения в окружающем эфире, а это вызовет магнитное состояние того же эфира. Но наступление магнитного состояния вызывает электростатическое напряжение, противоположное прежнему; так все время в пространстве электростатическая энергия будет сменяться магнитной и, наоборот, получится так называемое „электромагнитное колебание“.

Если заряд электрического шара вызывает в эфире состояние электростатического напряжения, то, значит, должна существовать какая-то связь между электрическим флюидом в проводнике и окружающими его частичками эфира. Эту зависимость можно представить себе так, что сначала сдвигаются с места ближайшие частички эфира, затем они сдвигают более отдаленные и т. д. Следовательно, это качание взад и вперед электрических сдвигов в эфире (так как эти электрические напряжения связаны с флюидом в проводнике) должно вызывать аналогичные колебания электрического флюида в системе проводников AB . Поэтому, когда на рис. 1 положительное электричество перейдет от A к B и напряжение в окружающем эфире станет противоположным, то и с электрическим флюидом в системах A и B должны произойти те же изменения, другими словами повторное перетекание электричества от A к B и обратно, как мы это описывали в электрических колебаниях.

Можно, следовательно, представить себе, что действительно наблюдаемые колебания в AB вызываются колебаниями в окружающем эфире.

Качание, повторное перетекание электрического флюида

в AB , тесно связано, таким образом, с аналогичным колебанием эфирного напряжения в окружающем эфире.

Это колебание эфирного напряжения наступает тем позднее, чем дальше данное место отстоит от AB , или, другими словами, от AB исходит волнообразно распространяющееся изменение эфира.

Если мы возле AB (Рис. 2) поместим такую же систему $A'B'$, то флюид в $A'B'$ должен прийти в колебательное движение при действии колебаний напряжения эфира, происходящих вокруг AB . В $A'B'$ вызывается, или, как говорят, индуцируется электрическое колебание.

Следовательно, AB излучает электрическую волну, которая поглощается $A'B'$. Максвелл доказал вычислениями, что такая электрическая волна обладает всеми свойствами световой волны, той же скоростью распространения, теми же явлениями отражения и преломления и т. д. Герц блестяще подтвердил опытами эти теоретические выводы.

В настоящее время эта система $AB - A'B'$ (Рис. 2) является основной схемой беспроволочного телеграфирования.

Следовательно, световая волна представляет не что иное, как электрическую или, вернее, электромагнитную волну очень короткой длины. Благодаря этой „электромагнитной теории света“ оптика стала частью учения об электричестве. Можно себе представить, что световой луч порождается механическим колебанием чрезвычайно маленькой электрически заряженной частички массы (см. далее).

В заключение необходимо указать на то, что уравнения Максвелла совершенно не зависят от той картины, в виде которой мы представляем себе электрическое и магнитное изменение структуры эфира. Максвелл сам исходил в своих рассуждениях из подобных представлений; они служили ему лесами при постройке здания его вычислений. Но после того, как он составил свои уравнения, он мог удалить все леса. Замечательно, что получились правильные результаты при пользовании такой картиной, правильность которой является весьма сомнительной, а между тем в точности ре-

Лехер.



Рис. 2.

зультатов никто больше не сомневается после, например, практических успехов беспроволочного телеграфирования.

Атомистика.

Элементы. В этой главе мы будем говорить о некоторых химических фактах и предположениях, служащих основаниями для дальнейших рассуждений. На рис. 3 схематически изображен сосуд, содержащий воду, в которой растворено небольшое количество серной кислоты. К платиновой пластинке *A* через металлический проводник все время притекает электричество от какой-нибудь батареи, проходит через воду по направлению стрелки и уходит обратно через платиновую пластинку *K*. Следовательно, ток идет от положительного конца *A* металлического проводника, анода,

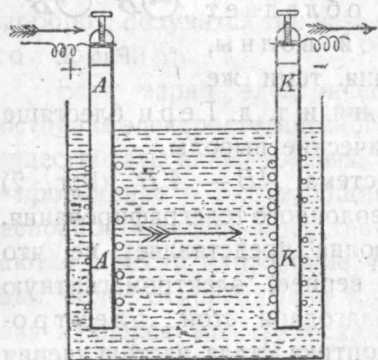


Рис. 3.

через „подкисленную“ воду, „электролит“, к отрицательному концу *K* металлического проводника, к „катоде“. *A* и *K* называются „электродами“.

Ток, проходя через воду, выделяет на *A* один газ, а на *K*—другой (на рис. 3 изображены пузырьки газов). Газ, выделяющийся на аноде, называется кислородом, а газ, выделяющийся на катоде—водородом. Примешанная к воде серная кислота качественно и количественно остается неизменной. Значение этого процесса мы объясним подробнее позднее. Здесь нас интересует прежде всего результат его.

Для разложения воды существуют еще многие другие способы, но всегда конечными продуктами являются водород и кислород. Все опыты, направленные к тому, чтобы оба эти продукта разложения воды, кислород и водород, разложить на дальнейшие составные части и получить, таким образом, другие вещества с новыми свойствами,—были до сих пор безуспешными. Кислород и водород оказались не

разложимыми дальше никакими химическими или физическими средствами; поэтому их называют простыми веществами или „элементами“.

Соединение. Вода представляет соединение этих двух элементов. Вода, как „соединение“, обладает совершенно другими свойствами, совершенно другим видом, совершенно другим действием, чем каждый из составляющих ее элементов.

Важным является количественная сторона опыта, изображенного на рис. 3. Если мы соберем выделяющийся водород, а также кислород и взвесим эти количества, то всегда мы найдем между ними одно и то же весовое отношение: 2 к 16. Например, 2 миллиграмма водорода и 16 миллиграммов кислорода, или 2 грамма и 16 граммов и т. д.

Если мы подвергнем действию электрической искры смесь, состоящую, например, из 2 миллигр. водорода и 16 миллигр. кислорода, то весь газ исчезнет, и мы получим из него $2 + 16$, т. е. 18 миллиграммов воды. Вышеприведенное разложение, так же, как и это соединение, доказывают, что 18 весовых частей воды представляют соединение, в котором химически соединены между собой две весовых части водорода и шестнадцать весовых частей кислорода.

Соединительные веса. Во всех случаях, когда отдельные химические элементы образуют соединения, это происходит всегда в определенных весовых отношениях, которые являются различными для различных элементов и различных соединений.

Другим примером может служить разложение хлористого водорода (соединения хлора с водородом) на составляющие его элементы и, наоборот, соединение элементов, хлора и водорода, в хлористоводородный газ. Хлористый водород по своим свойствам во всем отличается от свойств и действий составляющих его элементов. Но всегда 1 весовая часть водорода соединяется с 35,5 весовыми частями хлора, образуя 36,5 весовых частей хлористого водорода.

Третьим примером может служить обыкновенная поваренная соль (хлористый натрий). Эта соль представляет соединение элемента натрия с элементом хлором, при чем всегда в 58,5 весовых частях поваренной соли мы находим 23 весовых части натрия и 35,5 весовых частей хлора.

Почему хлор в только что названных соединениях, а также и в других, здесь не приведенных,—всегда встречается в определенном весовом отношении, равном 35,5 (один раз с водородом, другой раз с натрием)? Имеют ли более глубокое значение эти числа,—35,5 для хлора, 23 для натрия или 16 для кислорода? Почему у водорода два характерных числа, 1 для хлористоводородного газа и 2 для воды?

На наших немногих примерах мы познакомились только с четырьмя элементами; существуют ли подобные отношения также во всех других случаях?

Кратные отношения. В настоящее время известны 87 элементов. Из соединения между собою этих 87 не разлагаемых далее веществ возникает почти необозримое разнообразие всех химических веществ, целый мир тел известной нам части вселенной. Каждое из этих соединений представляет соединение элементов всегда в определенных весовых отношениях. Во всех тех соединениях, где встречается, напр., хлор, число 35,5 так же характерно для этого элемента, как 16 для кислорода, или 23 для натрия, или 1 для водорода. Но подобно тому, как для водорода в воде вместо 1 мы находим 2, так точно существуют еще соединения, в которых соединительный вес водорода может подняться до 3, 4 и т. д.; существуют также соединения, в которых соединительный вес натрия 23 повторяется 2 или 3 раза и т. д., или же соединительный вес хлора 35,5 повторяется тоже 2 или 3 раза и т. д. Из этих данных опыта, из этого закона кратных отношений мы нигде не встречаем исключений. Элементы всегда соединяются друг с другом или своими соединительными весами или целыми кратными этих весов.

Понятие об атоме. Предположим, что какое-нибудь количество водорода состоит из большого числа водородных атомов; буква *H* служит сокращенным символом для обозначения такого отдельного водородного атома. Точно так же кусок металла натрия состоит из большого числа атомов натрия; символом этого атома служит *Na*. Атомы кислорода обозначаются буквой *O*, атомы хлора—*Cl*. Отдельные атомы каждого элемента должны быть совершенно одинаковы, но атомы различных элементов должны отличаться друг от друга.

Атомистическая теория требует, чтобы массы, будет ли это тяжесть или инерция, наших четырех атомов: *H*, *Na*, *O*, *Cl* относились друг к другу, соответственно, как 1 к 23, к 16, к 35,5.

Если бы мы могли, следов., отдельные атомы взвесить на весах (что невозможно в виду их малой величины), то атом *Na* был бы в 23 раза, атом *O* в 16 раз, атом *Cl* в 35,5 раз тяжелее атома *H*.

Соединение двух или нескольких атомов называется молекулой. Следовательно, если разделить соединение только физически на его мельчайшие части, то последними составными частями будут молекулы. Дальнейшее, уже химическое разложение этих молекул приведет к атомам. В наших примерах каждая отдельная молекула состоит из:

Соединение	Из атомов	Символ молекулы
Вода	2 <i>H</i> и 1 <i>O</i>	<i>H</i> ₂ <i>O</i>
Хлористый водород	1 <i>H</i> и 1 <i>Cl</i>	<i>HCl</i>
Хлористый натрий	1 <i>Na</i> и 1 <i>Cl</i>	<i>NaCl</i>

Химическое или электрическое расщепление каждой отдельной молекулы воды дает один атом *O* и два атома *H*. Поэтому, если разлагать какое угодно количество воды, в конечном результате всегда получится по 2 атома *H* на каждый атом *O*; поэтому отношение количеств кислорода и водорода, выделившихся из любого количества воды, должно находиться в пропорции 16:2, как это показали наши прежние вычисления. Каждая отдельная молекула *HCl* распадается на один *H*-атом и один *Cl*-атом, в весовом отношении 1:35,5, и это всегда так для любого числа молекул *HCl*. Точно так же разложение куска *NaCl* какой угодно величины всегда дает 23 весовых части *Na* на 35,5 весовых частей *Cl*.

Основанием атомистической гипотезы служит, следовательно, тот факт, что отдельные химические элементы образуют соединения по вполне определенным весовым отношениям.

Числа 1, 23, 16, 35,5 и т. д. называются относительными атомными весами водорода, натрия, кислорода, хлора

и т. д. Эти атомные веса всех химических элементов определены чрезвычайно точно.

Сначала кажется безразличным, насколько малыми мы представляем себе эти основные камни здания всего существующего. Для нашего воображения каждый кусок, даже самый маленький, можно разделить на еще меньшие части. Но добытый в последнее время фактический материал привел нас к определенному представлению об этих мельчайших, практически неделимых никакими средствами составных частицах массы, которые были названы „атомами“, что значит неделимый. Пятьдесят лет тому назад великий английский физик Максвелл назвал атомы последними камнями, из которых построен мир.

Но развитие науки в последние годы показало, что употребление понятия атома представляет только переходящий этап в развитии наших представлений о прерывистом строении материи, так как должны существовать еще более крошечные частицы. Об этом мы будем говорить в одной из следующих глав. Прежде мы покажем, как удалось прийти к представлению о действительной величине этих химических атомов и молекул.

О теории вероятности.

В следующих главах нам придется часто прибегать к помощи теории вероятности; чтобы не останавливаться тогда в ходе рассуждений, мы разясним здесь вкратце на некоторых простых примерах основные начала этой теории.

В досчатом заборе расположен ряд примыкающих друг к другу вертикальных досок, как это изображено на рис. 4. Находящийся в большом отдалении стрелок должен произвести несколько сот выстрелов в одну из этих досок, расположенную посредине (на рис. 4 заштрихованную черным). Он часто будет попадать в цель, но иногда будут промахи, и выстрелы попадут в соседние доски направо и налево. Забор настолько высок, что исключается возможность перелета пули над ним или под ним; для нас важно только то, что пули вообще будут попадать в доски; будет ли это выше или ниже, для нас безразлично.

Допустим, в результате стрельбы окажется, что в цель a попало 330 выстрелов. В доску b , непосредственно примыкающую справа, и b' , примыкающую слева, попало по 300 выстрелов. Эти произвольные числа подписываем под соответствующими досками.

Этот общий результат кажется еще более ясным в форме „диаграммы“ (Рис. 5). Здесь, совершенно аналогично рис. 4, над a проведена штриховая линия, которая изображает 330 в любых единицах

Рис. 4.

длины. При b и b' эта длина равна 300 и т. д., при e и e' только 40 и т. д. Отсюда видно, что небольшое отклонение от наиболее вероятного числа, т. е. в нашем случае от цели a , встречается довольно часто,

в то время, как очень большие отклонения редки. Кривая, изображенная на рис. 5, представляет кривую вероятности.

Форма этой кривой может быть весьма различной. Лучший

стрелок будет чаще попадать и делать меньше промахов; на рис. 6 изображен результат такой стрельбы.

Естествознание имеет часто дело с такими рассуждениями, основанными на вероятности. Когда известны все предшествовавшие условия какого-нибудь события, то вероятность равна достоверности. Если определенный электрический ток проходит через определенное тело, то можно совершенно точно предсказать выделяемое при этом количество теплоты. Но если предшествующие условия события известны нам только отчасти, то предсказание не может быть определенным. Я не могу сказать, какую температуру будет показывать мой термометр у наружного окна моей комнаты в

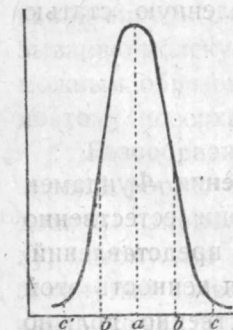


Рис. 6.

следующую полночь Нового Года. Я могу держать большое пари, что эта температура, напр., не будет равна $+20$

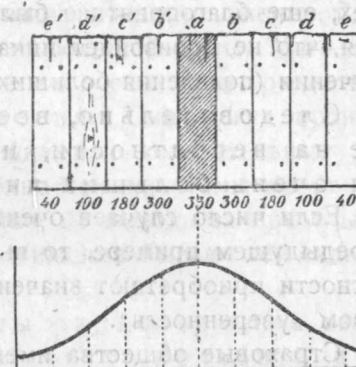


Рис. 5.

градусам Цельсия, или —40 градусам Цельсия. Но такое пари никто и не стал бы держать, потому, конечно, что средняя температура за много, много лет, равнялась, напр., —2 градусам. Но могу ли я с уверенностью держать пари за это число? Если пари идет об одной определенной новогодней ночи, тогда нет; потому что температура может быть немного выше или немного ниже. Но если держать пари о том, что средняя температура этой ночи в ближайшие десять лет будет —2 градуса, то будет уже больше шансов на успех; еще благоприятнее было бы пари на 100 лет, предполагая, что не произойдет никакого изменения в солнечном излучении (появления больших солнечных пятен и т. п.).

Следовательно, все рассуждения, основанные на вероятности, имеют значение только для очень больших чисел.

Если число случаев очень велико, гораздо больше, чем в предыдущем примере, то выводы при помощи теории вероятности приобретают значение, которое можно обозначить словом „уверенность“.

Страховые общества имеют дело с несчастными происшествиями, смертями, пожарами, которые только кажутся случайными. Большое число одновременных и различных страхований позволяют сделать точное вычисление конечного результата. Или: доходы от маленькой правительственной лотереи в Австрии, отнимавшей у бедных последний грош, бывали настолько верны, что австрийский министр финансов включал в государственный бюджет определенную статью дохода с нее.

Кинетическая теория газов.

Кинетическо-атомистические представления. Фундаментальное значение химической атомной теории естественно повлияло также на развитие физических представлений. Здесь также стала очевидной необыкновенная ценность этой гипотезы. Механическое мировоззрение естественно должно было рассматривать атом, как массу, сообразно законам механики. При стремлении все объяснить при помощи движения молекул и атомов, необходимо должна была возникнуть

кинетическо-атомистическая теория материи. Эта теория сделала чрезвычайно много для установления и укрепления понятия об атоме. Одни химические построения никогда не пошли бы так далеко.

Мы попробуем показать это на примере кинетической теории газов, потому что законы физических отношений газов гораздо проще и яснее законов твердых и жидких тел.

Твердые тела. Твердое тело обладает определенной формой и определенным объемом; следовательно, отдельные части его закреплены в своем взаимном расположении. Сдвигание их или разделение требует большой силы. Молекулы их остаются связанными в своих определенных положениях равновесия. Они могут производить только небольшие дрожащие или колебательные движения вокруг своего места. Точно так же атомы могут двигаться внутри молекулы, конечно, не выходя за пределы ее. Эти молекулярные и атомные движения бывают тем сильнее, чем более нагрето тело.

Жидкие тела. Молекулы жидкости также взаимно притягиваются, но они еще могут скользить друг мимо друга, могут сдвигаться с места. Сила тяжести, например, может вызвать такой сдвиг, что молекулы, двигаясь одна возле другой, скользят по возможности книзу. Поэтому жидкость не обладает определенной формой, но должна иметь определенный объем. Мы должны каждую жидкость поддерживать снизу и с боков, т. е. заключать в какой-нибудь сосуд, чтобы воспрепятствовать этому соскальзыванию молекул. Соскальзывание молекул вниз делает невозможным образование возвышений на поверхности жидкости; поэтому поверхность ее всегда должна быть горизонтальной.

Газообразные тела. Газ, наоборот, не имеет ни определенной формы ни определенного объема. В лабораториях мы должны закрывать наши газы со всех сторон, также и сверху, потому что они улетают во все стороны и наверх. Такой замкнутый со всех сторон газ будет производить изнутри давление на стенки. Оболочка, окружающая газ, должна выдерживать это давление, иначе она лопнет. Если мы удвоим количество газа в том же самом сосуде, то и давление увеличится вдвое. Если мы это количество утроем, то и давление,

производимое на стенки сосуда; утроится. Давление, производимое газом изнутри во все стороны, прямо пропорционально количеству его, находящемуся в определенном объеме. Этот закон называется законом Бойль-Мариотта и правилен только в том случае, если температура газа не изменяется.

