

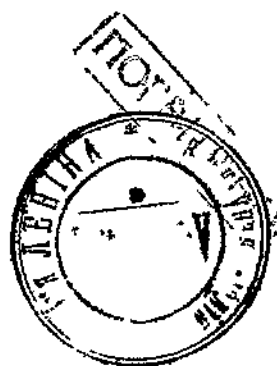
ас-12402

Книги по физике под общей редакцией Российской Ассоциации Физиков

Академик А. Ф. ИОФФЕ

СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

ВТОРОЕ ПЕРЕРАБОТАННОЕ ИЗДАНИЕ



ИЗДАНИЕ М. и С. САБАШНИКОВЫХ. ПЕТРОГРАД 1923

~~Д8-12402~~

~~466-3~~

53

И 45

Депозитарий

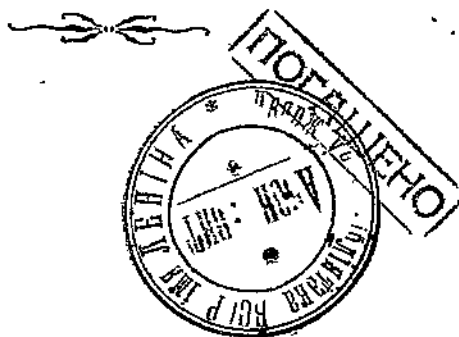
Академик А. Ф. Иоффе.

СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА.

(Глава из „Лекций по молекулярной физике“).

1938 К

ВТОРОЕ СОВЕРШЕННО ПЕРЕРАБОТАННОЕ ИЗДАНИЕ.



ПЕТРОГРАД.

Издание М. и С. САБАШНИКОВЫХ.

1923.

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

15. 03. 2007

Тираж 2.000 экз.

Военная типография Штаба Р.-К. В. А. (Площадь Урицкого, 10).

Строение вещества.

Еще очень недавно—в 90-х и в начале 900-х годов—в науке существовало отрицательное отношение ко всяким гипотезам, как к произвольным построениям, не вытекающим из явлений природы. Казалось возможным ограничиться теми формальными обобщениями, которые непосредственно основаны на опыте. Однако, за последнее десятилетие, при помощи физических гипотез и моделей, получено столько новых и важных результатов, что за гипотезой признана была роль полезного рабочего средства научного исследования. В то же время удалось, благодаря усовершенствованию приемов наблюдения и измерения, подойти к непосредственной проверке основных предпосылок некоторых моделей. Эти опыты настолько убедительно подтвердили их справедливость, что недоверие к содержанию этих гипотез нельзя более считать обоснованным. Можно утверждать, напр., что гипотеза об атомистическом строении вещества и электричества и гипотеза теплового движения не только являются незаменимым рабочим средством, но что вероятность их граничит с достоверностью непосредственно наблюдаемых фактов.

В результате многочисленных попыток воссоздать механизм атома, в 1913 году Бором была предложена модель атома, основанная на схеме Рutherforda. Вычисления, произведенные Бором, привели к таким точным совпадениям с данными опыта в самых разнородных областях, что модель эта сразу завоевала себе прочное место в науке; она сделалась путеводной нитью научного исследования многих основных вопросов физики. Если модель Бора и нельзя еще считать законченной, то несомненно, что ее наиболее существенные черты отражают свойства реального физического

атома. Все молекулярные явления этой моделью сводятся к электрическим взаимодействиям между зарядами, составляющими атомы.

Явления радиоактивности и работы Рutherford и Астона по разрушению и разделению элементов привели к новой постановке задачи о происхождении элементов, задачи, поставленной периодической системой элементов Д. И. Менделеева. И эта задача не решена еще полностью, но основные факты установлены с полной убедительностью.

Изложенная в настоящей статье картина строения вещества находится еще в периоде самой энергичной разработки, но основные контуры ее наметились окончательно; в ней отпавшая точка дальнейшего прогресса физики.

Атомистическая гипотеза.

При непосредственном наблюдении вещество представляется нам сплошным; однако, еще 2.000 лет тому назад Демокрит предположил, что оно состоит из отдельных неделимых частиц—атомов. С тех пор атомистические представления всегда существовали наряду с теориями непрерывных тел, пока в 1905—1912 годах спор не был решен в пользу атомизма.

В пользу атомистических теорий говорили и раньше разнообразные факты:

Атомистическая гипотеза весьма просто объясняет основное свойство всякого вещества *изменять свои размеры и форму* под действием внешних сил или температуры. Легче представить себе, что отдельные атомы сближаются или перемещаются, чем понять, как сплошная среда, не имевшая промежутков, еще более уплотняется.

Еще яснее мы чувствуем преимущество атомистической гипотезы, когда желаем объяснить другое свойство, общее всем телам природы—их *способность взаимного проникновения*, провицаемость. Не только все газы и жидкости, но и твердые тела при достаточно продолжительном соприкосновении и, в особенности, при высокой температуре постепенно смешиваются, диффундируют друг в друга. Этот процесс иногда ускользает от нашего наблюдения вслед-

ствие чрезвычайной своей медленности,—поэтому в иных учебниках физики можно найти утверждение о непроницаемости, как об основном свойстве вещества. Процесс диффузии легко понятен на основании атомистической гипотезы, как перемешивание отдельных частиц, проникающих сквозь свободные промежутки, и, наоборот, весьма трудно объяснить в сплошном веществе.

Весьма плодотворным и наглядным оказалось применение атомистических представлений к объяснению свойств наиболее разреженных тел—*газов*, частички которых так далеки друг от друга, что их взаимодействием можно почти пренебречь. Вслед за установлением основных газовых законов, Даниил Бернулли и Ломоносов в 18 веке дали весьма простое и естественное объяснение давления газа, его сжимаемости и теплового расширения, исходя из представления о газе, как о скоплении частиц, беспорядочно движущихся по всевозможным направлениям. В середине XIX века кинетическая теория газов была более подробно разработана и с тех пор она является неизменной руководящей нитью при изучении явлений в газах. Она предсказала большое число новых фактов, объяснила самые запутанные и неожиданные на первый взгляд явления и не привела ни к одному противоречию с опытом.