С увеличением температуры газа увеличивается также его давление. На скале Цельсия стоит нуль при температуре плавления льда. Можно сделать упрощение, не изменяя скалы, перенести нуль на 273 деления ниже, на -273° ; тогда мы получим все измерения в такназыв. „абсолютных“ градусах температуры; зависимость между давлением газа и температурой выражается при этом так: давление газа прямо пропорционально абсолютной температуре. Если мы будем нагревать какой-нибудь газ с 0° до 100° Цельсия, то в градусах абсолютной температуры это будет значить, что мы его нагрели с 273 до 373, и в той же мере, как возрастают эти числа, увеличивается давление газа вследствие этого нагревания. Нулевая точка абсолютной температуры, или -273 градуса Цельсия, называется „абсолютным нулем“.

Эти законы являются идеальными законами, приближениями к действительности, которые в известных границах дают в высшей степени интересные исключения.

Кинетическая теория газов. Как объясняет кинетическая теория газов эти газовые законы?

По кинетической теории газов, совершенно упругие газовые молекулы движутся прямолинейно и свободно в пространстве до тех пор, пока не ударяются о стенку сосуда или о другую газовую молекулу; тогда они отскакивают обратно. Таким образом летают молекулы по всем направлениям, взад и вперед, подобно комарам в комарином рое.

Если бы некоторое количество газа находилось в мире, где не действует сила тяжести, то молекулы, которые почти не притягиваются друг к другу, благодаря незначительным размерам своей массы, совершенно рассеялись бы. Каждое количество идеального газа распространилось бы постепенно по большому пространству. Но количество газа на нашей земле, благодаря тому, что молекулы обладают тяжестью, притягивается большой массой земли; так образуется воз-

душная оболочка земли. Если газ замкнут со всех сторон, то давление его порождается ударами молекул о стенки заключающего его сосуда. Общее действие этой молекулярной бомбардировки представляет давление газа.

Эта бомбардировка будет тем больше, чем больше молекул ударяется об окружающие их стенки. Удваивая в определенном пространстве количество газа, мы удваиваем число летающих взад и вперед молекул. Поэтому каждая часть стенки получит двойное количество ударов, давление газа удвоится. Это закон Бойль-Мариотта. Предположим, что быстрота движений молекул увеличивается при повышении температуры, тогда давление газа должно также увеличиться с температурой. Математическая обработка этого представления приводит к закону пропорциональности газового давления абсолютной температуре.

Только что изложенное кинетическое изображение простых законов идеальных газов представляет собой только начало (приблизительно 1856 г.) далеко идущего вперед механического воззрения на все явления газов, а также на многие явления твердых и жидких тел.

Скорость движения молекул газов. Если у нас определенный объем газа при определенной температуре, то можно опытным путем измерить его давление и количество. С другой стороны, можно вычислить, как велика должна быть скорость частичек газа, общее количество которых нам известно, для того, чтобы получилось действительно наблюдаемое давление. Масса каждой отдельной молекулы нам еще неизвестна; но для вычисления скорости совершенно безразлично, разделим ли мы имеющееся у нас определенное количество газа на тысячу или на миллион частиц. Общий эффект удара будет одинаков как в том случае, когда, наприм., из миллиона частиц каждая будет ударять отдельно, так и в том случае, если это будут группы по десяти частиц.

В первом случае будет в 10 раз больше ударов, но зато каждый удар будет в 10 раз слабее, чем во втором случае, когда действующая при одном ударе масса в 10 раз большая. Следовательно, в расчет не принимается величина ударяющихся частиц, важна только общая масса, т. е. то,

что легко можно определить посредством взвешивания газа. Поэтому, если известное из опыта давление зависит от известной из опыта массы и неизвестной скорости, то получается уравнение, из которого можно вычислить скорость движения молекулы газа. Это уравнение дает для молекулы воздуха, представляющей смесь почти одинаково тяжелых молекул кислорода и азота, приблизительно 500 метров в секунду. Такова должна быть скорость полета молекул воздуха по кинетической теории газов, чтобы получилось действительно наблюдаемое давление (согласно с законом Мариотта). 1 кубический сантиметр водородного газа в 14 раз легче одного кубического сантиметра воздуха. Для того, чтобы внутреннее движение этой массы вызывало такое же внешнее давление, что и воздух, эти более легкие частицы должны двигаться гораздо скорее; вычисление показывает, что они (соответственно корню квадратному из их плотности) должны летать в четыре раза скорее, чем молекулы воздуха. Точнее, скорость движения молекул по кинетической теории газов: для молекул азота, кислорода и водорода — соответственно: 490, 460 и 1692 метра в секунду.

Эта колоссальная скорость необходима кинетической теории газов для объяснения фактически наблюдаемого газового давления.

Все возражения против этих чисел повлекли за собой только дальнейшую победоносную достройку теории.

Высота атмосферы. Одним из ближайших возражений было следующее. Если скорость одной молекулы воздуха равна приблизительно 500 метрам в секунду и часть воздушных молекул движется вертикально вверх, след., против земной тяжести, то из простых формул механики легко вычислить, что такое тело, вертикально летящее вверх со скоростью 500 метров, независимо от его величины, достигнет высоты в 12.500 метров. Выше оно не полетит; достигнув, все замедляя свое движение, этой высоты, оно начинает падать вниз. Следовательно, молекулы воздуха не могут подниматься выше 12,5 километров, которые должны составлять границу нашей атмосферы.

Между тем воздушный шар, снабженный саморегистрирующим прибором для определения давления, достиг гораздо

большой высоты, до 29 километров. Или: светящиеся ночные облака, которые наблюдались, напр., после большого извержения вулкана Кракатау в 1893 году на высоте около 80 километров и представляли собой какую-то материальную субстанцию, может быть, жидкие газы, плававшие в атмосфере. Или: метеоры, — охладившиеся образования из обломков разрушенных планет, которые встретились с землею на своем пути вокруг солнца и были притянуты ею в силу тяготения, светились на высоте часто до 200 километров, потому что они в своем бешеном полете раскалялись от трения с нашей земной атмосферой. Следовательно, даже на этой высоте должны находиться какие-нибудь атмосферные газы. Или: некоторые явления полярного сияния были видны почти на высоте в 500 километров. Следовательно, несмотря на большую разреженность атмосферы, даже на такой высоте должны находиться следы газов.

Эта действительная высота атмосферы, равная почти 500 километрам, и вычисленная раньше по кинетической теории газов в 12,5 километров, находится в кажущемся большом противоречии. Максвелл примирял это противоречие следующими рассуждениями, основанными на теории вероятности.

Наше вычисление скорости движения воздушной молекулы (по Клаузиусу) было основано на том предположении, что все частицы движутся с одинаковой скоростью. Но, по Максвеллу, этого никогда не бывает; одни движутся быстрее, другие медленнее. Если вычислить это распределение различных скоростей между различными молекулами очень большой массы воздуха, то получаются кривые вероятности, подобные тем, что были изображены на рисунках 4-ой главы. На рис. 7 изображена эта максвеллевская кривая вероятности молекулярной скорости кислорода. На горизонтальной линии отложены различные скорости в метрах в секунду. Вертикальные линии над этими числами дают вероятность скорости. Линия над числом 461 обозначена жирной, это — число, полученное раньше из средней энергии ударов. На рисунке видно, что оно не является самым вероятным. Последнее, обозначенное пунктиром, находится при 376 метрах скорости. Кривая менее круто опускается

справа, следовательно, большие скорости менее редки, чем малые.

Для вывода этого максвелловского закона распределения потребовались только некоторые положения механики; не было надобности в специальных предположениях о том, как молекулы ударяются одна о другую и как действуют проявляющиеся при этом силы.

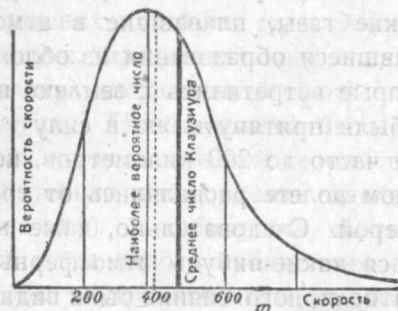


Рис. 7.

Из этих рассуждений вытекает, что в нашем воздушном океане всегда должны быть некоторые быстро движущиеся молекулы, которые поднимаются далеко над вычисленной высотой в 12,5 километров.

Молекулярные величины.

Средняя длина пути молекулы. В стакане, плотно закрытом сверху стеклянной пластинкой, находится какой-нибудь газ, наприм., углекислый. Если мы осторожно снимем крышку, то углекислый газ придет в непосредственное соприкосновение с воздухом и можно подтвердить опытом, что воздух проникает в стакан, вытесняя оттуда углекислый газ, несмотря на то, что последний тяжелее воздуха. Это постепенное механическое смешение газов называется диффузией. Чрезвычайно ярким примером диффузии может служить известный факт, что очень сильно пахнущий газ, напр., аммиачный газ, находящийся в хорошо закупоренной бутылке, при открывании пробки в закрытой комнате, распространяется постепенно по всей комнате, что можно узнать по запаху. Но этот процесс диффузии происходит относительно медленно. Если мы кинетической теорией газов оцениваем скорость движения молекул сотнями метров в секунду, то все молекулы газов (следовательно, также и аммиачный газ) должны совершенно заполнить в течение очень малой части секунды, даже большое пространство, в кото-

рое молекулы врываются. Это так и происходит, если мы пустим струю газа в пространство, где нет совершенно никакого газа. Если же это пространство уже занято другими однородными (или отличающимися от него) молекулами, то в действительности путь каждой молекулы между двумя последовательными столкновениями с другими молекулами будет очень коротким. Молекула устремляется с большой быстротой, но по зигзагообразному пути; она постоянно возвращается обратно и, несмотря на быстроту своего движения, медленно подвигается вперед. Это кинетическое представление диффузии газов является очень плодотворным. Мы поймем это на следующем примере.

Геометрическая модель диффузии. На рис. 8 маленькие кружечки изображают ряд шаров, которые лежат на полу приблизительно на одинаковом расстоянии друг от друга. На рисунке изображены одинаковые квадраты и в каждом из них лежит по одному шару. Предположим далее, что к этим лежащим шарам (для простоты они взяты одной величины) катится извне еще один шар K .

В шар какого из этих рядов, обозначенных на рис. 8 цифрами 1, 2, 3 и т. д., ударится сначала катящийся шар K ?

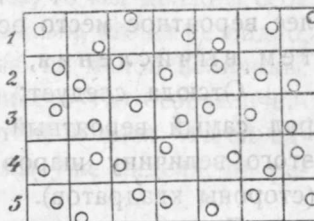


Рис. 8.

Прежде всего ясно, что это зависит от величины отношения площадей кружков к площадям квадратов. Что это так, показывает следующее рассуждение относительно двух крайних случаев: если диаметр кружков на рис. 8 будет очень мал по сравнению со сторонами квадратов, то катящийся шар встретит большие пустоты и в среднем покатится очень далеко, прежде чем ударится о покоящийся шар. Если же, наоборот, диаметр шаров так же велик, как стороны квадратов, так что покоящиеся шары касаются друг друга, то катящийся шар остановится уже в первом ряду.

Из всего этого видно, что мы имеем дело с проблемой, которая решается при помощи теории вероятности. Если мы дадим какому-нибудь математику точно величину сторон

квадратов и диаметры покоящихся шаров, то он может вычислить, в каком из рядов катящийся шар K , по всей вероятности, встретит покоящийся шар. Предположим, что он должен по вычислению остановиться в 125-м ряду; это значит, что если мы будем катать шар K много тысяч раз, то в огромном большинстве случаев, катящийся шар остановится в 125 ряду. Соответственно тем выводам, что мы сделали на стр. 23, он остановится также, но менее часто, в 124-м или 126-м ряду, но почти никогда, напр., в 1-м или 250-м. Если бы существовала азартная игра только что описанного рода, то математик ставил бы на 125-й ряд и в среднем (несмотря на отдельные потери) всегда выигрывал бы.

Но если подарить детям, которые не являются математиками, азартную игру, подобную вышеописанной, то и они из опыта очень скоро найдут, что для того, чтобы выиграть, нужно ставить на 125-й ряд.

Мы можем, следовательно, узнать, что 125-й ряд—наиболее вероятное место остановки катящегося шара, „или“ путем вычисления, „или“ же путем опыта.

Отсюда следует: если мы нашли на опыте, что 125-й ряд самый вероятный, то математик может вычислить из этого величину шаров и среднее расстояние между ними (стороны квадратов).

При этом для последующего важно еще одно обстоятельство: можно, не изменяя результата, по желанию увеличить или уменьшить рисунок 8. Если квадраты будут уменьшаться или увеличиваться в том же отношении, что и площади кружков, то для нашего вычисления по теории вероятности, имеющей дело только с отношениями, ничто не изменится. Оставаясь при нашем примере, 125-й ряд всегда будет самым „вероятным“, будет ли азартная игра на большую или малую ставку.

Внимательный читатель, наверно, уже заметил, к чему мы ведем, и сделал заключение: шары—это молекулы газов; наблюдая происходящую в действительности диффузию газа, можно из нее вычислить диаметр молекулы. Это заключение правильно, но только приблизительно. Необходимо кое-что изменить в выше приведенном простом изображении нашей

азартной игры, для того, чтобы получилась действительная аналогия диффузии газа.

Прежде всего мы должны нашу азартную игру немного усложнить, именно построить ее изображение в трехмерном пространстве, а не на плоскости, для того, чтобы она больше соответствовала куче молекул газа. Это немного изменяет вычисление, но основная мысль остается той же.

При происходящем в действительности процессе диффузии у нас вместо одного катящегося шара K их очень много; но это также не изменяет нашего способа рассуждения, потому что безразлично, будем ли мы катить очень часто, раз за разом один единственный шар K , или же одновременно наблюдать за многими, так как при всех рассуждениях, основанных на теории вероятности, в расчет принимается лишь среднее из очень многих чисел. Однако, нам встретится еще одно затруднение.

Если мы захотим последовательно провести сравнение нашей азартной игры с диффузией газа, то мы должны себе представить все шары настолько маленькими, что их не видно, как нельзя видеть молекул газа из-за их малой величины. Однако ясно, что для теории вероятности это безразлично, так как уменьшение в одинаковой степени всех частей нашей азартной игры не влияет, как мы уже видели, на результат вычислений.

Средняя длина пути. При диффузии газов мы измеряем путь молекулы, пройденный ею до столкновения с другой молекулой. Число, полученное для этой, так называемой, „средней длины пути молекулы“, т. е. расстояния, пройденные молекулой в промежуток между двумя столкновениями, равны, наприм., для азота 0,000,009 сантиметра. Эта величина так мала, потому что диффузия газов, по изложенным в начале этой главы причинам, идет очень медленно. Если мы попросим теперь математика, как прежде в азартной игре, вычислить из этого результата отношение диаметра шара к расстояниям между шарами, то он, покачивая головой, с сожалением скажет нам, что из этого ничего не выйдет. Он должен знать, сколько им „рядом“ молекул соответствует пройденное расстояние в 0,000,009 сантиметра. Если шары молекул велики, то это может быть первым или вторым рядом, а

если очень малы, то миллионным или биллионным рядом. Но математик мог бы составить таблицу, которая изобразила бы искомое отношение: радиус шара—расстояние между шарами, для определенных величин шаров, или же он написал бы уравнение с двумя неизвестными, радиусом шара (или диаметром молекулы) и расстоянием между шарами (или расстоянием между молекулами).

Это последнее число можно заменить более наглядным; если известно расстояние между молекулами, то из него можно вычислить число молекул в кубическом сантиметре, и этим числом заменить первое. Математик может тогда составить из данных опыта диффузии уравнение с двумя неизвестными, диаметром молекулы (S) и числом молекул в одном кубическом сантиметре (N); обозначим это уравнение № 1.

Но нам нужно еще новое отношение между S и N , или уравнение № 2, которое в соединении с первым даст возможность вычислить как величину диаметра молекулы S , так и число молекул N .

Сжижение газов. Если мы будем подвергать газ все большему и большему давлению, то, в конце-концов, молекулы так сблизятся, что, соприкасаясь непосредственно друг с другом, не будут в состоянии более разлетаться; газ превратится в жидкость. Если мы будем сжимать, например, углекислый газ при 0° Цельсия до $\frac{5}{10\,000}$ части занимаемого им объема, то он превратится в светлую, легко подвижную, жидкость. Если мы опять, ради простоты, предположим, что молекулы газа имеют шарообразную форму, то это будет значить, что N (число находящихся в 1 куб. сант.) маленьких шариков, из которых каждый представляет молекулу углекислого газа, будучи сжатыми в возможно малом пространстве, занимают точно 0,0005 кубического сантиметра.

Но один этот опыт не дает окончательного результата. Хотя мы можем узнать общую массу молекул газа в одном кубическом сантиметре, напр., посредством взвешивания, можем узнать при помощи опыта сжижения общий объем всех молекул, но того числа, на которое распадается общая масса, мы не знаем. Так, напр., мы можем сделать из определенного количества теста четыре больших шара, или 1000 маленьких, или миллион еще более маленьких и т. д. Точно

так же все количество углекислого газа, в одном кубическом сантиметре, заполняющее в действительности только 0,0005 всего объема, может содержать в себе 10 или 1000 или триллион шариков. Опять наш математик мог бы только составить таблицу, которая изображала бы число молекул N для произвольно принятой величины диаметра молекулы S , или, другими словами, он мог бы опять написать уравнение № 2, содержащее два неизвестных, S и N .

Оба уравнения вместе дают нам как величину диаметра молекулы S , так и число молекул N .

Число Лошмидта. Это вычисление было произведено впервые венским физиком Лошмидтом в 1865 г. Поэтому число N называется числом Лошмидта. Впоследствии в него введен был ряд улучшений; настоящая величина его равняется приблизительно $28 \cdot 10^{18}$ или 28 триллионам! Это число одинаково для всех газов (закон Авогадро). Один кубический сантиметр, напр., углекислого газа содержит 27,2 триллионов тяжелых молекул, один кубический сантиметр водорода 27,2 триллионов более легких и маленьких молекул, и т. д. Все эти числа относятся к газам, температура которых равна 0° Цельсия, а давление равно одной атмосфере.

Триллион равняется миллиону в кубе или единице с восемнадцатью нулями. Столько летающих молекул газа помещается в половине наперстка обыкновенного воздуха!

Наша способность представления вначале совершенно отказывается от таких чисел. Что представляют собой, по сравнению с этим числом, все люди на земле? Только 1500 миллионов.—Все человечество свободно поместилось бы на замерзшем Боденском озере; если бы все люди утонули в этом озере, то оно едва поднялось бы на пол-метра. Представим себе, что, кажущиеся бесчисленными, звезды, которыми мы любуемся в ясную ночь, все так же населены, как наша земля; и тогда мы еще далеко не достигнем триллиона. Если сосчитать всех людей, когда-либо живших на земле, и то не получится триллиона. Если сложить все эти числа, все же еще будет много недоставать до числа воздушных частичек в половине наперстка. Столь большие числа мы легко получаем при геометрических прогрессиях; изобретатель шах-

матной игры, как рассказывают, потребовал себе в виде награды одно пшеничное зерно на первом поле, два на втором, четыре на третьем, восемь на четвертом, и так далее, все время удваивая числа. Шахматная доска имеет 64 поля, и это составило бы, приблизительно, 18 триллионов зерен; из этого получилась бы куча пшеницы в форме прямоугольной призмы, длина которой была бы равна, приблизительно, 200 километрам, ширина 1 километру и высота также 1 километру. Цена, которую потребовал изобретатель шахматной игры, была невероятной.

Число молекул в одном кубическом сантиметре газа колоссально. Если бы можно было положить все эти молекулы одну возле другой, то они покрыли бы поверхность стола умеренной величины; но если бы положить их в ряд одну возле другой, то такое ожерелье из молекул можно было бы двести раз обернуть вокруг экватора. Это кажется противоречием. Когда Дидона основывала Карфаген, она потребовала столько земли, сколько можно покрыть бычьей кожей. И она нарезала из кожи такие узкие полоски, что могла ими огородить достаточно земли для постройки города. Если бы полоски были еще уже, были такими узкими, как наш диаметр молекулы, то их можно было бы обернуть несколько раз вокруг земли.

Вышеописанные два уравнения определяют не только N , но также диаметр молекулы S . Для различных газов получены различные величины, но все они исчисляются миллионными частями миллиметра. Наприм., диаметр молекулы углекислого газа равен 0,6, молекулы водорода 0,4 миллионной части миллиметра. Это приблизительные величины, или, как говорят, „порядок величин“.

Это отношение между: длиной световой волны, величиной молекулы, самой мельчайшей, видимой под микроскопом величиной, сравняется приблизительно отношению между: морской волной, плавающей на ней пробкой, нашим большим океанским пароходом.

Крошечные размеры молекул, несмотря на большое их число, дают им возможность свободно летать в пространстве, занятом газом. Для того, чтобы составить себе представление об этом, вообразим, что мы смотрим через очки, увеличивающие каждую линию в миллион раз. Тогда величина молекулы едва достигала бы величины крупной песчинки; в пространстве, которое при этом увеличении равнялось бы, напр., величине комнаты, имеющей 5 метров в квадрате и 4 метра в высоту, следовательно, всего 100 миллионов кубических сантиметров, можно было бы увидеть 2720 миллионов молекул, увеличенных до величины песчинки. Следовательно, каждые 27 увеличенных до песчинки молекул имеют при этом увеличении в своем распоряжении больше одного кубического сантиметра пространства для свободного в нем движения. Рис. 9 изображает картину этого увеличения, но только одну часть ее и в то же время в тонком разрезе, а именно молекулы в прямоугольном параллелепипеде, глубина которого (линия bd перпендикулярна к плоскости рисунка) равняется приблизительно $1/10\,000\,000$ сантиметра. Стрелки обозначают пути молекул;

много соседних молекул пройдет друг мимо друга, прежде чем произойдет столкновение; на рисунке длина пути молекул увеличена, конечно, в миллион раз. Это увеличенное изображение относится к воздуху обыкновенной плотности.

В наиболее разреженном пространстве, которое может быть полу-

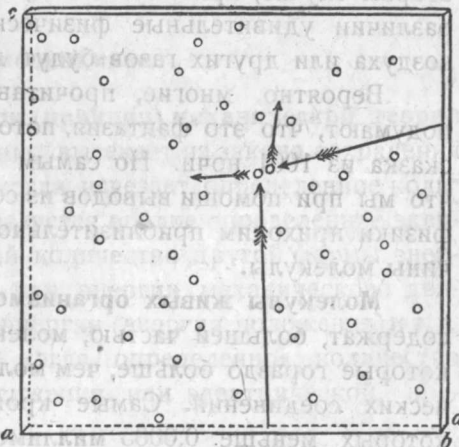


Рис. 9.

давление в лучшем случае может быть понижено на одну миллионную часть обыкновенного; другими словами, триллион молекул, находящихся в одном кубическом сантиметре обыкновенного воздуха, уменьшается до одного биллиона, или — наши лучшие воздушные

насосы оставляют в каждом кубическом сантиметре еще целый биллион молекул газа! Следов., не существует в действительности вполне пустого пространства. И, однако, многие физические явления, напр., электрические разряды происходят совершенно иначе в нашем пустом пространстве, чем при обыкновенном воздушном давлении.

Для того, чтобы понять это, нужно опять представить себе все (линейно) увеличенным в миллион раз. Если я представляю себе, что моя комната является маленьким обломком трубки пустого пространства, увеличенной в миллион раз, то во всей комнате будет лишь около 2800 молекул, т. е. миллионной части прежнего количества. Если мы теперь представим себе в пространстве, равном величине комнаты, 2800 миллионов молекул, увеличенных до размеров песчинки, то это будет соответствовать обыкновенному давлению воздуха; если же мы представим себе там только 2800 шариков, то это будет отвечать нашему лучшему пустому пространству. В первом случае, аналогично рис. 9, среднее расстояние между молекулами, равнялось бы, приблизительно, $\frac{1}{2}$, во втором случае, приблизительно, 50 сантиметрам! При таком различии удивительные физические действия выкачивания воздуха или других газов будут достаточно вероятными.

Вероятно, многие, прочитав эти числа, с недоверием подумают, что это фантазия, потому что все это звучит, как сказка из 1001 ночи. Но самым удивительным является то, что мы при помощи выводов из совершенно других областей физики приходим приблизительно к одинаковой оценке величины молекул.

Молекулы живых организмов. Органические вещества содержат, большей частью, молекулы белков и им подобные, которые гораздо больше, чем молекулы более простых химических соединений. Самые крошечные бактерии, диаметр которых меньше 0,0005 миллиметра, всегда содержат еще около одного миллиона этих больших молекул. Крошечный сперматозоид человека содержит около 70 миллионов! Такое человеческое семенное тельце заключает в себе бесчисленное множество предназначенных для унаследования определенных свойств отца, духовных и телесных, добрых и злых. Ребенок наследует наружность, таланты, здоровье или болезнь роди-

теля. И все это уже должно находиться в отцовском семенном тельце, наследии, получаемом от отца. Если мы пока еще мало можем себе это объяснить, как и многие другие явления жизни, то все же это колоссальное число отдельных, уже весьма сложных молекул, дает нам в будущем надежду на исследование и разъяснение этой темной области.

Броуновское движение. В 1827 г. английский ботаник Броун наблюдал в микроскопе маленькие, твердые частицы, подвешенные („суспендированные“) в жидкости. Он заметил при этом, что они непрерывно скачками и колеблясь, перемещаются с места на место. С введением кинетического мировоззрения все больше укреплялось представление, что здесь прямо проявляется действие ударов молекул. Это воззрение стало почти истиной после открытия броуновских движений в газах. Крошечные, видимые только в ультрамикроскоп, плавающие в газе твердые пылинки приводятся в интенсивное зигзагообразное дрожательное движение толчками, получаемыми ими с различных сторон от газовых молекул. Это явление наиболее очевидным образом подтверждает кинетическую теорию газов.

Термодинамика.

Первый основной закон (принцип) механической теории теплоты. Он непосредственно вытекает из закона сохранения энергии. Во всех случаях, когда исчезает определенное количество теплоты, всегда образуется вполне определенное эквивалентное (равнозначное) ей количество другой формы энергии, напр., электрической или энергии механического движения, или потенциальной энергии (энергии положения) и т. д. То же самое происходит, когда определенное количество энергии положения, или движения, или электрической, превращается в теплоту.

Ради простоты мы будем говорить о „работе“ (под которой мы понимаем механическую работу, напр., поднятие какой-нибудь тяжести). Первое главное положение гласит: определенное количество затраченной работы дает определенное количество тепла, и, наоборот, определенное количество тепла производит определенную работу. Одной еди-

нице тепла соответствуют 427 единиц работы, при чем мы не будем ближе останавливаться на выяснении этих единиц.

427 ед. работы $\rightarrow$ 1 ед. теплоты } I основной закон

1 ед. теплоты $\rightarrow$ 427 ед. работы } от (принцип).

Второй основной закон (принцип). Значение его понять труднее.

Сначала мы напишем, как выше:

427 ед. работы $\rightarrow$ 1 ед. теплоты } II основной закон

1 ед. теплоты $\rightarrow$ 427 ед. работы } (принцип).

Здесь над стрелкой второй строчки стоит вопросительный знак, значение которого (в двояком отношении) мы теперь подробно рассмотрим.

Если кто-нибудь мне даст большое число единиц работы, напр., большую массу на большой высоте, то я все без остатка могу превратить в теплоту, заставив эту массу упасть вниз. За каждые 427 единиц исчезнувшей работы природа мне даст точно одну единицу тепла.

Но если мы захотим, наоборот, превратить в работу определенное число единиц тепла, то при этом встретятся затруднения — поэтому выше и поставлен вопросительный знак.

Внимательный читатель наверно подумает, что это невозможно; первое положение гласит, что на каждую исчезнувшую единицу тепла приходится точно 427 единиц работы. Следовательно, если мне кто-нибудь доставит, например, 1000 единиц тепла, то, опираясь на первое положение, он может за это потребовать точно 1000·427 единиц работы.

Но как бы я ни старался, я не могу все данные мне единицы тепла без остатка превратить в работу, а только некоторую часть их. В этом заключается значение второго основного принципа.

Мы рассмотрим сначала идеальный, самый благоприятный случай, который называется „обратимым процессом“.

Обратимый процесс. Пусть данные мне 1000 единиц тепла, которые я должен превратить в механическую работу, заключаются в каком-нибудь горячем теле, напр., в накалинном металлическом шаре. На каждую единицу тепла, которую я отнимаю для превращения теплоты в механическую работу, я должен доставить — соответственно первому

положению — точно 427 единиц работы. При отнятии каждой такой единицы тепла понижается температура накалинного металлического шара; в конце-концов, температура шара сравняется, напр., с комнатной температурой; он, конечно, будет сохранять в себе еще некоторое количество тепла, которое я однако не могу из него извлечь иначе, как охладив шар искусственно. Только в том случае, если бы я мог охладить шар до абсолютного нуля (стр. 26), т.-е. до —273 градусов Цельсия (что невозможно), то я был бы в состоянии всю теплоту шара без остатка превратить в работу. Следовательно, то количество тепла, которое может быть превращено в работу, зависит от разности температур накалинного и охлажденного тела, в нашем примере от температур раскаленного и охлажденного шара.

Предположим, напр., что температура раскаленного шара, по абсолютной температурной шкале, равнялась бы 1200 градусам и предположим далее, что я могу охладить шар до комнатной температуры, т.-е. положим, до 300 градусов абсолютной температуры; тогда я мог бы из данных мне для превращения в работу 1000 единиц теплоты точно превратить 775 в 775·427 единиц работы. Остаток в 225 тепловых единиц, что составляет четвертую часть данной мне для превращения тепловой энергии, остается непревращенным (это составляет точно четвертую часть, потому что 300 градусов равняются четверти от 1200 градусов).

Предположим, что мы весь этот процесс хотим провести в обратном направлении, что полученные 775·427 единиц работы мы хотим превратить обратно в теплоту. То, что при этом опять получатся точно 775 тепловых единиц, это само собой разумеется, согласно первому основному принципу. Но могу ли я это обратное превращение так совершить, чтобы наш металлический шар точно принял первоначальную температуру в 1200 градусов? Точно ли можно достигнуть первоначального состояния?

Теория дает положительный ответ на этот вопрос. Можно себе представить такие действительно обратимые процессы.

Превращая теплоту в работу таким образом, что в конце-концов все может прийти к прежнему состоянию, мы, как

опять-таки теория точно показывает, достигаем того оптимума превращения, какой только достигим в данном случае. В нашем примере (где мы могли охладить нагретое тело с 1200 абсолютных градусов до 300) нельзя никаким процессом превратить в работу больше, чем 775 тепловых единиц из 1000, имеющихся налицо, и это число 775 достигается только в том случае, если процесс этого превращения будет обратимым.

В этом заключается одно значение того вопросительного знака, который мы поставили на нашем символическом выражении второго основного принципа.

Но этот вопросительный знак имеет еще другое значение.

Необратимый процесс. Если мы представим себе, что процесс при превращении теплоты в работу будет необратимым, то дело будет гораздо хуже. Предположим, что данный мне накаленный шар я кладу в металлический сосуд, хорошо окутанный снаружи ватой. Тогда этот сосуд нагреется, в то время, как шар охладится. Если окутывающая вата действительно изолирует теплоту, то я всегда буду иметь все данные мне 1000 тепловых единиц. Только эта теплота не будет больше сконцентрирована в нагретом шаре, шар и металлический сосуд вместе будут иметь более низкую температуру, напр., 600 абсолютных градусов.

Хотя я и имею, как раньше, 1000 тепловых единиц, но возможность превращения в работу, „возможность использования“ уже понижена. Если я теперь начну превращение, то в лучшем случае, т.е. при обратимом процессе, если самая низкая температура, находящаяся в моем распоряжении будет равняться, как и прежде 300 абсолютным градусам, — я могу превратить в работу только 500 из данных мне 1000 тепловых единиц, остаток же в 500 тепловых единиц останется в виде тепла, которое невозможно дальше использовать. Этот результат гораздо хуже того, что был раньше, потому что мы не могли здесь сделать весь процесс обратимым. Ни при каких условиях мы не можем теперь достигнуть первоначального состояния, именно нагреть опять шар до 1200 градусов с помощью оставшейся теплоты и полученной работы. Это было бы возможно только в том случае, если бы мы прибавили еще постороннее тепло.

Все процессы, происходящие в природе, необратимы; обратимые процессы представляют только идеальные мыслимые процессы. В этом заключается важное значение вопросительного знака в нашем символе второго основного положения.

Теплота, содержащаяся в каком-нибудь горячем теле, переходит на другие тела, и температура понижается. Поэтому, само собой разумеется, что „возможность использования“ уменьшается и увеличивается, невозможность использования. Это последнее понятие находится в тесной связи с научным выражением „энтропия“. Это непрерывное увеличение энтропии во всей вселенной составляет главное содержание второго основного принципа и является не менее важным, чем закон сохранения энергии.

Мы уже видели в одной из предыдущих глав, что различные формы энергии непрерывно превращаются одна в другую, а теперь мы узнали, что на первом месте среди всех видов энергии стоит теплота. Работа превращается в теплоту без остатка, но обратное превращение ограничено вторым основным положением. Поэтому М. Планк говорит о „предпочтении“ природой тепловой энергии. Все формы энергии, на многообразии и превращении которых основаны все протекающие в окружающем нас мире явления, в конечном результате превращаются в теплоту. В конце-концов не будет никаких механических движений, не будет бега звезд и планет, ни электричества, ни жизненной энергии, так как все будет теплотой и при том теплотой одинаковой температуры. Вся энергия, существующая теперь, тогда тоже будет существовать, но только невозможным будет дальнейшее превращение энергии, так как все будет уравнено, вполне и совершенно равно. Концом мира будет тепловая смерть.

Не мало было попыток придумать такое средство, которое могло бы концентрировать теплоту, не могущую быть использованной, так, чтобы где-либо вновь получилась более высокая температура. Напр., океанский пароход, идущий из Европы в Америку, истребляет колоссальное количество угля, и вся энергия, полученная от горения этого угля, энер-

гия, в паровых машинах употребляемая только на то, чтобы преодолеть трение воды, опять превращается в теплоту. Следовательно, паровой уголь отапливает океан; это ведь невероятная расточительность. Нельзя ли было бы в какой-нибудь форме получить эту теплоту обратно, опять ее сконцентрировать? Ясно, что в большом океане этого сделать нельзя, но можно было бы сделать, быть может, опыт в меньших размерах; может быть, можно было бы заставить кружиться такой пароводяной для опыта в маленьком круглом канале, собрать попавшую в воду теплоту и обратно превратить ее в энергию паровой машины? Нагретые молекулы воды также движутся, хотя и беспорядочно; но, может быть, это движение можно было бы каким-нибудь способом упорядочить. Это было бы возможно, если бы мы могли набрать каких-нибудь маленьких духов — микрофизиков, — которые упорядочили бы это беспорядочное движение, и все толчки, идущие по разным направлениям, направили бы в одну сторону. Это происходило бы без затраты энергии и мы могли бы опять превращать теплоту какой угодно температуры в механические толчки по одному направлению, т. е. превратить ее в работу. Такие приспособления можно было бы придумать, но только в том случае, если бы в нашем распоряжении были микрофизики, маленькие гномики, которые могли бы возиться с каждой отдельной молекулой. Тогда пришел бы конец господству и торжеству второго основного принципа.

Но таких гномиков не существует. Не могут ли дальнейшие экспериментальные успехи когда-нибудь научить нас обращаться с каждой отдельной молекулой? Второй основной принцип подтверждался на многих, многих проблемах физики и химии, он был нашим верным другом и советником. Имеет ли это значение только до тех пор, пока мы, как теперь, во всех своих опытах можем оперировать только со многими миллиардами молекул? Является ли поэтому второй основной принцип правильным только вследствие недостаточности наших современных способов и орудий исследования?

Об этом и подобных проблемах мы будем говорить в следующей главе.

Значение теории вероятности в физике и других областях знания.

Второй основной принцип представляет, как это показал знаменитый физик Больцман, наиболее вероятный вывод из опытных данных. Даже самая маленькая масса, с которой мы проводим опыты, всегда содержит столько молекул, что мы, считаясь с законами вероятности, всегда можем спросить, какое конечное состояние, результат отдельных молекулярных действий, будет наиболее вероятным.

Парадоксальный ответ Больцмана гласит, что наиболее вероятным будет самое беспорядочное состояние. Какой бы то ни было порядок будет невероятным. Совершенно невероятно, чтобы, напр., все жители какого-либо государства в один определенный час одновременно делали одно и то же, одинаково дышали или шли, или же все смотрели на север или на юг и т. д., или же, чтобы все дома одновременно сгорели. Но число этих домов и людей чрезвычайно мало по сравнению с числом молекул в любой маленькой водяной капельке; чтобы в ней наступил какой-нибудь порядок и одинаковость движения до такой степени невероятно, что мы в праве считать это невозможным. Беспорядок же в молекулярном движении или теплоте является вероятным.

Второй основной принцип всегда оправдывается только потому, что он представляет вывод, полученный из очень большого числа отдельных случаев.

Первоначальное выражение второго основного принципа не имело ничего общего с атомистическими представлениями. Чистая термодинамика дает имеющие вполне общее значение отношения, в особенности для направления физико-химических процессов (возрастание тепловой энергии или возрастание „неиспользуемости“, энтропии и т. д.); относительно специальных свойств веществ второй принцип нас ничему не научает. Для таких процессов, как напр., теплопроводность или диффузия, как мы это уже видели (стр. 30), дает гораздо больше кинетическая теория газов.