Убедительнее, чем все предыдущие соображения, приводит к атомистическим представлениям основной закон химии—*закон кратных отношений*. Если определенное количество данного вещества замещается или входит в соединение с рядом других веществ в количествах m , n , p ... весовых единиц, то и соединения этих последних тел между собою возможны только либо в тех же соотношениях $m : n : p$..., либо же в весовых количествах, составляющих целые кратные этих чисел: $im : kn$..., где i , k ... небольшие целые числа.

Как известно, этот закон находит себе естественное истолкование в допущении, что всякое сложное тело состоит из большого числа одинаковых частиц—молекул, каждая из которых, в свою очередь, составлена из небольшого числа атомов элементарных веществ. Так как все молекулы одинаковы, то отношение весовых количеств ве-

ществ, входящих в состав всего тела, таково же, как и в отдельной молекуле, и, следовательно, выражается кратным атомных весов. Если бы мы попытались объяснить этот закон, исходя из теории сплошности, то натолкнулись бы на чрезвычайно большие трудности логического и фактического характера. Поэтому в химии пользовались атомистической гипотезой, как прекрасным вспомогательным средством, даже в то время, когда в науке господствовало стремление (теперь уже справедливо оставленное) исключить из научного здания всякие гипотезы и модели, заменив их объективным описанием фактов.

Особенно успешным было применение этих представлений к тем сложным и разнообразным соединениям, которые изучает органическая химия. Исходя из большого опытного материала, удалось создать *модели структур молекул*. Эти модели вызвали быстрый расцвет органической химии. Они не только помогли объединить и систематизировать более 150.000 различных соединений, но и сослужили немалую службу при синтезе новых.

Мы привели здесь ряд явлений, для понимания которых атомистическая гипотеза представляет явные преимущества. Высказанные нами соображения нельзя однако считать доказательством истинности гипотезы. Такие доказательства удалось получить за последнее десятилетие, благодаря появлению новых методов исследования, которые имеют дело уже непосредственно с отдельными атомами. Приведем некоторые из этих новых фактов:

Существует ряд так называемых радиоактивных тел, способных непрерывно испускать лучи. Различают лучи трех родов: α , β и γ ; из них лучи α несут с собой положительный электрический заряд и на пути расщепляют молекулы воздуха на части, заряженные положительно или отрицательно. Присутствие этих заряженных осколков молекул может быть легко обнаружено в пространстве, где имеется пересыщенный водяной пар; здесь вокруг каждого заряженного осколка молекулы собирается капелька воды. Таким образом, если поместить радиоактивное вещество в атмосферу с пересыщенным паром, то на всем пути прохождения α -лучей можно заметить простым глазом или в лупу

капельки воды. В 1912 году Вильсону удалось воспроизвести это явление и сфотографировать его, взяв очень небольшую порцию радиоактивного вещества и создав на короткий момент вокруг него пересыщенный пар. Фотографии эти (рис. 1) показывают, что лучи α не расходятся от источника сплошной массой; мы видим отдельные линии,

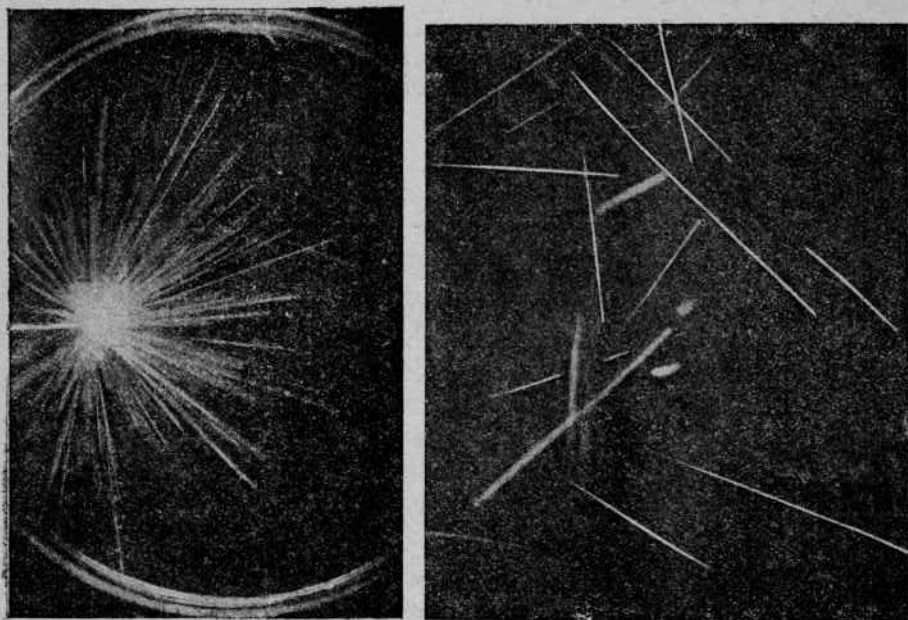


Рис. 1.

каждая из которых есть след от прохождения отдельной α -частицы. Фотография слева дает следы частиц, испускаемых твердым препаратом, а справа—следы частиц, испускаемых молекулами радиоактивного газа, подмешанного к воздуху. По этим фотографиям можно непосредственно посчитать число α -частиц, выброшенных за данное время препаратом.

Отдельную α -частицу можно обнаружить и другим способом: при ударе об экран из особо изготовленного флуоресцирующего вещества, каждая α -частица вызывает вспышку—искорку, хорошо заметную в темноте. Поместивши вблизи экрана достаточно малый препарат, испу-

скающий α -лучи, можно в темноте наблюдать вспыхивающие на экране, то там, то здесь, искорки и по ним производить подсчет α -частиц.

Есть и третий метод для обнаружения отдельных α -частиц: каждая из них расщепляет более 100.000 молекул и создает соответственное количество заряженных осколков—ионов—в воздухе. Если через воздух пропускать электрический ток, то после прохождения каждой α -частицы ток этот внезапно резко усиливается. По числу усилений тока мы также получаем возможность судить о числе α -частиц.