„Кванты“ энергии. По кинетической теории газов каждая молекула обладает определенным количеством энергии. От постоянно происходящих взаимных столкновений наступает такое уравнивание, что энергия всех частичек в среднем становится одинаковой, независимо от того, будут ли эти частички большими или маленькими. Этот принцип равномерного распределения энергии, благодаря работам Больцмана и американца Гиббса, привел к имеющим огромное значение выводам. Но встречаются такие случаи, в которых абсолютно нельзя было достигнуть согласования теории с опытом. Здесь М. Планк достиг удивительных результатов, составив, опять-таки с помощью теории вероятности, формулы, которые во многих своих выводах согласовались с опытом, но привели также к совершенно новым представлениям. Именно, Планк пришел (1906) к замечательному выводу, что излучение (следовательно, также световое излучение) в известном смысле атомистично; из одного определенного места всегда может излучаться только определенное количество энергии или же кратное этого количества. Световая энергия испускается прерывисто частями, атомами энергии, которые названы „квантами“. Из этой теории вычисляется, при некоторых определенных предположениях, то же самое Лошмидтово число N , равное $27,2 \cdot 10^{18}$.

Применение в науке теории вероятности имеет очевидно большую будущность.

Дальнейшие применения в физике исчислений, основанных на вероятности. Во всех случаях, когда в физике что-нибудь наблюдается, результатом этих наблюдений является сумма отдельных действий. Каждое, даже самое маленькое тело, которое мы подвергаем исследованиям в отношении каких-нибудь его свойств, всегда состоит из многих, многих миллионов молекул, при чем каждая из этих молекул участвует в общем действии, которое мы наблюдаем. При газовом давлении, напр., каждая молекула действует своим толчком (стр. 25); несмотря на то, что отдельные молекулы движутся с различной скоростью и поэтому сталкиваются с различной силой, тем не менее средняя величина, выведенная из опыта, подчинена точным газовым законам. В этом предложении

выражение „несмотря“ следует, собственно говоря, изменить; по смыслу всего вышесказанного вместо „несмотря“ мы можем сказать „потому что“. Микрофизик мог бы наблюдать каждую отдельную молекулу. Разные молекулы дали бы ему самые различные результаты, поэтому ему было бы гораздо труднее вывести обобщающий закон. Только после того, как микрофизик проделал бы много миллионов отдельных опытов, все записал бы и с трудом вычислил отсюда среднюю величину, он пришел бы к простым газовым законам, которые мы, более счастливые физики, выводим при помощи одного единственного наблюдения, являющегося средним из многих, многих миллионов непроделанных нами отдельных наблюдений. Как обстоит дело с газовыми законами при представлениях кинетической теории газов, так происходит и при всех других физических величинах.

Атомы каждого определенного элемента, напр., все водородные атомы, может быть, не вполне подобны друг другу, может быть, имеются большие и меньшие атомы, подобно тому, как варьируют величины в определенной породе животных. То что мы наблюдаем, всегда является только средней величиной. Существуют определенные, нам еще мало известные принципы, по которым группируется известное число электронов, составляющих (см. дальше) ту сложную систему, которую мы называем атомом. Это скопление электронов обладает определенной, вероятной величиной, которая известна нам непосредственно из опыта, как атомный вес.

Электроны электрического тока обладают относительно короткими путями, они постоянно останавливаются, как мы это увидим подробно позднее (см. дальше). Все они обладают самыми различными скоростями. Тот вывод, к которому мы приходим из одного единственного наблюдения силы тока, уже представляет среднюю величину.

Другой пример нам дает спектральный анализ. Натрий, испаряющийся в каком-нибудь пламени (напр., поваренная соль на спиртовом пламени), испускает желтый свет; если наблюдать этот свет через призму, то он представляется в виде одной, при большем увеличении, в виде двух желтых линий. Если исследовать это излучение более точно, то можно также открыть слабые линии в красной и фиолетовой ча-

стях спектра. Следовательно, натрий тоже излучает все возможные цвета, средние же величины, полученные из одного наблюдения, лежат в желтой части спектра. Кривая на рис. 10 показывает, что излучение больше всего именно в желтой части спектра. Эта кривая совершенно подобна кривой вероятности, изображенной на стр. 23.

Пуанкаре, кажется, первый указал на то, что физические законы представляют средние величины.

Теория вероятности в различных науках. Венский физик Ф. Экснер развил далее (1909) эту идею; он показал, что именно вследствие этого законы большинства естественных наук обладают такой большой степенью точности; одно единственное наблюдение уже дает среднюю величину из многих, многих миллионов возможных отдельных случаев. В этом случае, мы, физики, химики и т. д. гораздо счастливее, напр., биологов или историков, или политико-экономов, или других исследователей, которые в действительности должны проделывать многие тысячи отдельных наблюдений, сопоставлять их и выводить из них с большим трудом среднюю величину. Такое среднее, полученное из относительно очень малого числа отдельных случаев, никогда нельзя сравнить по точности с нашими средними, автоматически доставляемыми природой из многих триллионов отдельных случаев. Этот перевес точных естественных наук над другими дисциплинами не является, конечно, заслугой исследователей, но лежит в природе исследуемого материала.

Катодное излучение. Электрон.

Катодные лучи. На рис. 11 изображена совершенно закрытая стеклянная трубка, из которой выкачан воздух. В конце L вплавлена металлическая проволока, на переднем конце которой укреплен металлический диск, величиной, приблизительно, с никелевую монетку; M представляет

вторую такую же металлическую проволоку. Если соединить M с положительным полюсом какого-нибудь источника электричества, а L с его отрицательным полюсом, тогда ток потечет от анода M к катоду L . При умеренно разреженном воздухе можно видеть широкие световые полосы, идущие от M к L . Но если разрежение настолько велико, что от нормального количества воздуха осталось немного более одной тысячной процента, то вся трубка будет казаться почти темной, и только на той части трубки, которая лежит как раз против L , стекло светится зеленоватым, флуоресцирующим светом. Окраска этой флуоресценции зависит от сорта стекла. Стекло в этом месте постепенно нагревается, но флуоресценция не имеет никакого отношения к нагреванию; флуоресценция наступает моментально, в то время, как нагревание требует продолжительного времени. Это явление совершенно не зависит от того, где находится положительный полюс, анод.

Если между катодом и противоположной флуоресцирующей стеклянной стенкой поставить довольно толстую металлическую пластинку, имеющую форму, например, креста, то на флуоресцирующей стеклянной стенке образуется тень этого креста (Рис. 12). Отчетливость этой тени настолько определена, что ее можно рассматривать, как тень, вызванную обыкновенным светом, который мог бы излучаться из катода. Нечто совсем другое должно исходить от катода,

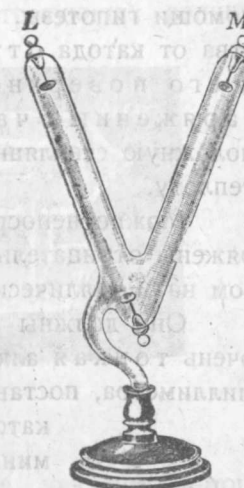


Рис. 11.

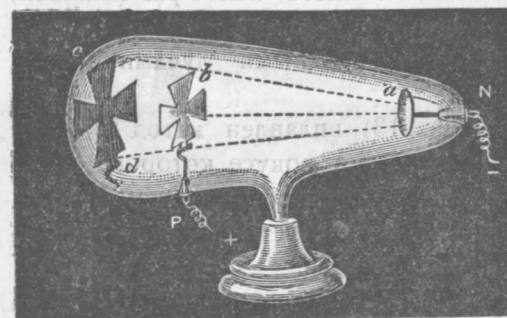


Рис. 12.

нечто совсем иное должно отлетать перпендикулярно к поверхности катода, что вызывает свечение противоположной стеклянной стенки.

Все эти явления можно в общей форме объяснить при помощи гипотезы, что при сильном напряжении электричества от катода отталкиваются (перпендикулярно к его поверхности) маленькие, отрицательно заряженные частички массы. Их удары о противоположную стеклянную стенку вызывают флуоресценцию и теплоту.

Можно непосредственно показать, что эти частички заряжены отрицательно, улавливая их соответственным образом на металлическую пластинку.

Они должны быть чрезвычайно маленькими, так как очень тонкая алюминиевая пластинка, — толщиной в 0,001 миллиметра, поставленная на месте креста, не задерживает катодных лучей. Для газа такая тонкая алюминиевая пластинка была бы совершенно непроницаемой; следов., молекулы газа должны быть значительно больше тех частичек, которые в катодном луче легко пронизывают эту пластинку.



Рис. 13.

С другой стороны, если благодаря ударам этих маленьких частичек стекло нагревается, то скорость их движения должна быть очень большой, во много, много раз большей, чем скорость движения молекул газов.

Нагревание катодными лучами можно показать так.

В *K* (Рис. 13) вплавлен катод в виде вогнутого зеркала, в фокусе которого находится тонкий металлический листок *M*. Под влиянием катодных лучей середина металлического листка сейчас же накаливается.

Легко подвижные тела, если они находятся внутри трубки, приводятся в движение катодными лучами. На рис. 14 изображено легкое колесико со слюдяными крылышками, которое может катиться по двум стеклянным рельсам. Если катодные лучи падают на крылышки слева или спра-

ва, то колесо вращается вправо или влево и катится по рельсам.

Эти маленькие частички назвали „электронами“.

Отклонение катодных лучей. Самым важным явлением для количественного определения соответствующих величин

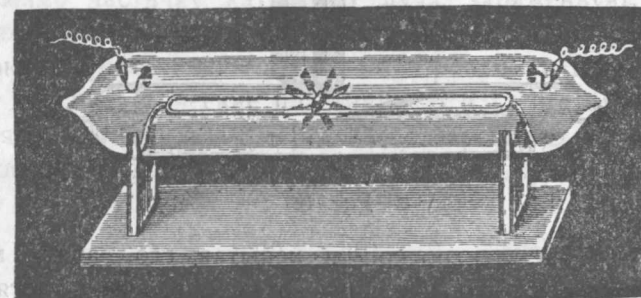


Рис. 14.

катодных лучей является их отклонение, как при помощи магнитных, так и электростатических сил. Эти отклонения также решительно говорят против того предположения, что катодный луч мог быть чем-либо в роде обыкновенного света.

На рис. 15 перед катодом *K* стоит ширма *S*, имеющая в центре маленькое отверстие. Через это отверстие проходит узкий пучок катодных лучей, образуя круглое пятно на

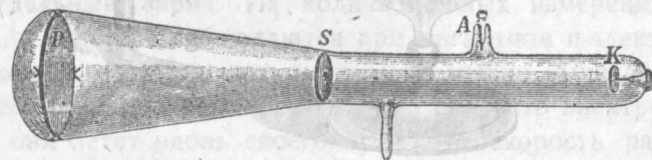


Рис. 15.

флуоресцирующей плоскости *P*, которая флуоресцирует во всех тех местах, где ее касаются лучи. Сначала это явление флуоресценции идет в виде прямой светящейся линии, — доказательство того, что катодные лучи идут по прямой линии от *K*. Если мы теперь поставим над трубкой магнит, имею-

ший форму подковы, то эта линия изогнется вверх (Рис. 16) или же наоборот, вниз, в зависимости от того, как лежит магнитный северный полюс, впереди или позади. Направив изогнутый пучок катодных лучей при помощи особых при-

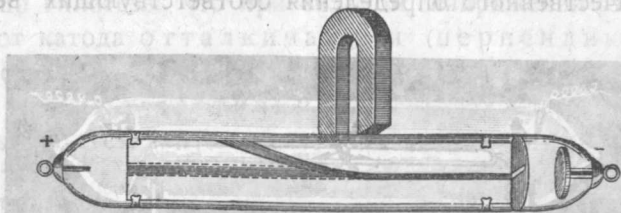


Рис. 16.

способлений на электроскоп и испытав его заряд, можно легко показать, что катодные лучи образованы летящими отрицательно заряженными частицами (Рис. 17).

Сообразно с положениями, рассмотренными на стр. 14, ряд летящих наэлектризованных частичек должен образовать

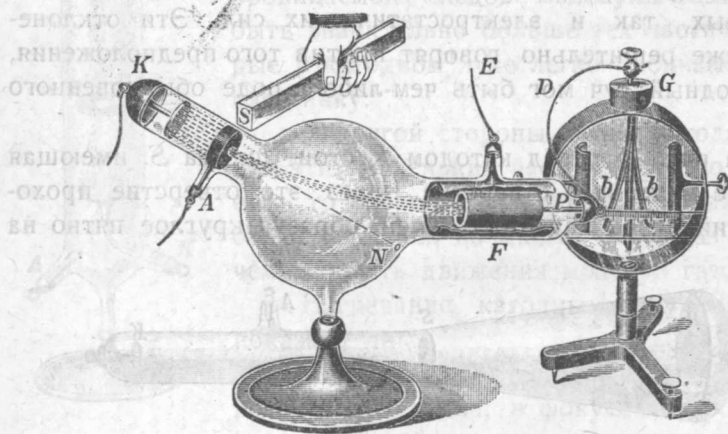


Рис. 17.

магнитное поле. Здесь летит рой заряженных частичек, причем они действуют так, как заряд, текущий в виде электрического тока через проволоку. Так как пронизанный током проводник притягивается магнитом, то летящие электроны также должны отклоняться от своего пути магнитом и, на-

оборот, они сами должны отклонять очень чувствительную магнитную иглу. То и другое действительно происходит.

Точно так же изгибается первоначально прямой катодный луч при приближении электростатически заряженного тела. Легко понять, что это так и должно быть. Каждое тело, заряженное, напр., положительно, притягивает каждую летящую мимо частичку катодного луча, заряженную отрицательно, поэтому и происходит искривление линии. Это можно показать следующим опытом. На рис. 18 в трубке помещены две металлические пластинки B и C . Катодные лучи исходят из K , проходят через два отверстия S_1 и S_2 и дают в M зеленое пятно на флуоресцирующем экране. Если C со-

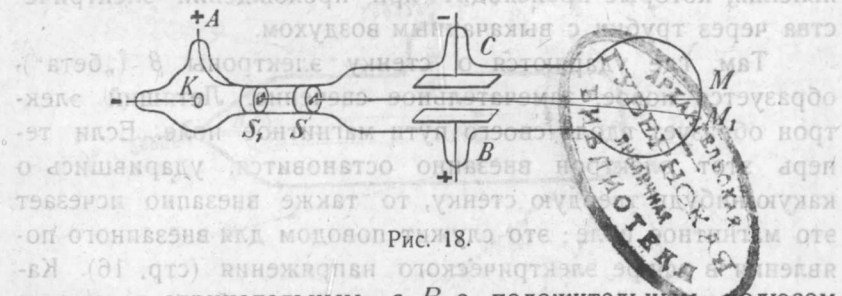


Рис. 18.

единить с отрицательным, а B с положительным полюсом источника тока, то пятно смещается книзу, в сторону M_1 , так как отрицательно заряженные частицы катодных лучей притягиваются положительно заряженной пластинкой B . Если C зарядить положительно, а B — отрицательно, то пятно смещается вверх.

Удельный заряд. Из количественных измерений всех величин, которые наблюдаются при магнитном и электростатическом отклонении катодного луча, можно вычислить ряд интересных величин, и прежде всего скорость электронов, с какой они летят вдоль своего пути. Эта скорость различна и может достигать 100.000 километров в секунду. Хотя и нельзя отсюда отдельно определить массу частички и ее заряд, но можно определить их отношение. Это отношение „заряда к массе“, или „удельный заряд“, удивительным образом всегда один и тот же, независимо от того, будет ли применяться сильное или слабое электрическое напряжение; кроме того, эта величина не зависит от того, какого рода

остаток газа в трубке и не зависит от материала катода. Из постоянства этой величины мы уже теперь можем сделать вывод, что здесь дело идет о какой-то природной величине, имеющей всеобщее значение.

Элементарный заряд. Масса электрона оказывается приблизительно в 1000—2000 раз меньше массы водородного атома. Заряд этого электрона мы называем элементарным зарядом. О методе определения этих величин будет сказано дальше.

Рентгеновские и анодные лучи. Мы рассмотрим еще некоторые другие, интересные для позднейшего объяснения, явления, которые происходят при прохождении электричества через трубки с выкачанным воздухом.

Там, где ударяются о стенку электроны β („бета“), образуется новое, замечательное свечение. Летящий электрон образует вдоль своего пути магнитное поле. Если теперь этот электрон внезапно остановится, ударившись о какую-нибудь твердую стенку, то также внезапно исчезает это магнитное поле; это служит поводом для внезапного появления в эфире электрического напряжения (стр. 16). Каждая частичка эфира несколько раз при этом быстро качнется около своего положения равновесия. Образуется очень короткая световая волна, невидимая для глаза, но вызывающая почернение фотографической пластинки, производящая флуоресценцию при падении на соответствующую ширму и делающая тот воздух, который она пронизывает, проводником электричества. Эти лучи, подобно всем световым лучам, не отклоняются ни магнитными ни электростатическими силами. Эти γ („гамма“) лучи, изображенные штриховыми линиями на схематическом рис. 19, названы рентгеновскими лучами по имени ученого, открывшего их. Они получили практическое применение вследствие того, что они проникают через дерево, бумагу, через мускулы и т. д., но не проходят через металл, кости и т. п. Если, напр., на пути этих лучей поставить руку так, чтобы они, пройдя через нее, упали на какую-нибудь флуоресцирующую ширму, то она будет светиться всюду, за исключением тех мест, где рентгеновские лучи были задержаны костями или какими либо посторон-

ними телами, находящимися в мягких частях. На ширме появится темное изображение, тень костей. Если взять вместо флуоресцирующей ширмы фотографическую пластинку, то получится соответственная фотография этой тени.

На рис. 19 изображены еще α („альфа“) лучи или анодные лучи в виде коротких линий. Если взять в качестве анодного материала определенные смеси солей, то анод будет излучать короткий пучок лучей, различно окрашенный, в зависимости от того, какая соль была взята. Вычисления, основанные на магнитном отклонении этого пучка, показали,

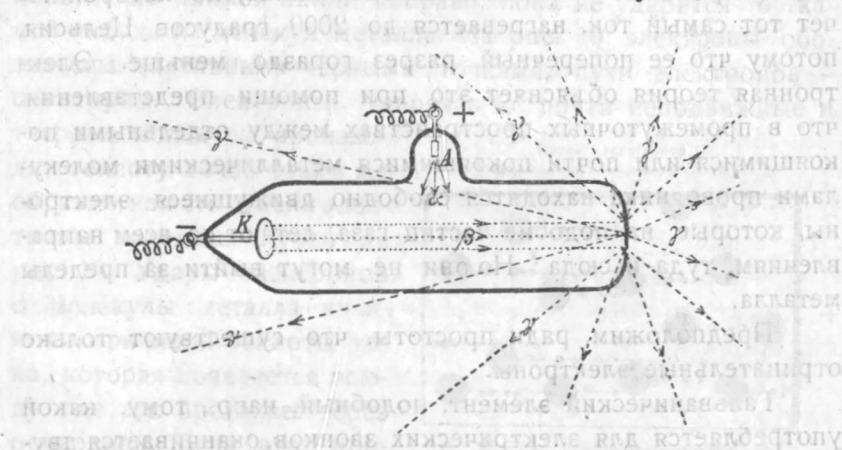


Рис. 19.

что здесь также отлетают от анода материальные частицы, но имеющие величину обыкновенных атомов и заряженные положительно. Скорость их также относительно мала, приблизительно от 100 до 600 километров в секунду.

Электрон в электропроводности.

В этой главе мы набросаем эскиз введения понятия „электрон“ в наши представления об электропроводности. Введение здесь этого понятия дает нам возможность получить ясное представление о том, что происходит внутри проводника. Но даже и в этом случае мы не получим вполне исчерпывающего объяснения всех происходящих при этом явлений.

Металлическая проводимость. Среди фактов, подлежащих объяснению при помощи понятия об „электроне“, одним из важнейших является тот, что каждый электрический ток, проходящий через какой-нибудь проводник, напр., через проволоку, связан с появлением в этой проволоке теплоты, так назыв. „тепла Джауля“. Эта теплота бывает особенно большой, если поперечник проволоки в каком-нибудь месте очень мал. Проволочные провода, ведущие к электрической калильной лампе, почти не нагреваются, но тонкая металлическая проволока в самой калильной лампе, по которой течет тот самый ток, нагревается до 2000 градусов Цельсия, потому что ее поперечный разрез гораздо меньше. Электронная теория объясняет это при помощи представления, что в промежуточных пространствах между отдельными покоящимися или почти покоящимися металлическими молекулами проводника находятся свободно движущиеся электроны, которые, на подобие частиц газа, летают по всем направлениям, туда и сюда. Но они не могут выйти за пределы металла.

Предположим, ради простоты, что существуют только отрицательные электроны.

Гальванический элемент, подобный, напр., тому, какой употребляется для электрических звонков, оканчивается двумя металлическими проволоками, полюсами; сущность этого элемента заключается в том, что отрицательные электроны протискиваются от положительного полюса через элемент к отрицательному полюсу. Так называемая электромоторная сила элемента может быть также описана с точки зрения электронной теории. Но мы зашли бы слишком далеко, если бы захотели остановиться еще и на этом. Отрицательный полюс содержит по сравнению с положительным полюсом избыток электронов. Если мы теперь соединим отрицательный полюс элемента какой-нибудь металлической проволокой с положительным полюсом того же элемента, то этот избыток отрицательных электронов устремится от отрицательного полюса к положительному через междучастичные промежутки пространства проволоки.

На рис. 20 схематически изображена минимальная часть проволоки, увеличенная, приблизительно, от десяти до ста

миллионов раз. Большие черные кружки изображают молекулы. Если приставить теперь, напр., к правому концу этой проволоки положительный полюс гальванического элемента, а к левому концу отрицательный, то слева в проволоку будет протискиваться большое количество электронов. Сначала здесь образуется скопление электронов; оно производит электростатическое давление (вследствие отталкивания) слева направо, и под влиянием этой постоянной силы каждый отдельный электрон будет двигаться все быстрее и быстрее, полетит по прямой линии направо, пока не ударится о какой-нибудь из молекул металла. На рис. 19 электроны обозначены маленькими черными точками, пути электронов — пунктиром. Электроны, ударяясь о почти неподвижные и твердые молекулы, производят теплоту точно таким же образом, как это делали электроны катодных лучей на рис. 13. Удары электронов о молекулы металла являются причиной теплоты тока, которая появляется всюду, где ток протекает через проводник. Если этот проводник обладает малым поперечником, то число электронов, ударяющихся о каждую отдельную молекулу, будет особенно большим, поэтому и нагревание здесь также должно быть особенно сильным.

Следов., мы можем рассматривать проводник, по которому протекает ток, в этом смысле (который также подойдет к тем явлениям, о которых мы будем говорить позднее), как колоссальное количество катодных трубок, лежащих одна за другой и одна возле другой.

При этом особенно нужно подчеркнуть, что ток отрицательных электронов в металлическом проводнике идет против „обычного“ направления тока, понимая под направлением тока течение электрического флюида от положительного полюса элемента через внешний металлический проводник к

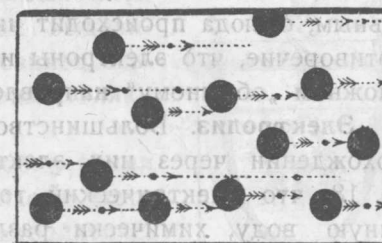


Рис 20.

отрицательному полюсу. Когда, в свое время, в начале науки об электричестве, около 1720 г. нашли, что существуют два рода электричества, стеклянное электричество (как, напр., в натертом стекле) и смоляное (как, напр., в натертой смоле), и что оба эти электричества взаимно уничтожают (нейтрализуют) друг друга, точно так же, как положительные и отрицательные величины в арифметике, тогда можно было произвольно выбрать, обозначить ли „положительным“ стеклянное или смоляное электричество. Неудачно окрестили положительным стеклянное электричество. Если бы назвали положительным смоляное электричество, тогда наши электроны были бы положительными, а не отрицательными, и тогда направление стрелок (Рис. 20) „обычного“ тока было бы обратным. К сожалению, обладающий стеклянным электричеством полюс гальванического элемента назван положительным; отсюда происходит чисто формальное и кажущееся противоречие, что электроны идут в направлении, противоположном „обычному“ направлению тока.

Электролиз. Большинство жидкостей разлагаются при прохождении через них электричества. Мы уже видели на стр. 18, что электрический ток, проходящий через подкисленную воду, химически разлагает ее. Чистая вода, полученная посредством особенно тщательных, многочисленных перегонков в платиновых сосудах, совершенно не проводит электрического тока. Она делается способной проводить его только в том случае, если мы прибавим к ней небольшое количество серной кислоты или немного поваренной соли, и т. д.

Ток часто осаждает на электродах какое-нибудь вещество, действующее, с своей стороны, химически на воду или на электроды. Если, напр., пропускать электрический ток через раствор хлористого натрия (раствор поваренной соли), то на аноде, — если он не подвергается действию освобождающегося при этом хлора, — этот газ выделится. Натрий же, выделяющийся на катоде, разлагает воду; этот уже более не электролитический, но вторичный химический процесс, в подробности которого мы здесь входить не будем, дает в результате не натрий, но вторичный продукт, образовавшийся из натрия и воды, именно едкий натр и водород.

Следов., водород, выделяющийся здесь на катоде, представляет вторичный продукт.

Подобным же образом электрический ток разлагает воду, содержащую серную кислоту, при чем на катоде освобождается водород, а на аноде соединение, которое с водой опять образует серную кислоту и выделяет кислород. Следовательно, это разложение воды, при котором всегда должна иметься налицо серная кислота (или другие определенные вещества), представляет не прямое, а косвенное действие тока; выделяющиеся при этом водород и кислород являются вторичными продуктами.

Изображенное на рис. 21 красивое явление, так называемое сатурново дерево, представляет собой выделение свинца из уксуснокислого свинца. Здесь свинцовый анод утончается, в то время, как выделяющийся на свинцовом катоде свинец осаждается в виде красивых, разветвляющихся кристаллов.

Мы можем удовлетвориться этими немногими примерами из области часто очень сложных явлений электролитического разложения.

Для того, чтобы дать себе отчет в количественной стороне явлений, рассмотрим еще простой электролиз, изображенный на рис. 22. Мы пропускаем один и тот же ток, сперва через подкисленную воду, а затем через соляную

кислоту, т. е. воду, насыщенную хлористым водородом. Продуктами этого разложения являются газы, в первом случае кислород и водород, во втором — хлор и водород. Каждый из этих газов мы собираем, как это показано на рис. 22, в маленькие стеклянные трубочки *A* и *B*. Чтобы узнать, какие количества газов собрались в трубочках, достаточно определить число кубических сантиметров выделившегося газа; так как мы знаем вес одного кубического

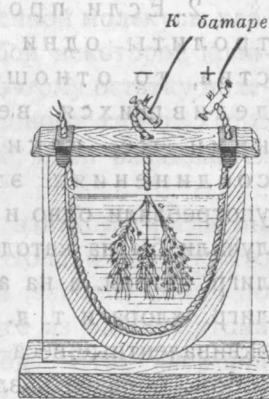


Рис. 21.

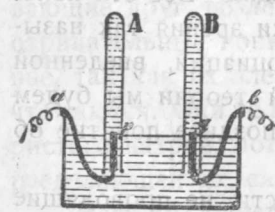


Рис. 22.

достаточно определить число кубических сантиметров выделившегося газа; так как мы знаем вес одного кубического

сантиметра (плотность газа), то из него можно вычислить вес выделившегося количества газа. Весовые количества выделившегося водорода одинаковы в обоих случаях; но вес выделившегося кислорода больше веса водорода в 8 раз, а вес выделившегося хлора больше в 35,5 раз.

Простые количественные отношения этого примера так же, как и все возможные явления электролиза выражаются в двух электролитических законах Фарадея (1835).

1. Выделившееся при одном и том же электролитическом процессе количество вещества пропорционально прошедшему через электролит количеству электричества.

2. Если пропускать через различные электролиты одни и те же количества электричества, то отношения между количествами выделившихся веществ будут всегда точно такими же, какими они бывают в химических соединениях этих веществ. Если бы мы всегда употребляли одно и то же количество электричества, то получили бы на катоде, напр., 1 миллигр. водорода или 23 миллигр. натрия, а на аноде 8 миллигр. кислорода или 35,5 миллигр. хлора и т. д. Это те же самые весовые отношения — эквивалентные веса — в которых элементы соединяются между собою, образуя различные соединения, напр., воду или хлористо-водородный газ, или хлористый натрий. Следовательно, второй закон Фарадея выражает ту мысль, что количества веществ, выделенных одним и тем же током, относятся между собой так же, как эквивалентные веса.

Теория электролитической диссоциации. Все эти явления электролиза рассматриваются с точки зрения так называемой теории электролитической диссоциации, введенной впервые Аррениусом (1887); об этой теории мы будем здесь говорить, применяя к ней более позднее понятие об электронах.

По Аррениусу, некоторые жидкости, не проводящие электричества, в особенности вода, обладают замечательной способностью разлагать (или диссоциировать) растворенные в них вещества. Разъясним это на примере хлористого натрия. Если

бросить некоторое количество его (обыкновенной поваренной соли) в воду, то он расщепится на две части, которые называются ионами: на ионы натрия и на ионы хлора. Важной опорой для этой теории диссоциации служит тот факт, что целый ряд не электрических физических явлений, разбор которых здесь завел бы нас слишком далеко, говорит в пользу этой теории.

В то время, как молекула хлористого натрия не имеет заряда, хлор-ион заряжен отрицательно, а натрий-ион положительно: хлор-ион представляет новую молекулу, составленную из соединения атома хлора с одним электроном. При выделении (обусловленном диссоциационной силой воды) атома хлора из первоначально не заряженной молекулы хлористого натрия, атом хлора уносит с собой некоторое количество отрицательного электричества. Поэтому остатку молекулы, иону натрия, не хватает этого унесенного атомом хлора количества отрицательного электричества, и он оказывается заряженным положительно.

Хлор обладает очень неприятным запахом; когда мы солим суп, то не замечаем этого запаха только потому, что при этом выделяется не обыкновенный элемент хлор, но совершенно новое соединение, состоящее из одного атома хлора и одного отрицательного электрона. Этот хлор-ион обладает совершенно другими свойствами, чем обыкновенный атом хлора. Точно так же и положительный натрий-ион представляет нечто совершенно другое, чем обыкновенный химический атом натрия.

В водном растворе поваренной соли все, тесно плавающие друг возле друга, положительные ионы натрия и отрицательные ионы хлора не проявляют своего действия во вне, так как их электростатические действия взаимно уничтожаются. Они не могут соединяться, образуя молекулы хлористого натрия, потому что вода обладает диссоциирующей, разделяющей их, силой.

Если мы опустим в соленую воду два металлических электрода, при чем один из них соединен с положительным, а другой с отрицательным полюсом электрической батареи, то вследствие электрического притяжения, положительно заряженные ионы натрия притянутся отрицательным элект-

тродом и пойдут к катоду; наоборот, отрицательно заряженные хлор-ионы под действием электрического притяжения пойдут к аноду. Следовательно, одновременно мы имеем две процессии ионов: положительные ионы натрия идут по направлению тока, а отрицательные ионы хлора идут в направлении, противоположном направлению тока. Скорость движения ионов, благодаря большому трению в воде, быстро достигает определенной, постоянной величины, которая бывает различной, в зависимости от силы тока и рода ионов, и равняется только нескольким сотым частям миллиметра в секунду.

Посмотрим теперь, что происходит, когда ион (что значит „странствующий“) достигает электрода; это изображено на рис. 23. Когда, напр., отрицательный ион хлора приходит к положительно заряженному электроду, то он так плотно притягивается металлом, что отрицательный электрон входит в металлический электрод. Тогда мы получаем: 1) в жидкости у анода атомы хлора и 2) в металле электрода освобожденные отрицательные электроны.

Хлор, освободившийся от своего отрицательного электрона, тотчас же приобретает свойства обыкновенного химического атома хлора. Он либо действует на электрод либо (если электрод сделан из такого материала, на который хлор не действует) образует молекулу хлора, соединяясь по два атома, и поднимается вверх, в большом количестве, в виде пузырьков газа.

Освобожденные электроны, собирающиеся в металле анода, взаимно отталкиваются; вследствие этого отталкивания и под действием силы гальванического элемента они протискиваются к элементу, а через него и дальше через металлический провод к катоду.

Рис. 23 представляет попытку изобразить схему этого процесса. Само собой разумеется, что ни ионы хлора ни ионы натрия не имеют нарисованной формы и также понятно, что вместо изображенных на рисунке 9 пар ионов, нужно представить себе много, много миллионов их с диаметром, равным, приблизительно, $\frac{1}{10\,000\,000}$ части сантиметра. Электрон, проходящий через металлический проводник к катоду, идет дальше до соприкосновения с приближающимся

сюда из жидкости ионом натрия и превращает, нейтрализуя его положительное электричество, этот ион натрия в химический атом натрия.

Результатом всего процесса является выделение свободного хлора на аноде и свободного натрия на катоде. Так как вес одного атома натрия относится к весу одного атома водорода, как 23 : 1, то и количества натрия и водорода, выделившиеся при действии любого тока, должны относиться так же, как 23 : 1.

Нас здесь не интересует дальнейшее действие воды на освободившийся хлор или на освободившийся натрий. Эти вторичные процессы электролиза обладают чисто химическим характером.

Аналогично схеме изображенного выше простого примера, ток проходит через все электролиты. Каждый отрицательный электрон, входящий из жидкости в металл анода, оставляет при этом атом или группу атомов, которые выделяются на аноде. Но часто бывает, что в ионе с одним атомом связаны многие электроны. Так как сила тока в электролите пропорциональна числу электронов, выделяющихся из жидкости и входящих в анод, то и выделяющиеся на электродах количества веществ должны быть пропорциональны силе тока.

Рассмотрим еще раз процесс, изображенный на рис. 22. При разложении хлористого водорода каждый электрон приводит с собой один атом хлора; при разложении же воды с каждым атомом кислорода соединены два электрона; следовательно, при одном и том же числе электронов выделившееся число кислородных атомов будет вдвое меньше числа атомов хлора.



Рис. 23.

Так как здесь соединяются каждые два атома, образуя одну молекулу газа и так как, по закону Авогадро (стр. 35), половинное количество молекул газа занимает только половину объема, то мы получим (Рис. 22) при одном и том же количестве тока, объем кислорода, который будет вдвое меньше объемов хлора и водорода. Эквивалентные весовые количества O и Cl равняются $16/2$ и $35,5$. Следовательно, оба закона Фарадея непосредственно выводятся из понятия об электронах.

Электролиз и элементарный квант. Дальнейшее исследование электролиза приводит к удивительно интересному выводу. Мы можем измерить количество электричества, приводимое определенным количеством водорода, выделяющимся на катоде. Сколько атомов находится в этом определенном количестве водорода, мы уже знаем из изложенного на стр. 35. Следовательно, если известно, сколько водородных атомов приходит к катоду и сколько электричества они все вместе отдают ему, то простым делением можно узнать, сколько электричества заключалось в одном атоме водорода, когда он еще плавал в воде в виде иона. Этот электрический заряд одного иона представляет собой точно то же количество электричества, что и „элементарный квант“, о котором мы говорили при электронах катодного излучения.

На этом основании можно утверждать, что ион представляет атом, или лишенный одного, 2, 3... электронов (таковы, напр., ионы натрия, водорода и т. д.), или содержащий один, 2, 3... лишних электронов (напр., ионы кислорода, хлора и т. д.).

Проводимость газов. В нормальном состоянии газ представляет изолятор. При помощи различных средств можно так подействовать на отдельную молекулу газа, что электрон от нее отщепится и улетит.

Такое действие оказывает, напр., свет небольшой длины волны, так называемые ультра-фиолетовые лучи, или рентгеновские лучи, а также катодные лучи и т. д.; мы еще вернемся к причинам, вызывающим ионизацию. Вокруг такого отщепившегося от молекулы отрицательного электрона группируются нейтральные молекулы газа; остающийся после отщепления электрона положительно заряженный остаток

молекулы также притягивает соседние незаряженные молекулы газа. Мы получаем, таким образом, „газовые ионы“; отрицательные газовые ионы состоят из многих молекул газа, расположившихся вокруг отрицательного электрона, а положительные тоже из многих молекул газа, окружающих положительно заряженный остаток молекулы. Следовательно, газовые ионы гораздо больше, чем ионы электролитов.

Такой ионизированный газ должен обладать электропроводностью. Если в обыкновенном воздухе на хорошо изолированной шелковинке подвесить, напр., положительно заряженный металлический шар, то теоретически его заряд должен вечно в нем сохраняться. Во всяком случае шар этот может сохранять свой заряд в течение нескольких часов. Если же пропустить через воздух, соприкасающийся с шаром, лучи Рентгена, то воздух ионизируется; образовавшиеся при этом отрицательные газовые ионы будут притягиваться положительно заряженным шаром и отдавать ему свой электрон; от этого шар разрядится и ионизация газа исчезнет (его положительные ионы отталкиваются положительно заряженным шаром и также разряжаются коснувшись стенок комнаты).

Ионизация газа исчезает с течением времени сама по себе, так как положительные и отрицательные газовые ионы взаимно притягиваются и, таким образом, нейтрализуются.