Каждый из описанных трех методов показывает нам, что α -лучи состоят из отдельных α -частиц, и позволяет точно сосчитать их число. А с другой стороны Рамсей установил, что если собрать те же α -частицы в пустой сосуд (причем они лишаются своего электрического заряда), то в сосуде оказывается один из давно уже знакомых нам газов—гелий, который при достаточном охлаждении (около— 269°C) переходит в жидкость. Таким образом несомненно, что газообразный или жидкий гелий состоит из тех частиц, из которых он получен, и которые мы могли в отдельности наблюдать. Тем же методами можно наблюдать при встрече с α -частицей выбрасывание частиц, составляющих водород и некоторые другие вещества. Атомистическая гипотеза доказана таким образом для этих веществ, а у нас нет никаких оснований думать, что другие вещества чем-нибудь от них отличаются.

Существование атомов и молекул мы считали бы вполне несомненным, если бы могли их видеть. К сожалению, однако, отдельная молекула так мала, что увидеть ее не удастся. Видеть какой-нибудь предмет мы можем в двух случаях: или когда он испускает свет, или же—когда свет из постороннего источника рассеивается от поверхности данного тела; из опыта мы знаем, что отражение или рассеивание света может происходить только на поверхности какого-либо тела, и утверждаем тогда, что мы видим это тело. Теория света, которая рассматривает его, как электромагнитную волну, распространяющуюся в пространстве, утверждает, что заметное отражение света должно происходить только от поверхности больших тел; если же тело меньше длины све-

товой волны, то свет огибает такое тело, почти не меняя направления своего распространения. Это свойство волнового движения знакомо нам в звуковых волнах, длина волны которых измеряется десятками сантиметров. Звуковая волна отражается от стены, размеры которой больше звуковой волны, и в то же время совершенно свободно проходит мимо пылинки или даже куска мела—малых по сравнению с длиной волны звука. Длина волны световых волн гораздо меньше звуковых—она измеряется десятитысячными долями миллиметра, но атомы еще значительно меньше—их размеры выражаются в десятиллионных долях миллиметра. Поэтому для световых волн атом то же, что для звуковых пылинки. Количество света, рассеянного от одного атома, так ничтожно, что увидеть его нельзя.

Но все же сколько-нибудь каждый атом рассеивает и если свет встречает очень большое число атомов или молекул, то рассеянного от них света может оказаться достаточно. Таково действительно происхождение голубого света неба—это свет, рассеянный от поверхностей всех тех многочисленных молекул воздуха или их скоплений, которые попадают на пути солнечного луча. Если бы воздух представлял собою сплошное однородное тело, а не скопление молекул, то свет не мог бы изменить в нем своего направления, и мы видели бы солнечный свет только в прямых солнечных лучах; везде, куда лучи солнца не попадают, была бы полная темнота. В действительности же рассеянный свет небесного свода играет в нашей жизни еще большую роль, чем прямые лучи солнца; этот рассеянный свет освещает наши комнаты, к нему же приспособлен наш глаз, который чувствительнее всего именно к тому свету, который преобладает в рассеянном, а не прямом солнечном свете.

Можно на основании сказанного понять и голубой цвет неба. Мы видели, что рассеяние тем слабее, чем меньше тело по сравнению с длиной волны света. Из световых волн наибольшей длиной волны (около $8 \cdot 10^{-5}$ см.) обладают красные лучи, наименьшей—(около $4 \cdot 10^{-5}$ см.) фиолетовые. Ясно, что соотношение между размерами молекулы и длиной волны более благоприятно для коротких волн, чем для длинных; что поэтому фиолетовые лучи будут сильнее рассеиваться,

чем красные (по вычислению—в 16 раз). Когда пучок солнечных лучей проходит сквозь атмосферу, то фиолетовые лучи рассеиваются в наибольшей степени, немного меньше синие и голубые, еще меньше зеленые и желтые и слабее всего красные. В рассеянном свете гораздо больше оказываются, поэтому, голубых, синих и фиолетовых лучей, а в прошедшем луче солнца относительно больше красных и желтых, чем в первоначальном свете. Цвет неба вполне оправдывает эти соображения, относящиеся к рассеянию света; с другой стороны, мы часто наблюдаем, что солнце получает желтый или даже красный цвет, когда оно стоит на горизонте и его лучам приходится проходить длинный путь в атмосфере.

Таким образом, мы можем сказать, что, наблюдая голубое небо, мы видим в сущности молекулы воздуха, каждая из которых рассеивает часть солнечного света. Если бы воздух не состоял из молекул, то и рассеянного голубого света неба не было бы.

Еще гораздо больше рассеянного света мы получили бы от атома, если бы можно было воспользоваться лучами столь же малой длины волны, как и размеры самих атомов, т. е. около 10^{-8} см. Такие лучи существуют в виде рентгеновых лучей, они ничем не отличаются от световых лучей, но невидимы для нашего глаза; зато они, подобно видимому свету, действуют на фотографическую пластинку и вызывают свечение некоторых флуоресцирующих тел, и таким путем становятся доступными наблюдению. И, действительно, рассеяние этих лучей атомами весьма значительно. На рис. 2 показана схема такого опыта: экран, поставленный перед рентгеновой трубкой, выделяет узкий пучок лучей, который, рассеиваясь в теле *K*, попадает затем на фотографическую пластинку. В особенности наглядный результат получается от *прохождения рентгеновых лучей сквозь кристаллы*, атомы которых расположены в строго определенном порядке на равных расстояниях. Простейшее из возможных расположений атомов в кристаллах правильной системы мы получим, если мысленно разобьем кристалл рядом равноотстоящих, взаимно перпендикулярных плоскостей на ряд кубиков и поместим либо в вершины, либо в центры всех кубов по одному атому.

В такой решетке (рис. 3) можно далее вообразить себе ряд плоскостей, густо усеянных атомами, таковы, например,

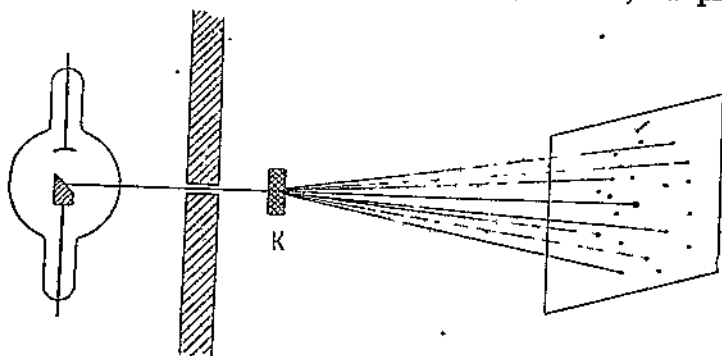


Рис. 2.