Мы видим, следовательно, что всякий электрический ток представляет поток электронов; в твердых проводниках электроны движутся свободно, в электролитах они нагружены атомами, в газах же — группами атомов.

Элементарный квант. Мы видели на стр. 53, что при катодных лучах можно непосредственно определить только так называемый удельный заряд, т.-е. $\frac{\text{заряд}}{\text{масса}}$ (т.-е. отношение заряда к массе).

Что касается определения самого заряда, то оно основано на следующем явлении: если распылить жидкость на очень маленькие капельки, то некоторые из них будут содержать больше электронов, чем другие. Эти чрезвычайно маленькие шарообразные капельки имеют различные диаметры, свободно плавают в воздухе (как капельки тумана) и заря-

жены электричеством (вследствие разности в содержании электронов). Каждая капля естественно должна падать; но так как они очень малы, то трение о воздух очень велико, и они падают медленно.

Вспомним, что большие капли дождя быстро падают на землю, или что градины величиной с голубиное яйцо могут при падении даже поранить, в то время, как состоящий из мелких капелек туман плавает в воздухе. Чем меньше тело, тем больше его поверхность по отношению к его массе. Поэтому маленькие капельки тумана падают чрезвычайно медленно.

Теперь существует математическая формула, с некоторого времени даже несколько формул, которые позволяют вычислить диаметр, а следов. и величину шарика, падающего в воздухе, по скорости этого падения.

Наблюдая падение шарика, можно сказать, какова его величина. Справедливы ли эти формулы, это еще вопрос. Но только они дают возможность вычислить диаметр таких маленьких частичек.

Если поместить эти плавающие капельки между двумя горизонтальными металлическими пластинками, из которых верхняя заряжена положительно, а нижняя отрицательно, то в момент заряжения пластинок отрицательно заряженные капельки притянутся вверх. Таким образом можно то оставлять капельки падать между незаряженными пластинками, то заставлять их подниматься вверх, заряжая пластинки. Падение дает возможность определить величину (или массу), поднятие, или точнее говоря, скорость, с какой капля поднимается вверх,—заряд капли. Этот заряд оказывается равным электрическому элементарному кванту e или его кратному.

Этот и множество аналогичных опытов проводят к заключению, что электричество состоит из атомов: оно всегда встречается в виде квантов e или их кратных.

Электрон в электродинамике.

Мы видели, что магнит отклоняет катодные лучи. Электроны отклоняются от своего пути вверх (Рис. 16) и ударяются в стеклянную стенку.

Пондеромоторное действие. Проводник можно представить себе (как показано на стр. 57) состоящим из огромного количества лежащих друг за другом и друг возле друга катодных трубок, направленных в одну сторону. Ясно, что и здесь магнит должен искривить пути лучей всех катодных трубок.

На рис. 24 (как и на 20) изображена часть проводника, по которому идет ток, подвергнутого действию магнита. Здесь все пути электронов искривлены магнитом вверх; все электроны, следовательно,

дают толчки в верхнюю часть, и благодаря большому числу этих толчков, проводник в действительности получает стремление вверх. Вот почему проводник, по которому идет ток, движется в магнитном поле. Так как здесь движется „масса“ проводника, то говорят о „пондеромоторном“ (движущем вес) действии; это одно из фундаментальных явлений электродинамики и основание современной электротехники. Всякий электромотор именно так приходит в движение. В вагоне электрического трамвая отклоняемые магнитными силами с своего пути электроны, подобно сказочным гномам, благодаря своему несметному количеству, катят с большой скоростью тяжелый вагон.

Здесь у нас (Рис. 24) электрическая энергия тока превращается в механическую работу, в передвижение проволоки.

Этот электродинамический процесс можно обратить: можно превратить механическую работу в электрический ток.

Магнитная индукция. Если механически передвигать, напр., рукой слева направо (Рис. 25) проводник, по которому не проходит ток, то все электроны внутри проводника

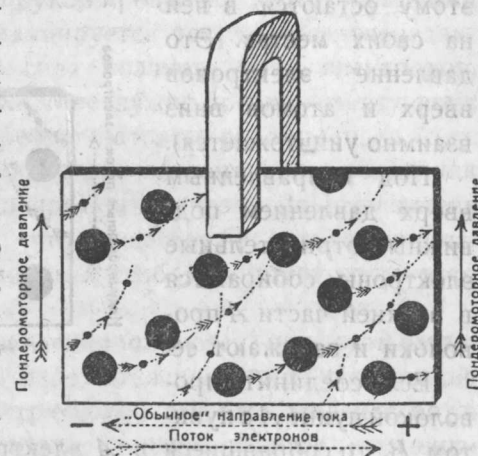


Рис. 24.

механически увлекаются также слева направо; все они двигаются по горизонтальной линии слева направо. Если это передвижение происходит в магнитном поле, то опять получается отклонение кверху, как изображено на рис. 25.—(Положительные атомы или молекулы—большие черные кружки,—движутся при этом механическом перемещении всей проволоки также вправо, и поэтому получают от магнита давление вниз; но они неподвижны в проволоке, и поэтому остаются в ней на своих местах. Это давление электронов вверх и атомов вниз взаимно уничтожается).

Под направленным вверх давлением подвижные отрицательные электроны собираются в верхней части *A* проволоки и заряжают ее.

Если соединить проволокой пункт *A* с пунктом *B*, то собравшиеся в *A* электроны пойдут по этой проволоке обратно к *B*; получится индуцированный ток.

Это—второе основное начало электротехники (динамомашины, трансформаторы и т. д.).

В проводнике, движущемся через магнитное поле, индуцируется электродвижущая сила, и при этом—как эквивалент получаемой энергии тока—затрачивается работа.

Напор электронов в покоящемся проводнике, по которому не проходит ток, не может вызвать внешнего движения проводника. Доказать это можно путем следующего рассуждения.

Когда электрон отлетает от молекулы или от атома, он дает им толчок назад (Рис. 19). Когда затем электрон ударяется о другой атом, соединенный неподвижно с первым, то этот толчок вперед уничтожает действие толчка назад.

Это все равно, как если бы мы выстрелили из пушки,

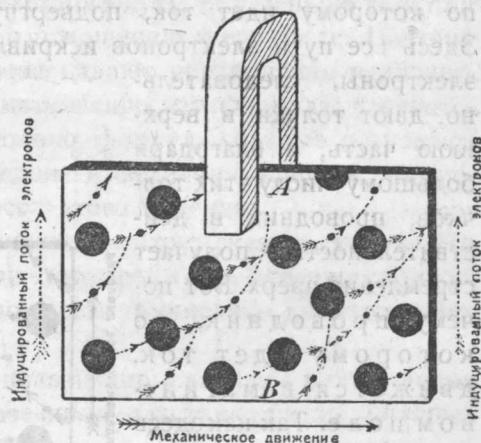


Рис. 25.

находящейся в задней части корабля, вдоль его в доску, укрепленную в передней части корабля. Толчок назад укрепленной на корабле пушки уничтожился бы толчком вперед ядра, попавшего в доску, также укрепленную на том же корабле. Если бы сильный боковой ветер так отклонил летящее ядро, что оно пролетело бы мимо доски в море, то не уничтоженный теперь толчок назад выстрела должен был бы произвести давление на корабль по тому же направлению (назад). То же происходит и в проводнике рисунка 25. Если я, напр., передвигаю рукой проволоку между полюсами магнита так, что в ней индуцируется ток, то этому передвижению противодействует сила толчков назад электронов, отскакивающих от молекул. Мне нужно преодолеть эту силу; поэтому индукция тока требует затраты работы.

К сожалению, дело здесь не обстоит так просто, как может показаться из этого краткого эскиза. Во всех наших примерах мы принимали, что существуют только отрицательные электроны, способные свободно двигаться в проводнике.

Однако, некоторые явления остаются при этом непонятными, или, по крайней мере, объяснимы лишь с натяжкой. Они требуют, чтобы электрический ток был связан с потоком положительных электронов в одну сторону и отрицательных—в другую.

Электрон в оптике.

Упругая теория света. Физика рассматривает все явления внешнего мира, вызывающие у нас нормальные световые ощущения, как волнообразное движение. Сначала получила развитие чисто упругая теория света, которая принимала существование всепроникающего эфира; находящиеся в этом эфире атомы материи колеблются, вследствие теплового состояния тел, и возбуждают в эфире поперечные колебания, волнообразно распространяющиеся со скоростью света от излучающего тела к нашему глазу. Каждая частичка эфира, лежащая на пути светового луча, колеблется, следовательно, около своего положения равновесия перпендикулярно к направлению распространения света. Чрезвычайно большая

величина скорости света требует колоссальной величины упругости эфира; она должна быть много больше упругости стали, ибо только в таком случае и только в твердых телах возможно поперечное волнообразное движение. С другой стороны, планеты движутся в том же самом эфире (который должен быть твердым телом!) без сколько-нибудь заметного трения. Но это еще не все. По некоторым соображениям относительно продольных световых волн, сжимаемость эфира должна либо равняться нулю, либо быть бесконечно большой.

Эти и еще другие противоречия окутывают туманом натяжек тот красивый образ световых явлений, который рисует нам упругая теория света.

Электромагнитная теория света. Поэтому идея Максвелла (стр. 17), по которой свет должен быть электромагнитным возмущением эфира, представляет большой шаг вперед, независимо от того, что она делает оптику частью учения об электричестве и, таким образом, дает более единообразную картину физического миропонимания. Но и эта Максвеллевская теория света содержит некоторые сомнительные места. Для процессов в пустом пространстве, в открытом эфирном море все происходящее точно согласуется с теорией; но повсюду, где эфирные волны разбиваются о материальные тела и где они проникают через эфир в самой материи, следовательно, там, где происходит преломление и цветовое рассеяние света, возникают и растут затруднения для теории.

Способ и образ того, как связаны между собою движение атомов твердого тела с движениями эфира становятся менее трудно понимаемыми при развитии теории Максвелла путем введения понятия об электроне.

Как атом построен из электронов. Отрицательные электроны, о которых мы говорили в последних главах, могут при известных условиях уходить из атомов. Но в атоме должно находиться положительное ядро, удерживающее в нем электроны. Таким образом, атом представляет вселенную в маленьком виде, приблизительно аналогичную нашей солнечной системе; в нем находится центральное тело, обладающее положительным зарядом, вокруг которого, подобно планетам, носятся колеблющиеся отрицательные электроны.

Каждое колебание электрона (т. е. электрического заряда) должно порождать ту или иную электромагнитную волну (стр. 16), зависящую от рода и продолжительности колебания электрона.

Заряд электрона является связующим звеном между эфиром и материей. Такое представление делает более понятными часто очень сложные явления излучения.

Если смотреть сквозь стеклянную призму на пламя свечи, то увидим все цвета радуги друг возле друга. Мы видим здесь так называемый непрерывный спектр, в котором цвета красной стороны соответствуют длинным, а цвета синей стороны — более коротким волнам.

Если будем изучать подобным образом свет, излучаемый электрической искрой, проскакивающей между железными остриями, и пропущенной через узкую щель, то увидим целый ряд окрашенных линий; в таком испускаемом железом свете находится около 2000 цветных линий. Следовательно, спектр железа состоит из 2000 различных цветов или различных колебаний эфира. Всякий элемент характеризуется совершенно определенным, „состоящим из линий спектром“. Мы должны принять, что каждый отдельный атом испускает все эти колебания или, по меньшей мере, большую часть их. Следовательно, каждый отдельный атом посылает около 2000 различных лучей. Электронная теория говорит нам, что атом железа, масса которого в 56 раз больше массы водородного атома, содержит 56 раз 2000 электронов, предполагая, что положительные электроны обладают массой такой же величины, что и описанный нами отрицательный электрон.

Какова бы ни была наша гипотеза о строении или архитектуре атома, всегда нужно считать, что каждый атом состоит из очень большого числа электронов. Так как различные члены этого большого количества (или их отдельные группы) могут колебаться различным образом, то разнообразие испускаемых лучей становится менее непонятным: часть электронов порождает одну линию, часть — другую и т. д.

Эффект Зеемана. Мы видели в предыдущей главе на различных примерах, как магнитное поле отклоняет пути электронов. Если излучение имеет своим исходным пунктом

движущийся электрон, то излучение тела, находящегося в сильном магнитном поле, должно изменяться. Голландец Г. Лоренц вычислил этот эффект, а его ученик Зееман позднее (1896 год) нашел его опытным путем. Этот эффект Зеемана, который искало много физиков до него, но не могли найти, требует особенно чувствительных приборов. Он состоит в том, что какая-либо определенная линия спектра расщепляется (в простых случаях) на две или три линии. Наиболее замечательным результатом этих опытов и вычислений является вывод, что удельный заряд электрона, который и здесь пришлось привлечь к объяснению этого явления, оказался величиной точно такого же порядка, что и удельный заряд его, найденный при катодных лучах.

Радиоактивность.

Открытие. Рентген совершенно случайно открыл названные по его имени лучи. Его большая заслуга состояла в том, что он сумел вполне правильно разобраться в этих поразительных явлениях. Для истории науки очень интересно, что и открытие радиоактивности произошло, так сказать, попутно, — именно благодаря неправильной гипотезе, проверка которой привела к этому удивительному, неожиданному и имеющему огромное значение открытию.

Вскоре после открытия Рентгена было с различных сторон высказано ошибочное предположение, что причиной рентгеновского излучения служит, быть может, флуоресценция стеклянной стенки, вызываемая катодными лучами.

Исходя из такой идеи, Анри Беккерель (1896) помещал различные флуоресцирующие вещества на завернутые в черную бумагу фотографические пластинки.

Путем освещения солнечным светом эти исследуемые вещества приводились в состояние сильной флуоресценции. Солнечный свет не действует на фотографическую пластинку сквозь толстую черную бумагу, но рентгеновские лучи, если они исходят из флуоресцирующих веществ, должны на нее действовать. В общем оказалось, что никакого действия на пластинку не наблюдалось. Только урановые соединения вы-

зывали ожидаемое почернение фотографической пластинки. При контрольных опытах Беккерель нашел, что это действие солей урана происходит и в темноте, несмотря на то, что при этом условии урановые соли вовсе не флуоресцировали. Отсюда ясно, что исследованные соли урана непрерывно испускают подобные рентгеновским, но самостоятельные лучи, проходящие через черную бумагу и действующие на фотографическую пластинку. Это удивительное излучение названо было сначала беккерелевскими лучами, позднее же получило название „радиоактивного излучения“.

Радиоактивное излучение обладает не только фотохимическим действием. Попадая на некоторые вещества, оно вызывает их флуоресценцию и, пронизывая воздух, делает его проводником электричества, т. е. ионизирует его (стр. 65). Слабая радиоактивность не вызывает флуоресценцию. Для открытия слабо радиоактивных лучей можно пользоваться явлением почернения под их влиянием фотографической пластинки, так как исследуемый материал можно оставить лежать на пластинке в течение долгого времени. Однако отличить степень почернения можно лишь с небольшой точностью; но зато вызываемая радиоактивными лучами электропроводность воздуха поддается очень точному количественному определению.

Принцип подобного рода исследований схематически изображен на рис. 26. Если наэлектризовать два тонких алюминиевых листочка a и a' , которые подвешены к изолированному металлическому стержню D , то они оттолкнутся друг от друга.

Они часами будут оставаться почти в таком же положении, если стержень хорошо изолирован. Но если поместить вблизи нашего прибора радиоактивное вещество R , то воздух около шарика D станет проводником электричества, и оно уйдет из стержня и листочков; листочки сблизятся. При этом очень точно наблюдают скорость спадания листочков; чем быстрее оно происходит,

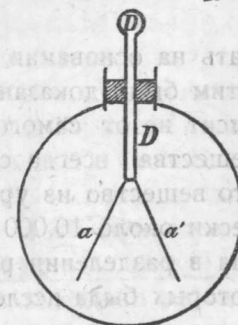


Рис. 26.

тем сильнее, значит, радиоактивное вещество R ионизирует воздух и тем больше, следовательно, его радиоактивность.

Радий. Супруги Кюри исследовали по этому методу ряд веществ и нашли, что все соединения урана и тория радиоактивны. Точно так же оказались радиоактивными и сами элементы уран и торий. При этом обнаружился удивительный и богатый следствиями факт, что некоторые соединения урана, напр., урановая смолка (Рис. 27), из Иохимсталля в Богемии, более радиоактивны, чем можно было ожи-

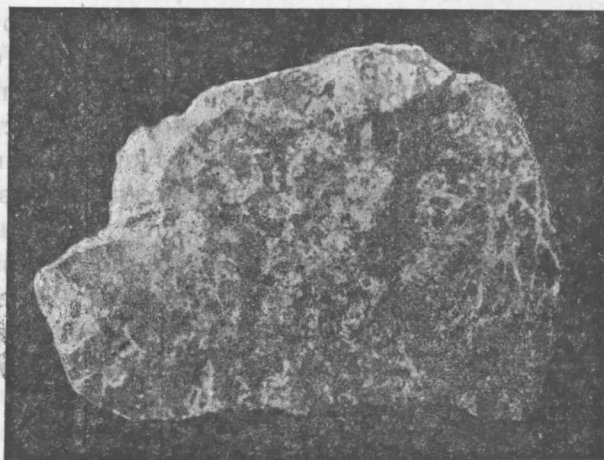


Рис. 27.

дать на основании количества содержащегося в них урана. Этим было доказано, что эта сильная радиоактивность зависит не от самого урана, но от присутствия какого-то вещества, всегда сопровождающего уран. Чтобы получить это вещество из урановой смолки, было переработано химически около 10.000 килограмм этой руды. Обработка состояла в разделении руды на составные части, радиоактивность которых была исследована по описанному выше методу. Наиболее сильно радиоактивные части разлагались далее, их составные части вновь исследовались на радиоактивность, и т. д. В 1898 г. госпоже Кюри (в сотрудничестве с ее мужем) удалось, наконец, получить по этому методу вещество, в миллион раз более радиоактивное, чем уран.

Эту составную часть урановой смолки, оказавшейся на основании ряда химических и физических исследований новым химическим элементом, госпожа Кюри назвала радием (химический знак Ra). Вещество не было, собственно, самим элементом радием, но его соединением с хлором, — хлористым радием.

Хлористый радий действует (в радиоактивном смысле) сообразно количеству содержащегося в нем радия, как это было показано позднее, когда был получен металлический радий. Из 10.000 килограмм остатков смолки можно получить только 4 грамма чистого радия.

Он непрерывно, день и ночь, из года в год, нагревает окружающую его среду, и это выделение тепла продолжается, насколько мы можем судить при помощи сделанных до сих пор измерений, без какого-либо ослабления; грамм радия может нагреть в течение часа грамм воды на 132° Цельсия.

Излучение радия обладает целым рядом в высшей степени замечательных химических и физиологических (разрушающих ткани) действий.

Излучение радия состоит, главным образом, из трех рода лучей.