грани кубов $ABCD$, $ADHE$, $CDHG$, диагональные плоскости $CHNEPB$, $ADNGFP$ и т. д. Всякая такая плоскость

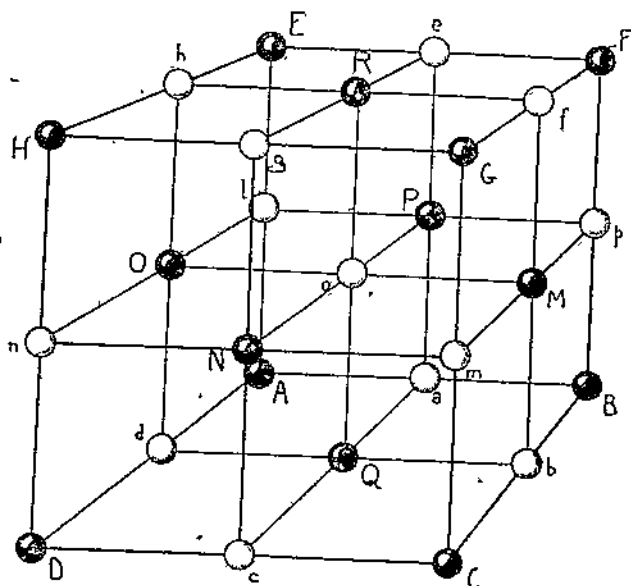


Рис. 3.

действует на рентгеновы лучи, как зеркало, отражающее их под углом, равным углу падения. Таким образом, если пучек рентгеновых лучей падает на кристалл, то от каждой

плоскости, заключающей большое число атомов, получается отраженный луч-зайчик, воспринимаемый фотографической пластинкой; за первой плоскостью следует параллельно ей ряд других, напр., за *OGFB* плоскости *cNgRePa, DnHhEhA*, и от каждого такого слоя атомов лучи отражаются в том же направлении, усиливая друг друга. Если наши рассуждения справедливы, то на фотографической пластинке должны

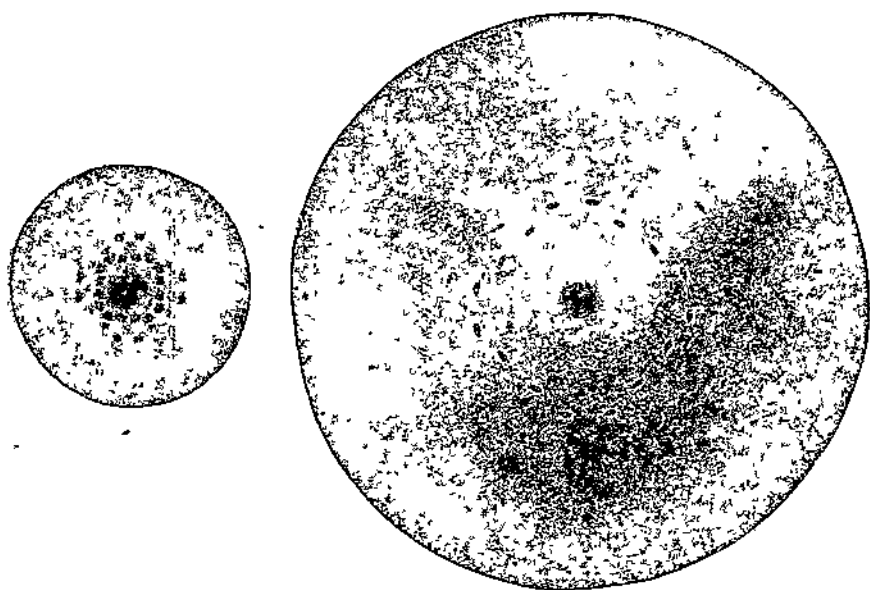


Рис. 4.

получиться отдельные пятна, расположенные в определенном порядке, зависящем от того или иного внутреннего строения кристалла. Действительно, на следующем рисунке (рис. 4), полученном в 1912 году Лауэ в Мюнхене, видны пятна, вызванные прохождением рентгеновых лучей сквозь кристаллы цинковой обманки. По положению пятен можно восстановить положение тех плоскостей, отражением от которых они получены, и затем вычислить и расположение атомов в кристалле.

Если бы плотный и непрерывный по виду кристалл действительно представлял собою сплошное тело, то отдельных пятен не могло бы получиться и мы имели бы только

один след более или менее ослабленного, прошедшего насвязь луча. Присутствие симметрично расположенных пятен с несомненностью свидетельствует о прерывной структуре кристалла.

Английские физики отец и сын Брэгг этим путем выяснили структуру ряда кристаллов, причем выяснилось, что в кристаллах (в противоположность газам и жидкостям) молекула не представляет собою обособленного целого. Так, напр., в кристалле каменной соли атомы хлора и натрия не соединены попарно в отдельные молекулы, а располагаются, чередуясь, на одинаковых расстояниях, как показано на рис. 3, где кружками обозначены атомы натрия, а черными шариками атомы хлора. Вдоль грани куба, напр., атомы хлора и натрия следуют на расстоянии $2,814 \cdot 10^{-8}$ см. друг от друга. Этот результат не противоречит, однако, закону кратных отношений, т. к. соотношение между числом атомов хлора и натрия точно такое же, как и в отдельной молекуле. Если поместить на пути рентгеновых лучей вместо кристалла слой жидкости, молекулы которой расположены беспорядочно, то вместо отдельных пятен мы получим круг, радиус которого определяет расстояние между отдельными молекулами. Для воды это расстояние $3,6 \cdot 10^{-8}$ см., для бензола $6 \cdot 10^{-8}$ см., для жидкого кислорода $4,0 \cdot 10^{-8}$ см.

Мы упомянули ряд явлений, подтверждающих атомистическую гипотезу. Для того, чтобы объяснить не только общий ход явления, но и наблюдаемые в нем *количественные закономерности*, необходимо принять для каждого явления существование в теле вполне определенного числа частиц. Каждое из таких явлений позволяет вычислить то число атомов, которое способно объяснить его. Можно насчитать более 20 различных способов вычисления числа атомов и молекул в данном теле.

Чрезвычайно замечательно, что результаты, полученные самыми разнообразными методами, в самых разнообразных условиях, всегда точно совпадают между собою и согласны между отдельными вычислениями тем ближе, чем точнее исходные данные. Мы можем утверждать, что в одном кубическом сантиметре воздуха (или другого газа) при 760 мм. давления и 0° С заключается $2,705 \cdot 10^{19}$ молекул; в этом числе

не может быть ошибки более 0,2%. Не трудно вычислить отсюда, что масса одного атома водорода $1,66 \cdot 10^{-24}$ гр., а кислорода— $26,4 \cdot 10^{-24}$ гр. Таким образом, не только с качественной стороны различные применения атомистической гипотезы не противоречат друг другу и опыту, но и с количественной—самые разнообразные явления: тепловые, электрические, магнитные и оптические, в кристаллах, жидкостях и газах—приводят к одному и тому же числу для массы данного атома. Это совпадение составляет одно из прочнейших оснований нашей уверенности в действительном существовании атомов.

Гипотеза теплового движения.

Вторая гипотеза, которую мы кладем в основу нашего изложения, это представление о существовании постоянного движения отдельных частиц—молекул и атомов—внутри тела. Мы предполагаем, что движение это имеет крайне неупорядоченный, хаотический характер и что интенсивность этого движения определяет тепловое состояние тела. Мы не видим этого движения непосредственно, так как не видим отдельных молекул и не могли бы уследить за их быстрым движением, если бы даже молекула была ощутима. Но зато во всех явлениях мы можем подметить результаты этого движения.

Так, напр., *давление*, оказываемое газом на *стенки сосуда*, мы объясняем толчками, испытываемыми стенками со стороны движущихся по всем направлениям молекул. Хаотичность движения приводит к тому, что давление одинаково во всех направлениях и возрастает при нагревании, когда движение молекул становится более быстрым; как показывает подсчет, связь между температурой, объемом и давлением вполне соответствует нашей гипотезе.

Увеличение интенсивности теплового движения должно вызывать раздвижение молекул и *возрастание объема тела*. Как общее правило, можно действительно утверждать, что все тела—твердые, жидкие и газообразные—при нагревании расширяются; если и есть исключения из этого правила (напр., вода между 0 и 4°C), то они достаточно объясня-

ются внутренними перегруппировками в молекулах—сокращением их числа или размеров.

Весьма просто объясняется нашей гипотезой *испарение тел*. Несмотря на силы, связывающие молекулы в твердом и жидком состоянии, некоторым из них, благодаря тепловому движению, всегда удается покинуть границы тела и уйти в окружающее пространство, где они образуют газообразный пар данного вещества. Способностью испаряться обладают все без исключения жидкие и твердые тела.

Наконец, упомянутое уже явление *диффузии*, взаимного перемешивания различных веществ, является непосредственным результатом теплового движения. Кроме этого постоянного движения, нет других причин, заставляющих переходить молекулы данного тела в область, занятую другим телом. Как и следует ожидать, процесс диффузии ускоряется с повышением температуры.

Согласно нашей гипотезе, тепловое движение захватывает все молекулы тела, поэтому, с изменением теплового движения, тело должно измениться во всех отношениях. И действительно, температура самым глубоким образом *изменяет все физические и химические свойства*. Не только объем, твердость, упругость, электрические, магнитные и оптические свойства меняются, но и химическое сродство с другим веществом изменяется с температурой; соединения, которые сами собой происходят при одних температурах, распадаются при других; всегда изменяется количество теплоты, выделяемое при реакции. Все эти изменения происходят в полном согласии с гипотезой.

Удовлетворительное объяснение, которое гипотеза теплового движения дает всем наблюдаемым явлениям, делает ее весьма вероятной. Однако существует и непосредственное доказательство непрерывного движения в теле—так называемое *Броуново молекулярное движение*. Еще в 1827 году английский ботаник Броун заметил в растительных препаратах под микроскопом постоянное движение или дрожание маленьких взвешенных крупинок. Впоследствии оказалось, что это свойство не ограничивается живой природой, что всякая достаточно малая крупица, помещенная в среду, где она может двигаться, испытывает постоянные перемещения самого слу-

чайного характера. Исследование этого явления показало, что оно не может быть объяснено побочными причинами, напр., потоками, которые возникают в жидкой или газообразной среде под влиянием неравномерного нагревания, электризации, освещения и т. п. Это движение никогда не прекращается, оно тесно связано с тепловым состоянием жидкости: с повышением температуры интенсивность Броунова движения возрастает. Таким образом, можно считать доказанным, что в совершенно спокойной жидкости или газе существует невидимое непрекращающееся движение мельчайших частиц, так как только такое движение способно сообщать те толчки, которые передвигают наблюдаемую крупинку то в одну, то в другую сторону. Легко понять, почему понадобились микроскопические крупинки, чтобы обнаружить тепловое движение. Мы видели, что даже в сравнительно разреженном веществе, в газе, при нормальных условиях заключается $2,7 \cdot 10^{10}$ молекул в каждом кубическом сантиметре; все эти молекулы движутся с громадными скоростями по всевозможным направлениям. Поэтому число толчков, испытываемых телом обычных размеров, так велико, что мы не только не успеваем подметить отдельного толчка, но и не замечаем случайного преобладания толчков в одном направлении над противоположным. Чем меньше тело, тем меньше толчков оно испытывает, а для микроскопических пылинок число испытываемых ими толчков уже так невелико, что преобладание толчков то одного, то другого направления случается постоянно, и пылинка кидается из стороны в сторону. Такая пылинка заключает в себе еще миллионы молекул, поэтому беспорядочное ее движение, которое мы видим, не есть собственно молекулярное движение; мы не замечаем толчка отдельной молекулы, а только случайное преобладание толчков какого-нибудь направления; но зато пылинка является верным показателем молекулярного движения, подобно тому, как вид качающегося на море судна указывает нам на существование волны, или как вид колеблющегося дерева указывает на существование ветра. Чтобы составить себе представление о хаотическом характере Броунова движения, мы приведем здесь рисунок, полученный Церреном, наиболее подробно исследовавшим явление. На рис. 5 отмечено положение одной и той

же частички в поле микроскопа через каждые $\frac{1}{2}$ минуты; эти положения соединены прямыми линиями, хотя в действительности и за этот промежуток времени частица совершала самые беспорядочные движения.