На рис. 28 в маленькой свинцовой ступке R находятся следы хлористого радия. Все лучи идут здесь только вертикально вверх, так как остальная часть их поглощается свинцовыми стенками и дном ступки. Если поместить вблизи сильный магнит, то часть лучей не отклоняется; это так назыв. „ γ -лучи“ (гамма-лучи), по всем физическим свойствам совершенно идентичные рентгеновским лучам. Другая часть „ β -лучи“ (бета лучи), сильно отклоняются магнитом, и третья часть „ α -лучи“ (альфа-лучи), отклоняются очень мало по направлению, противоположному направлению отклонения β -лучей.

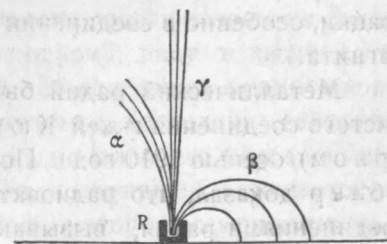


Рис. 28.

Электростатические силы также искривляют путь лучей радия совершенно аналогично искривлению катодных лучей.

Подобные опыты приводят к следующему заключению относительно природы этих лучей. 98% излучения радия состоят из α -лучей, представляющих выбрасываемые радием положительно заряженные частички массы (как и анодные лучи). Каждая из этих частичек обладает в четыре раза большей массой, чем водородный атом, и движется со скоростью около 20.000 километров в секунду.

β -лучи состоят из выбрасываемых радием отрицательных электронов, которые обладают точно такой же величиной, что и электроны катодных лучей, но движутся быстрее последних, проходя около 290.000 километров в секунду. Едва ли нужно упоминать, что в сравнении с этой скоростью все нам известные скорости летящих масс ничтожны; наиболее быстро летящий артиллерийский снаряд проходит лишь около одного километра в секунду.

Так как γ -излучение идентично рентгеновскому, то оно представляет волнообразное движение ээира, распространяющееся со скоростью света (300.000 километров в секунду).

α -лучи легко поглощаются; так, напр., алюминиевая пластинка, толщиной в $\frac{1}{30}$ миллиметра, или слой воздуха в 4—7 сантиметров толщины, совершенно их задерживают. β -лучи поглощаются свинцовой пластинкой только в 4 миллиметра толщиной, а менее всего поглощаемые γ -лучи проникают отчасти даже через 30-сантиметровой толщины железную пластинку.

Лучи эти, следовательно, можно разделить путем фильтрации, особенно в соединении с отклонением их при помощи магнита.

Металлический радий был впервые выделен из его бромистого соединения г-жей Кюри (в сотрудничестве с Дебьерном) осенью 1910 года. Пользуясь металлическим радием, Эблер доказал, что радиоактивные явления, производимые соединениями радия, вызываются исключительно атомами самого радия. Эблер сначала измерил величину активности полученного им металлического радия; затем перевел радий в его хлористую соль и измерил величину активности этой соли. Оказалось, что обе величины равны, а это значит, что радиоактивные свойства принадлежат самим атомам радия, а не молекулам его соединений, и что химические

процессы, происходящие с радием, не имеют никакого влияния на эти свойства.

Металлический радий, — полученный в виде белого блестящего порошка, — на воздухе чернеет, покрываясь слоем окиси.

Радий, при внесении в воду, разлагает ее на водород и кислород. Современным научным способом исследования удалось в сравнительно короткий промежуток времени познать сложную природу радиоактивных лучей.

Особенно много затруднений было с явлением „индуцированной“ (наведенной) радиоактивности и с превращением „эманации радия“ в гелий. Индуцированная радиоактивность состоит в том, что все тела, находившиеся некоторое время вблизи радия, становятся радиоактивными.

Потом было найдено, что из радия непрерывно выделяется газ, названный сначала „эманацией радия“, а затем „нитон“. Если воздух, находившийся некоторое время в соприкосновении с радием, пропустить через охлажденную до -150° Ц. стеклянную трубку, то на стенках ее собирается какая-то жидкость, хотя воздух при этой температуре еще не сжижается. Если эту жидкость нагреть до комнатной температуры, то она превращается в газ, — эманацию радия (или нитон). Запаянный в стеклянной трубке нитон превращается через несколько дней в другой газ, — гелий. Все эти невероятные, но подтвержденные многократными наблюдениями факты, и, в особенности, то обстоятельство, что самонагревание радия является, повидимому, исключением из закона сохранения энергии, привели к целому ряду в высшей степени странных предположений. В настоящее время все эти предположения оказались ненужными, благодаря гениальной теории распада атомов Резерфорда и Содди (1902).

Теория распада атомов. Радиоактивным называется такое вещество, некоторые из атомов которого самопроизвольно изменяются. Мы разъясним это на примере самого радия. Чистый, свежий радий испускает только α - и β -лучи. Но это делают только немногие атомы из большой массы радия. Благодаря потере α и β частиц, эти атомы как бы взрывами превращаются в другие. Образуется новый газообразный элемент, называемый эманацией радия или нито-

ном. Но только немногие из атомов радия так плохо построены, что должны распасться, как плохо построенный дом. Из 2750 триллионов атомов, находящихся в одном грамме радия, распадаются в секунду только тридцать четыре тысячи миллионов, следовательно, всего только биллионная часть. Следовательно, если у нас имеется какая-либо масса радия, то пройдет много тысяч лет, прежде чем она целиком превратится в нитон.

Но и атомы этого нового элемента нитона также неустойчивы. Нитон излучает только α -частицы, и каждый его атом, теряя одну α -частицу, превращается в новый атом; получается новое химическое вещество радий „А“, представляющее твердое тело. Это превращение нитона в радий А происходит очень скоро. Продолжительность жизни нитона исчисляется только днями, уже по истечении 3,85 дней половина имеющегося налицо нитона исчезает.

Если у нас имеется чистый газообразный нитон, т.е. много его атомов, заключенных в трубку, то эти атомы распадаются, как сказано выше, на радий А и α -частицы. Радий А, как твердое вещество, осаждается на стеклянных стенках, пространство же трубки остается заполненным газом, состоящим из потерявших свой заряд α -частиц. Спектральное исследование этого газа показывает, что это элемент гелий. Следовательно, выбрасываемые α -частицы представляют положительно заряженные атомы гелия, и этим объясняется кажущееся превращение газа нитона в газ гелий. Следы твердого радия А, сидящего на стенках стеклянной трубки, также радиоактивны; так разъяснилась загадочная сущность индуцированной радиоактивности. На всем, что соприкасается с эманацией, остаются следы радия А, радия В и т. д.; и этим объясняется индуцированная радиоактивность посторонних тел, находившихся некоторое время вблизи радия.

Радий А подвергается дальнейшему превращению. Получается новое тело радий В; производимое им действие через полчаса уменьшается наполовину, потому что из него получается новое вещество, и т. д. Так образуется целый ряд следующих друг за другом генераций.

Мы видели, что родоначальником радия является уран.

Сам уран очень слабо радиоактивное вещество. Только очень маленькая часть атомов большого количества урана распадается, превращаясь в новый элемент; этот последний превращается в другой элемент и т. д.; последовательность генераций изображена на следующей таблице:

Ряд урана — радия

Радиоактивные элементы	Время распадаения половинного количества взятого элемента
Уран	5,10 ⁹ лет
Уран Х ₁	24 дня
Уран Х ₂	1,15 минут
Уран II	2,10 ⁶ лет
Уран Y	25 часов
Ионий	10 ⁵ лет
Радий	1600 лет
Эманация радия	3,85 дня
Радий А	3 минуты
„ В	26,6 минуты
„ С	19,5 минуты
„ С'	10 — ⁶ секунд
„ С''	1,32 минуты
„ D	16 лет
„ E	5 дней
„ F	136 дней
„ G	
(Радиосвинец)	—

Важнейшим средством для распознавания этих элементов служит „продолжительность жизни“ соответствующего радиоактивного препарата. Радиоактивное излучение свежего препарата уменьшается сначала быстро и затем все медленнее. По силе этого уменьшения определяют „половинный период“, т. е. то время, в течение которого излучение становится

равным половине начального. Этот период является вполне характерным для каждого из этих элементов. Величины этих периодов помещены в предыдущей таблице. Для долго живущих из этих элементов приходится применять косвенные методы, — половинный период для радия равен 1300 годам, а для урана 1000 миллионам лет!

Конечным членом этого ряда является свинец. Во всяком случае еще не удалось получить бесспорного доказательства превращения радиоактивных элементов в свинец. Однако, различного рода соображения говорят в пользу этого предположения. Во первых, во всех минералах, содержащих начальный член этого ряда — уран, встречается также и свинец, и в большинстве случаев отношение между свинцом и ураном в минералах постоянно. Кроме того, на основании величины атомных весов радия и свинца, можно заключить, что свинец действительно занимает в этом ряду приписываемое ему место. Атомный вес радия равен 226. При превращении атома радия в атом свинца первый теряет пять α -частиц. Каждая α -частица, после потери своего положительного заряда, соответствует атому гелия, атомный вес которого равен 4. Следовательно, атомный вес радия уменьшается на $5 \times 4 = 20$ атомных единиц. Отсюда конечный член должен иметь атомный вес $226 - 20 = 206$; эта величина чрезвычайно близка к атомному весу свинца (207,2).

Всюду, где долгое время находился уран, должны встречаться все эти продукты его превращения. Понятно, что те из них, которые живут больше других, должны встречаться в больших количествах. Результаты исследований залежей урана подтверждают это.

Из всего сказанного ясно, что урановая смолка представляет смесь самых различных радиоактивных составных частей; значит, и рудничная вода из урановых рудников содержит довольно сложные примеси.

Замечательнее всего то, что эти радиоактивные превращения больших атомов урана в меньшие атомы радия и т. д. происходят сами по себе; они совершенно не зависят от температуры или каких-либо других физических воздействий. Мы не можем никакими известными нам средствами ни вызвать эти превращения, ни увеличить или уменьшить их

интенсивность. Вполне понятно, что при этих превращениях происходит бурное потрясение атома и выделение, поэтому, теплоты; было бы, наоборот, удивительно, если бы это не происходило.

Кроме радиоактивных элементов ряда урана существуют еще два ряда: тория и актиния.

Возникает вопрос, является ли радиоактивность специальным свойством так называемых радиоактивных элементов, или же атомы и всех остальных элементов распадаются аналогичным образом. Исследование большого числа известных элементов показало, что за немногими исключениями остальные элементы не активны. Возможно, что у остальных элементов эти процессы протекают так медленно, что мы этого не можем заметить. Но возможно еще и следующее предположение. Мир существует уже много, много миллионов лет; можно думать, что процессы разложения больших атомов, из которых произошли меньшие атомы наших элементов, уже давно закончены; эти большие нестойкие атомы давно исчезли, превратившись в меньшие стойкие; так через много миллионов лет совершенно исчезнет уран...

Не нужно забывать, что наши опыты охватывают такую ничтожную во времени часть развития всего сущего, что наша мысль имеет в своем распоряжении лишь исчезающе малый осколок вечной смены происходящих во вселенной явлений.

Точно так же очень незначителен тот интервал температур, который доступен нашему исследованию; еще меньше те разности давлений, которые мы можем искусственно устроить, — мы не в состоянии получить совершенной пустоты, а с другой стороны, мы едва ли получим когда-либо давления, близкие к тем, которые господствуют в глубинах нашей земли.

Человек, далеко стоящий от науки, не может иметь даже отдаленного представления о том, какой колоссальной затраты поразительного, тончайшего экспериментального искусства и теоретического остроумия потребовали исследования в области радиоактивных явлений. Не говоря уже о том, что пришлось отвергнуть опирающиеся на незыблемую,

казалось бы почву представления о неделимости атомов. И не только это. Оказалось, что атомы, эти прочные неразрушимые краеугольные камни мироздания, представляют в некотором смысле живые существа, развивающиеся по определенным законам и в определенном направлении; большие атомы закономерно распадаются на меньшие. Мы не знаем до сих пор такого физического или химического агента, который мог бы задержать или ускорить этот распад. Открытие такого агента повело бы к далеко идущим непредвидимым следствиям.

Было уже упомянуто, что радий непрерывно выделяет тепло; это — явление, сопровождающее превращение радия в ближайший из его продуктов. Дальнейшее их превращение также соединено с изменением энергии, поэтому и здесь происходит выделение тепла. Это превращение радиоактивных веществ протекает по большей части очень медленно, и теплота выделяется постепенно, маленькими порциями; если бы у нас в руках было средство ускорить этот атомный распад, то все постепенно выделяемое огромное количество тепла выделилось бы в короткий промежуток времени. Превращение килограмма урана в emanацию радия требует многих тысяч лет; если бы можно было заставить это количество урана разложиться в течение тысячи часов, то количество выделившейся в это время энергии было бы так велико, что доставляло бы нам непрерывно тысячи лошадиных сил в течение этих тысячи часов.

Но еще интереснее, чем фантазии из области техники осуществление которых дело будущего, философское значение этих явлений. Мы наблюдаем распад более сложных атомов на более простые.

Указывает ли это определенное направление на определенный, ожидающий нас конец? Или это доказательство наступления новой эпохи в развитии вселенной?

Или же настоящий момент лежит на опускающейся части кривой периодического хода мирового развития? К подобного рода размышлениям привела уже нас термодинамика.

Пророчествовать всегда опасно! Но если юное учение о радиоактивности будет развиваться и дальше в таком же темпе, что и до сих пор, то оно произведет глубокий пере-

ворот во всех отраслях человеческого знания и мысли! Открытие радиоактивности — одно из важнейших завоеваний человеческого гения!

Кажущаяся масса.

Мы видели, что электрический ток, по прекращении действия вызывающей его силы, еще движется немного в прежнем направлении. Наоборот, если мы соединим проволокой положительно и отрицательно заряженное тело, то происходящий при этом ток течет сначала медленно и только постепенно достигает своей полной величины. Выходит так, как будто электроны обладают инерцией. Происходит это оттого, что вначале ток затрачивает часть своей энергии на образование магнитного поля и только по образовании его он течет с нормальной силой,

Наоборот, при прекращении действия силы, вызывающей ток, исчезает окружающее ток магнитное поле, и освобождающаяся при этом магнитная энергия влечет ток еще немного по его прежнему направлению.

Если ток состоит из летящих внутри проводника, вдоль него, отрицательных электронов, то, когда электрон приходит в движение, должно образоваться магнитное поле. Когда электрон движется, то приходится принимать в расчет двойного рода инерцию, — обыкновенную инерцию, вызываемую „обыкновенной“ массой электрона, и „кажущуюся“ инерцию, так как движущаяся масса обладает электрическим зарядом. То же самое будет, когда движущийся электрон должен прийти в состояние покоя; для этого нужно сначала привести в состояние покоя „обыкновенную“ массу, затем уничтожить электро-магнитное поле, порожденное движущимся зарядом.

Мы можем, поэтому, сказать, что всякий электрон обладает — по отношению к инерции — двойного рода массой, — действительной, обыкновенной массой и обусловленной его зарядом, кажущейся массой.

Обыкновенная масса всегда остается одной и той же, независимо от того, будет ли она двигаться быстрее или медленнее, кажущаяся же масса становится, как показывает

вычисление, тем больше, чем больше скорость ее движения, она изменяется с изменением скорости движения.

Когда было произведено наблюдение явления отклонения β -лучей радиоактивного вещества магнитными и электрическими силами (Кауфман, 1901) и вычислена отсюда скорость движения и масса электрона, то было действительно найдено, что масса его, состоящая, как мы видели, из кажущейся и действительной масс, становится больше по мере увеличения скорости движения.

Действительная масса не может изменяться, изменяется только кажущаяся; поэтому из степени изменения массы со скоростью можно вычислить, какая часть массы электрона является обыкновенной массой, и какая кажущейся, обусловленной электрическим зарядом.

При этом получился парадоксальный результат, что электрон обладает только кажущейся массой, вся инерция электрона зависит от его заряда; массы, в обычном в механике смысле этого слова, у него совсем нет.

Если электрон обладает только кажущейся массой, то, значит, он представляет собою только „электричество“; кроме электричества в нем ничего нет.

Если теперь вспомнить, что все обыкновенные атомы различных веществ должны состоять из электронов, то мы придем к ошеломляющему выводу, что атомы состоят из электричества, а следовательно, и молекулы, и все вещества, построенные из молекул; таким образом материя состоит из электричества. Эта книга, мой письменный стол, я сам, этот дом, в котором я живу, весь мир,—все это только электричество.

Но если электрон только электричество, то вся область физики представляет учение об электричестве, и во всех остальных областях естествознания механическое мировоззрение должно быть заменено электромагнитной картиной мира.

Но „масса“, по нашему определению (стр. 1), обладает не только свойством инерции, но также и тяготением. Существует много попыток объяснить силу тяготения атома чисто электрическим путем. Напр., при предположении, что взаимное притяжение положительных и отрицательных электронов больше, чем взаимное отталкивание как положительных, так

и отрицательных электронов, приходят, как к выводу, к ньютоновскому закону тяготения.

Но существует в механике много других сил, как, напр., силы трения и им подобные, которые еще ждут электрического объяснения.

Все сказанное кажется еще более удивительным в свете идей, о которых говорится в следующей главе.

Принцип относительности.

Эта глава состоит из двух частей. Первая часть трактует о давно известном принципе относительности механических движений; этот принцип легко доступен пониманию; вторая часть говорит об относительности понятия времени и вводит нас в область очень трудно понимаемого, новейшего и еще не законченного реформаторского движения в физике.

Относительность движения. Движение какого-либо тела измеряется изменением его расстояния от других тел. Когда я хожу в своей комнате из стороны в сторону, то изменяются расстояния моего тела от стен комнаты.

Здесь я рассматриваю свое движение относительно мнимо неподвижных стен. Но эти стены движутся, благодаря движению земли вокруг ее оси, совершая полный оборот в 24 часа. С этой точки зрения кривая движения моего тела будет совершенно другой, будет более сложной. Кроме того, земля движется вокруг солнца и, наконец, солнце движется по направлению к созвездию Геркулеса. По отношению к чему правильнее рассматривать эти движения? Какие из скоростей будут действительными? Такие рассуждения об относительности механических процессов очень древни. Постараемся разъяснить все это на нескольких примерах.

Если пробудиться от сна внутри снабженного хорошими рессорами, равномерно катящегося вагона железнодорожного поезда, то при завешенных окнах очень трудно сказать, идет ли он или стоит на месте. Чтобы узнать это, мы поднимаем немного занавеску; мы видим, что на соседнем пути, близко от окна движется вагон другого поезда; мы не

можем при этом сказать, мы ли едем, а соседний поезд стоит, или наоборот. Сказанное испытывал не раз, конечно, всякий из читателей. И только, если мы одновременно увидим телеграфный столб, станционные здания и т. п., для нас станет ясно, какой из поездов находится в движении, понятно в движении „по отношению к земле“.