Отметим здесь любопытную черту хаотического движения: перемещения, совершаемые частичкой за данное время (напр., прямые отрезки на рис. 5), не только не равны между собою, но даже средняя величина отрезка не пропорциональна времени. Если бы мы на том же рис. 5 отметили перемещения за каждую минуту, то они, очевидно, будут всегда меньше суммы двух отрезков, пройденных за отдельные полу-

минуты. Более подробное теоретическое и опытное рассмотрение вопроса показывает, что не среднее из отдельных перемещений, а среднее из квадратов отдельных отрезков пропорционально промежутку времени. Уже в этом случае мы принуждены были, чтобы описать явление, перейти от отдельной величины, которая

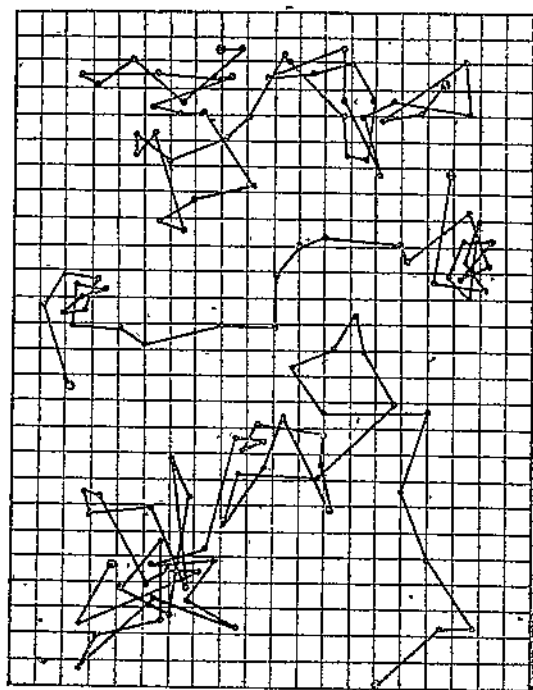


Рис. 5.

является совершенно случайной и непостоянной, к средним значениям, которые оказываются вполне устойчивыми и поэтому характерными для явления. Так, напр., среднее из первой тысячи перемещений, наблюдаемых Перреном, почти

Полное название: Мемориал
на В. Г. АСТАНА

А Н Е М Е Н Т

ad - 12402

совпадает со средним из каждой следующей тысячи наблюдений, хотя отдельные перемещения весьма различны. Для того, чтобы обнаружить закономерность, лежащую в основе таких хаотических явлений, необходимо столь большое число отдельных наблюдений, чтобы все случайности ступшевались; тогда средние, суммарные результаты могут быть облечены в форму простых физических законов. Грубость наших органов чувств и приборов позволяет нам видеть обыкновенно только эти суммарные результаты; и мы должны догадываться о существовании громадного числа отдельных элементарных процессов, вызвавших эти результаты.

Наблюдение мелких взвешенных частичек подтверждает тепловую гипотезу еще в другом отношении. Единственно только непрерывным движением и расталкиванием молекул можно объяснить тот факт, что, несмотря на земное притяжение, газы, заключенные в атмосфере, не сосредоточены на поверхности земли, а *распределяются* со все уменьшающейся плотностью *в весьма толстом слое*, достигающем нескольких сот верст. Такое распределение газа зависит от конкуренции двух факторов: давления, испытываемого данной частью газа со стороны выше его лежащих слоев, притягиваемых к земле, и теплового движения, стремящегося разбросать молекулы газа по всем направлениям. Чем тяжелее отдельная молекула данного газа, тем быстрее убывает плотность этого газа с высотой. Большое число взвешенных в жидкости или газе частичек, благодаря их Броунову движению, представляет собою также искусственно построенный газ, обладающий всеми свойствами действительного газа, но с молекулами, которые в миллионы раз тяжелее обыкновенных. Плотность такого искусственного газа настолько быстро убывает с высотой, что это можно непосредственно видеть в микроскоп (рис. 6). Исследовав на микроскопических частицах Броунова движения, как убывание плотности связано с массой частичек, мы можем вычислить, какова должна быть масса молекул воздуха для того, чтобы их плотность убывала так, как это действительно имеет место в атмосфере. Это вычисление дает ту же величину для массы атома, которую мы указывали на стр. 14.

Наконец, тепловое движение приводит еще к одному следствию, непосредственно подтверждаемому опытом. Хаотическое тепловое движение в газе постоянно создает и разрушает случайные скопления молекул. Если подсчитать число и размеры таких уплотнений, которые, вследствие полной хаотичности теплового движения, должны образоваться в атмосфере, то не только цвет, но и *количество света, испускаемого небесным сводом*, вполне удовлетворительно объясняются. В этом заключается то дополнение, которое необходимо сделать к ранее приведенному объяснению цвета неба.

Уплотнения в газе обыкновенно бывают весьма невелики, так как с возрастанием плотности растет и давление газа в данном месте, разгоняющее его в соседние области и выравнивающее плотность газа. Можно, впрочем, подобрать температуру и давление газа так, чтобы увеличение плотности не повышало давления (т. наз. критическое состояние); тогда условия для образования случайных уплотнений так благоприятны, что газ кажется совершенно непрозрачным и в малых размерах воспроизводит явление рассеяния света в атмосфере.

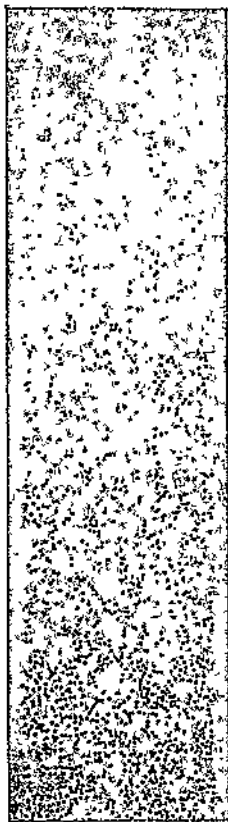


Рис. 6.

Гипотеза о строении атома.

Атомами называли те неделимые далее элементы, из которых построены физические тела. Казалось, что не могло быть и речи о сложной структуре атома и что, во всяком случае, нам отрезаны все пути, позволяющие заглянуть вглубь такого атома. Однако, целый ряд фактов доказывает, что атом не является неделимым, что в действительности он имеет сложное строение.



Известны 87 различных атомов, соответствующих отдельным химическим элементам (благодаря существованию изотоп, как увидим ниже, число различных атомов значительно больше числа элементов), но элементы не вполне независимы друг от друга. *Периодическая система элементов*, установленная Менделеевым, обнаруживает определенные закономерности в свойствах атомов, указывающие на некоторый закон их образования. Периодическая система вызывает предположение, что атомы построены из каких-то еще более элементарных частей, одинаковых, вероятно, для всех тел.

На сложность атома обратили внимание *оптические явления*. Если бы атомы были действительно простыми телами, то можно было ожидать, что испускаемый ими свет окажется простым, монохроматическим. В действительности же свет, испускаемый атомами элементарных тел, состоит из громадного числа (иногда нескольких тысяч) различных колебаний, указывающих на сложную структуру атома.

Оптические свойства дают нам и некоторые указания относительно природы составных частей атома. Так как свет есть явление электромагнитное, то источником его могут быть только *электрические заряды*, которые, следовательно, и должны входить в состав атома. В электролитах также можно обнаружить расщепленные осколки молекул—ионы, обладающие электрическими зарядами. Мы упоминали, далее, что под влиянием лучей радиации или рентгеновых лучей молекулы тел расщепляются, и составные части их оказываются заряженными. Электрические заряды заключаются, следовательно, во всякой молекуле, хотя последние и кажутся нейтральными.

Расщепляя тем или иным путем молекулу, мы отделяем положительный заряд от отрицательного и получаем возможность изучить каждый из них. Оказалось, что во всех без исключения случаях, когда из состава молекулы выделяется электрический заряд, он всегда оказывается целым кратным некоторого элементарного заряда, равного $4,774 \cdot 10^{-10}$ абсолютных электростатических единиц электричества (за единицу принимается заряд, отталкивающий равный ему заряд, находящийся на расстоянии в 1 см., с силою, равной одной дине). Положительный заряд всегда связан, по крайней мере,

с одним атомом вещества, тогда как отрицательные заряды, электроны, при некоторых условиях способны отделяться от материи; масса каждого из них оказывается приэтом в 1800 раз меньше массы наименьшего материального атома — водорода: она равна 9.10^{-28} гр.; можно, более того, утверждать, что те свойства, при помощи которых мы судим о массе электрона (свойство инерции), вполне объясняются присутствием в нем электрического заряда, так что нет надобности предполагать присутствия вообще еще какой-либо массы, помимо той, которая вызвана его зарядом. Размер электрона около 4.10^{-13} см.

Электроны все одинаковы, из какого бы вещества и в каких бы условиях ни были получены. Таким образом, одной из составных частей, входящих в состав каждого атома, должны быть электроны. И действительно, изучение влияния магнитного поля на свечение тел (явление Зеемана) показало, что внутри светящегося атома существуют частички, имеющие точно тот же заряд и ту же массу, как и электрон. Наконец, радиоактивные вещества непрерывно испускают положительно и отрицательно заряженные частички (α и β лучи), из которых положительные оказываются, как мы уже видели, атомами гелия, а отрицательные — все теми же электронами.

Эти факты доказывают, что атом является сложным образованием, в состав которого входят электрические заряды — очевидно, в одинаковом количестве, так как весь атом, как целое, электрически нейтрален, причем отрицательное электричество представлено электронами. Естественно, возникает стремление построить модель атома, объясняющую все его свойства. До последнего времени, однако, разрозненность и недостаточность наших сведений о поведении отдельного атома и отсутствие данных о свойствах положительного заряда делали безнадежной всякую попытку воссоздать структуру атома. Только в 1912 г. из работ Рutherford выяснилось, что размеры положительного заряда не больше электрона.

Весьма удачной оказалась модель, предложенная Рutherford (Rutherford) и разработанная Бором (Bohr), принявшими, что положительный заряд сосредоточен в центре атома

и окружен электронами. Это предположение приводит, однако, к весьма серьезному затруднению: вследствие взаимного притяжения положительного и отрицательного зарядов, центральное ядро в таком атоме притянет к себе электроны, и атом будет разрушен. Выход из этого затруднения указывается аналогией с солнечной системой: и земля притягивается к солнцу, однако не падает на него, благодаря своему движению. Поэтому Рutherford предположил, что электроны непрерывно вращаются по своим орбитам, напоминающим орбиты планет. Однако, устранив одно затруднение, мы встречаем другое: на основании электромагнитной теории вращающийся электрон постоянно отдает энергию в окружающую среду в таких количествах, что весь запас его энергии должен был бы истощиться через десятиmillionную долю секунды, что привело бы к разрушению атома. Между тем, мы знаем, что атомы существуют, не разрушаясь, миллионы лет.

Бор, не имея возможности полностью разяснить это противоречие, устранил его, введя в свою гипотезу новое допущение, связанное с теорией квант. Теория квант, созданная Планком (Planck) в 1902 году для объяснения свойств излучения, и распространившаяся затем постепенно на самые разнообразные отрасли физики, утверждает, что из бесконечного разнообразия различных движений осуществляются в природе только некоторые вполне определенные виды, обладающие устойчивостью, и вовсе не встречаются все промежуточные. По отношению к вращательному движению вокруг ядра такими устойчивыми орбитами могут быть только движения, при которых так называемый момент количества движения (произведение из массы электрона на скорость его движения и на расстояние его до оси вращения) равен либо величине

$$\frac{h}{2\pi}, \text{ где } h = 6,56 \cdot 10^{-27} \text{ эрг. сек.,}$$

либо — целому кратному этой величины. Бор принимает, что в атоме только и существуют такие устойчивые орбиты, удовлетворяющие условию квант, и что электрон, двигаясь по такой орбите, энергии не теряет, а излучает только при переходе с одной из этих орбит на другую.