Однако, мы вполне можем заметить изменения движения и без таких служащих для сравнения тел. Вообразим себе лабораторию в поезде, в лифте (подъемной машине) или на воздушном шаре. Пусть окна лаборатории будут плотно закрыты и завешены, так что из нее нельзя ничего видеть.

Все время, пока такая подвижная лаборатория движется по прямому направлению с равномерной скоростью — горизонтально ли в поезде или вертикально в лифте, либо на воздушном шаре, — находящийся внутри ее исследователь никоим образом не может знать, движется ли она или стоит на месте; все ведь механические опыты дают одни и те же результаты в равномерно движущемся вагоне поезда или в стоящем на месте. И только, если скорость или направление движения изменяются, находящийся внутри наблюдатель заметит это. Когда поезд трогается с места, то находящийся в вагоне маятник или багаж, вследствие своей инерции, испытывает давление по направлению, обратному направлению движения поезда, и наоборот, при остановке поезда маятник и багаж стремятся двигаться в направлении, противоположном первому (т. е. тому, по которому они испытывают давление в первом случае). Когда лифт трогается с места, поднимаясь вверх, то все, что в нем находится, становится как будто более тяжелым, чем в действительности, когда же он внезапно начинает идти вниз, все делается как будто более легким.

Это будет еще яснее на следующем примере. Подвесим на пружинных весах какое-либо тело и заметим, где стоит указатель весов, когда они находятся в покое. Дернем теперь быстро вверх весы вместе с телом. В момент толчка указатель опустится ниже, как будто тело стало тяжелее. Остановив весы или продолжая двигать их равномерно, мы заметим, что указатель вернется на прежнее место.

Когда лифт движется равномерно, то механические опы-

ты будут происходить в нем точно так же, как и в стоящей на месте, неподвижной лаборатории.

Точно так же, если изменится направление движения, находящийся внутри вагона наблюдатель это заметит. Поэтому все следующие примеры относятся к движению в равномерно по прямой линии движущейся системе.

Если внутри вагона движущегося поезда падает шар, то для меня, движущегося вместе с вагоном, он падает вертикально вниз по отношению к стенам вагона. Но наблюдателю, не движущемуся вместе с поездом, напр., железнодорожному сторожу, смотрящему извне внутрь вагона, шар кажется падающим по параболе. Наоборот, если кто-либо на станции выпустит из руки шар, то последний будет падать вертикально вниз, по мнению выпустившего его из руки человека. Мне же, находящемуся внутри идущего мимо станции поезда, если я взгляну из окна и увижу только этот мимо падающий шар, будет казаться, что он падает по параболе.

Резюмируем теперь сказанное.

1. Падающий вне поезда шар движется, по впечатлению лица, стоящего вне поезда, по вертикальной линии.
2. Падающий вне поезда шар движется по впечатлению лица, едущего в поезде, по параболе.
3. Падающий внутри вагона шар движется, по впечатлению едущего в вагоне лица, по вертикальной линии.
4. Падающий внутри вагона шар движется, по впечатлению стоящего вне поезда лица, по параболе.

Каждый, следовательно, получает другое впечатление от одного и того же явления, и каждый с полным правом может считать свое наблюдение правильным. Но ни тот ни другой не правы.

Я боюсь, что читатель скажет теперь нетерпеливо: да ведь это ясно, что шар в действительности падает вертикально на землю; все же остальное, что происходит в поезде и что видно из поезда, это обман зрения. Но верно так же и то, что сама земля все время движется, она тоже поезд, но его мы не можем покинуть.

Если наблюдать с какой-нибудь звезды путь падающего на землю шара, то он окажется очень сложной линией,

вид которой зависит от отношения скоростей земли и звезды. Чтобы получить действительный путь шара в пространстве, мы должны найти абсолютно неподвижное место наблюдения. Но мы никогда и никоим образом не можем утверждать, что как раз та звезда, с которой мы производим наблюдение, абсолютно неподвижна. Мы всегда, следовательно, измеряем относительные взаимные изменения места.

Все движения относительны и зависимы от никогда не определимого собственного движения места наблюдения. Если это твердо помнить, то легче понять дальнейшие рассуждения.

Это относится также и к энергии. Энергия движения летящей массы должна изменяться. Если из пушки на экваторе вылетает ядро со скоростью около $1/2$ километра в секунду точно по направлению с востока на запад, то энергия движения этого ядра для обитателя земли будет колоссальна. Но так как скорость собственного движения каждого пункта экватора, вследствие вращения земли с запада на восток, также около $1/2$ километра в секунду, то та же самая энергия движения ядра равна нулю для наблюдателя, не вращающегося вместе с землей; ему будет казаться, что ядро висит неподвижно над землей, а поверхность земли под ядром убегает, вращаясь. Какова же действительная энергия движения ядра? Мы можем говорить только о разности энергий по отношению к какой-нибудь системе, напр., к земле.

Обсуждавшаяся до сих пор в этой главе часть принципа относительности не представляет никаких особых затруднений для понимания. При выражениях скорости, энергии и т. д., все зависит от произвольного выбора места наблюдения. При лабораторных опытах такой системой, по отношению к которой производятся наблюдения и измерения, считают по большей части землю и, соответственно с этим, стены лаборатории; но вопрос становится сложнее, когда дело идет о движениях, протекающих в эфире. Должны ли мы считать, что все проникающий эфир так же принимает участие во вращении земли, как и воздушная атмосфера? Ряд опытов говорит против этого предположения;

вкратце говоря, дело обстоит так, как будто бы эфир был наиболее надежной системой, по отношению к которой следовало бы наблюдать и измерять все движения. Этот световой эфир заполняет все пространство вселенной, и то, что мы называем пустотой, представляет заполненное эфиром пространство. Но, приняв такую систему для сравнения, мы наталкиваемся на следующее затруднение.

Движение земли и скорость света. Земля движется вокруг солнца со скоростью около 30 километров в секунду. Не будем обращать внимание на собственное движение солнца и примем, что оно находится в покое по отношению к эфиру.

Тогда мы будем иметь дело лишь с относительным движением земли и эфира. Мы можем для удобства сказать иначе: эфирный ветер со скоростью 30-ти километров в секунду мчится навстречу земле. Вследствие движения земли вокруг своей оси, этот эфирный ветер в течение 24-х часов дует попеременно со всех сторон.

Рис. 29 изображает маленький кусочек годового пути земли вокруг солнца. Земная ось на рисунке перпендику-

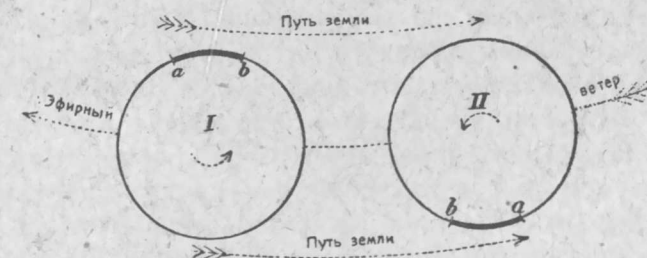


Рис. 29.

лярна к плоскости бумаги. Сначала земля находится в положении I и через 12 часов в II. Отрезок земной поверхности ab в I освещен солнцем, и пусть в этом положении для ab будет полдень. В II ab лежит в тени; в этом положении для ab будет полночь. Эфирный ветер дует, следовательно, в полдень над отрезком ab по направлению от b к a и в ближайшую полночь от a к b . На схематическом рисунке 29 изображены разрезы земли по плоскости экватора и поэтому

получается ложное представление, как будто земная ось перпендикулярна к плоскости земной орбиты. Но и при более точных рассуждениях приходят к выводу, что все наши лаборатории и все земные тела должны пронизываться эфирным ветром, совершающим полный оборот вокруг земли в 24 часа. Это явление усложнялось бы, конечно, при принятии в расчет собственного движения солнца, но разница между эфирным ветром полудня и полночи была бы той же самой.

Но изменения в эфире должны оказывать влияние на все электромагнитные и оптические явления, и это влияние должно быть доступно нашим наблюдениям. Явление звука происходит совсем иначе в движущемся воздухе, чем в спокойном. Значит, и большинство электрических и оптических явлений должно находиться в некоторой зависимости от дневного времени и ориентировки опыта. Однако, все попытки установить эту зависимость привели к отрицательным результатам.

Представим себе, что в a у нас находится источник света и что мы измеряем время, необходимое свету, чтобы дойти до b . В положении I луч света, — волнообразное движение эфира, — идет по направлению, противоположному направлению эфирного ветра, в положении II — по тому же направлению, что и последний. Звук распространяется быстрее по направлению ветра (тока воздуха), чем против ветра; свет также должен распространяться медленнее против эфирного ветра, чем по его направлению. Разница между скоростями распространения света по эфирному ветру и против него должна быть очень мала, потому что, по сравнению с огромной скоростью света (300.000 километров в секунду), скорость движения земли (30 километров в секунду) очень мала. Но наши современные приборы настолько чувствительны, что эта разница, если она только существует, была бы замечена и измерена. Майкельсон и Морлей в Чикаго (1902) устроили для этого такой чувствительный прибор, при помощи которого можно было измерить изменение скорости света, равное одной стомиллионной ее величины. Изменение же скорости, вызываемое эфирным ветром, должно быть гораздо больше. Опыты этих

ученых привели к отрицательным результатам. Это было для всех физиков в высшей степени неожиданным. Оказалось, что скорость распространения света от a к b (Рис. 29) одинакова в положениях I и II; или, другими словами, свет распространяется с одинаковой скоростью как против эфирного ветра, так и по его направлению.

Теория сокращения. Чтобы объяснить это неожиданное расхождение опыта с теорией, Лоренц и, независимо от него, Фитцджеральд высказали довольно странное предположение: линейные размеры тела, параллельные направлению движения эфирного ветра, претерпевают, под действием этого движения, сокращение, как будто эфирный ветер своим давлением сжимает, укорачивает их.

Укорачивание это очень мало. Пусть длина какого-нибудь стержня равна одному метру, когда он расположен поперек направления движения эфирного ветра; если его повернуть так, чтобы его длина была расположена параллельно направлению движения эфирного ветра, то он укоротится на пять миллионных частей миллиметра.

Но если бы даже это укорачивание и было очень велико, все равно мы не могли бы его измерить, ибо и наши измерительные приборы (метры, аршины, измерительные ленты) укоротились бы в такой же мере. Теория Лоренца и Фитцджеральда могла бы объяснить отрицательные результаты опытов Майкельсона и Морлея. При их измерениях приходится поворачивать прибор на прямой угол. При этом, по теории сокращения, должно было произойти как раз такое изменение в его размерах, которое должно было уничтожить ожидавшееся изменение скорости света. Теория эта не может считаться удовлетворительной. Трудно допустить такого рода изменение размеров и понять, в чем лежит причина такого изменения.

Принцип относительности Эйнштейна. В 1905 г. Эйнштейн объяснил отрицательные результаты описанных опытов, исходя из принципа относительности времени. До сих пор для всякого человека, не только физика и астронома, не было никакого сомнения в том, что время нечто неизменное, непрерывно и равномерно протекающее с вечно

и везде одинаковой скоростью. Секунда всегда и всюду — секунда, час всегда и всюду — час. Местное время (напр., московское и петербургское), конечно, отличается от другого местного времени на определенную величину, но эта разница между двумя местными временами всегда остается одной и той же и представляет местное смещение времени, принятое в целях удобства.

Все это по современной теории относительности неправильно. Для нашей земли все это „приблизительно правильно“, так как земля движется относительно медленно; понадобились опыты с приборами такой поразительной чувствительности, как опыты Майкельсона, чтобы открыть эту неправильность; вот почему прошло много тысячелетий, прежде чем человечество пришло к такому выводу.

Примем, — а это подтверждается, повидимому, всеми опытами, — что скорость света и другие электромагнитные процессы в пустом пространстве кажутся каждому наблюдателю одинаковыми, все равно, будет ли он находиться в покое или каким-нибудь образом двигаться. Сделав такое допущение, мы приходим к ряду математических формул, которые говорят, что не только длина, но также и время нечто относительное. Мы, конечно, не можем заняться здесь выводением этих формул.

Этот принцип относительности времени, высказанный впервые Эйнштейном, нашел себе много воодушевленных защитников и последователей среди математиков и физиков. Подобно тому как всякое движение относительно и зависимо от движения места наблюдения, так и время представляет собою нечто совершенно относительное. Всякое происходящее во времени событие и не только скорость движения, но также и продолжительность времени какого-либо химического или физического процесса, роста живого существа и т. д., не представляет ничего абсолютного. Оно кажется наблюдателю различным, в зависимости от относительного движения самого наблюдателя. Существуют и такие приверженцы теории относительности, которые считают, что такого рода изменения времени — не только кажущиеся, но существуют в действительности. Для обитателя Марса, напр., какое-либо движение на земле будет более медленным, со-

образно с его собственным относительным движением (Земля, Марс); поэтому земной масштаб будет для него укороченным в некоторых направлениях, земное же время, следовательно, удлинненным. Наоборот, для обитателя земли процессы на Марсе будут более медленными, масштаб, принятый на Марсе, слишком коротким, а Марсово время удлинненным.

Исходным пунктом теории относительности, отрицающей существование абсолютных величин длины и времени, служит положение абсолютной, всегда остающейся одной и той же скорости света. Этот постулат Эйнштейна гласит: где и при каких условиях не изменилась бы скорость света, для нее всегда получается одна и та же величина (в пустоте). Здесь, конечно, допускается нечто произвольное. Но раз дано такое положение, то из него, как необходимое следствие, вытекает теория относительности. Из принципа же относительности вытекает много чрезвычайно важных выводов. Мы лишь приведем содержание этих выводов, не говоря о том, как они выводятся и не входя в их разбор. Прежде всего из принципа относительности вытекает, что не существует ни абсолютного покоя ни абсолютного прямолинейного и равномерного движения. Затем, важным следствием его является отрицание существования эфира; это последнее приводит к допущению, что энергия, напр., световая, может иметь самостоятельное существование, так как может, следовательно, распространяться в абсолютно пустом пространстве (раз нет эфира междупланетной среды). В одной из предыдущих глав было сказано, что световая энергия испускается отдельными порциями, атомами энергии.

Энергия, следовательно, существует самостоятельно, не связанная с чем-либо материальным, и состоит из атомов.

Принцип относительности приводит к поразительному выводу, что относительная скорость никогда не может быть больше скорости света. Из остальных поразительных выводов мы упомянем еще о двух: 1) всякая форма энергии, напр., теплота и свет, обладает инертной массой; а отсюда вытекает, что масса и энергия эквивалентны друг другу, и что всякая, находящаяся в покое, масса не что иное, как колоссальный запас энергии. Эту энергию Планк называет

скрытой энергией. При температуре абсолютного нуля в теле нет ни тепловой, ни химической, ни других форм энергии, за исключением этой скрытой энергии. Планк считает, что теплота, выделяющаяся при распадении атомов радиоактивных веществ—это скрытая энергия; здесь, следовательно, происходит фактическое превращение материи в теплоту. 2) Энергия обладает не только инертною, но и весомой массой; луч света, под влиянием силы всемирного тяготения, должен претерпевать некоторое отклонение от своего прямолинейного пути.

Принцип относительности вносит полный переворот в наше миропонимание. Наука, впрочем, уже переживала подобные эпохи. В свое время казалось совершенно невероятным, что наши антиподы должны ходить головой вниз, как, напр., мухи по потолку комнаты. Сам Эйнштейн признается, что он должен был размышлять в течение нескольких недель, прежде чем результаты его формул перестали казаться ему невероятными. М. Планк говорит: „Этот новый взгляд на понятие времени требует от физика большой способности к отвлеченному мышлению и большой силы воображения. Он превосходит по своей смелости все, с чем до сих пор приходилось иметь дело спекулятивному исследованию природы и даже философской теории познания“... И тем не менее этот принцип относительности имеет реальное физическое значение. Переворот, произведенный в физическом мировоззрении этим принципом, можно сравнить только с революцией, произведенной введением системы мира Коперника. Математическое выражение этой теории, в особенности в той форме, которая была придана ей недавно умершим математиком Минковским, до такой степени изящно, что прежде всего математики стали наиболее рьяными проповедниками этого нового учения, которое позволяет охватить при помощи простых и ясных формул целый ряд необъяснимых явлений электродинамики и оптики. Минковский называет это математическое выражение теории относительности „дерзновением математической мысли“.

Принцип относительности не касается наших обыкновенных измерений, он выступает на сцену только при больших скоростях. Но все, существовавшие до сих пор, основ-

ные понятия, как, напр., масса или твердое тело, должны быть подвергнуты пересмотру. Так, напр., быстро движущийся шар должен казаться сплюснутым, а может быть, он и в самом деле при этом сплющивается; если он движется со скоростью света, то он превращается в плоский кружок, и его масса становится бесконечно большой! Мы видели выше, что и понятия об энергии претерпевают значительные изменения, раз приходится заключить, что масса тела, излучающего тепловую энергию, уменьшается. Новейшее развитие физики и принципа относительности требует перестройки, начиная с самого фундамента, здания физического мировоззрения.

Заключение.

Если эта маленькая книжка вызвала интерес к рассмотренным проблемам, то она достигла своей цели.

Читатель, вероятно, надеялся найти менее зыбкий фундамент у самой точной из естественных наук. Как будто получилось даже впечатление, что все наши попытки объяснить окружающий нас материальный мир физическим способом потерпели неудачу. Ничто не характеризует так нашего незнания, как постоянная смена наших воззрений как раз на самые фундаментальные понятия.

И все-таки мы берем верх над природой и победоносно подчиняем ее своим целям. Это кажется противоречием.

Дело в том, что завоевания техники часто совершенно независимы от формы чисто умственного познания. Технику достаточно знать, как действует какая-нибудь сила; чем она является по существу—для его целей большей частью безразлично. Так, он пользуется количественными законами учения об электричестве для расчета своих машин, совершенно не заботясь о том, дробит ли физик электрический флюид на электроны или нет. Однако, если это до сих пор и не играло в технике роли, то все же нельзя утверждать, что это так будет и впредь. Вспомним, например, представления Максвелла об электричестве, которые как будто не имели никакого отношения к технике: из них выросли максвелловские уравнения и беспроводная телеграфия.

Техника пользуется всеми новыми фактами, которые доставляет наука; чем надежнее эти данные науки, тем плодотворнее их применение. Однако, чем ближе подходит наука к основным источникам своего познания, тем менее надежным становится все. Но подобно тому, как можно в населенном доме, не очень тревожа квартирантов, исследовать поврежденный и ненадежный фундамент и заменить его лучшим, и тем лишь увеличить устойчивость верхних этажей, так точно и наука вечно будет изменять и улучшать свой фундамент. Благодаря этому, ее здание будет становиться все прочнее и устойчивее. Каждый шаг вперед основывается на ясном признании своего невежества.