Внесение в модель атома теории квант сделало ее вполне определенной. Можно было вычислить самые орбиты электронов и предвычислить поведение атомов в самых разнообразных явлениях. Эти предсказания подтвердились с поразительной точностью в оптических, электрических, магнитных и химических явлениях. Мы приведем здесь факты, подтверждающие основные свойства атома Бора, и затем укажем некоторые применения этой модели.

Существование в атоме вращающихся по своим орбитам электронов доказано непосредственным опытом. *Вращение электронов* должно проявляться в двух направлениях: во-первых, каждая такая орбита представляет собою круговой электрический ток, создающий свое магнитное поле; каждый вращающийся электрон представляет собою, следовательно, маленький магнитик. Во-вторых, электроны обладают инерцией, как и материальные тела, и поэтому атом с вращающимися в нем электронами должен вести себя, как волчок, а все тело,—как ящик, в который спрятано большое число волчков. Присутствие же волчков может быть обнаружено по целому ряду признаков: напр., если остановить волчки, то завертится все тело так, что бы момент количества движения (произведение массы на скорость и на расстояние до оси вращения) для всего тела сохранил то же значение, каким обладали все находящиеся в нем волчки. Если перевернуть в теле все волчки, то момент количества движения изменит свой знак, изменение его будет вдвое больше, чем при исчезновении до нуля, а, следовательно, и тело завертится вдвое скорее. Такое перевертывание волчков можно действительно произвести, пользуясь тем, что каждый волчок есть в то же время магнитик. Железо, кобальт и никель можно намагнитить так, чтобы все молекулярные магнетики повернулись в одну сторону; если теперь изменить направление магнитного поля на противоположное, то все магнетики будут также перекинуты; а так как каждый из них представляет собою волчок, то весь перемagnetиченный стержень должен начать вращаться. Это явление и было наблюде^{но} Эйнштейном и де-Гаасом (Einstein und de-Haas). Направление вращения стерженька показало, что намагничивание вызвано вращением отрицательных электронов.

Наиболее, пожалуй, поразительным результатом модели Бора является утверждение, что не только межатомные промежутки не заполнены материей, но и внутри атома ядро и вращающиеся вокруг него электроны занимают только ничтожную часть объема атома. Так, при линейном размере атома около 10^{-8} см. и, следовательно, объеме около 10^{-24} см³, атом включает в себе несколько электронов с радиусом $2 \cdot 10^{-13}$ см. (т.е. объемом $3 \cdot 10^{-38}$ см³) и ядро, радиус которого, по предположению Рutherford, меньше 10^{-12} см.; при 90 электронах заполнена только десятиллиардная часть атома. Всякое, даже самое плотное тело в действительности представляет собою пустое пространство, в котором на громадных по сравнению с их размерами расстояниях вращаются электроны вокруг своих положительных ядер. Если увеличить атом до размеров комнаты, то электроны и ядро представятся в виде нескольких пылинок размером менее одной десятой миллиметра, попавших в пустую комнату. Но если так, то материя должна обладать громадной проницаемостью; должно оказаться возможным не только движение между атомами, но и прохождение сквозь атом, подобно тому, как комета может пройти сквозь солнечную систему. Для того, чтобы тело, проходя сквозь систему, не застряло в ней, необходимо, чтобы его собственные размеры были очень малы по сравнению с атомом и чтобы оно двигалось с достаточной скоростью. Чем больше скорость, тем больше шансов проскочить сквозь атом. Такого рода наблюдения удобнее всего производить с электронами, которым можно сообщать любую скорость при помощи электрических сил. Пропуская пучек электронов (катодные лучи) сквозь разные газы, Ленард замечал, какая часть электронов проходит, не задерживаясь, сквозь слой газа. Число молекул в 1 см³ воздуха при 0°С и давлении в 760 мм. рт. ст. равно $2.7 \cdot 10^{19}$ следовательно при давлении в 1 мм. ртутного столба в 1 см³ $3.5 \cdot 10^{16}$ молекул. Если бы все молекулы представляли собою непроницаемые шарики радиусом, напр., в 10^{-8} см., то площадь, занимаемая в поперечном сечении одним париком, была бы $3 \cdot 10^{-16}$ см². Если расположить все эти шарики в одной плоскости, то они закрыли бы собою площадь в 11 см², или же из них можно было бы составить 11 перегородок по 1 см²,

задерживающих электрон на его пути; через каждую $\frac{1}{11}$ см. неизбежно происходило бы столкновение электрона с таким слоем атомов. Когда атомы не собраны в сплошные перегородки, а разбросаны по всему объему, столкновения происходят в разных местах, но расстояние между двумя столкновениями приблизительно то же, что и расстояние между двумя перегородками. Площадь всех атомов, с которыми сталкивались в 1 см.³ медленные электроны, оказалась равной около 31 см.² (а следовательно радиус атома $1,7 \cdot 10^{-8}$ см.). Но чем больше была скорость электронов, тем меньшей оказывалась непроницаемая для них площадь атомов. Наибольшая возможная в природе скорость—это скорость света $C = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$. В следующей табличке показано, как сильно возрастает проницаемость атома для электронов с приближением их скорости к скорости света. Для электронов, движущихся со скоростью

$\frac{1}{200} C = 1,5 \cdot 10^8 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$	—	непроницаемая площадь	30 см ²
$\frac{1}{100} C = 3,0 \cdot 10^8$	"	"	27 "
$\frac{1}{50} C = 6 \cdot 10^8$	"	"	20 "
$\frac{1}{20} C = 1,5 \cdot 10^9$	"	"	6,2 "
$\frac{1}{10} C = 3 \cdot 10^9$	"	"	1,5 "
$\frac{1}{5} C = 1 \cdot 10^{10}$	"	"	0,005 "
$\frac{1}{2} C = 1,5 \cdot 10^{10}$	"	"	0,0004 "
$0,93 C = 2,8 \cdot 10^{10} \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$	"	"	0,000009 "

Итак, в полном согласии с нашими ожиданиями, для наиболее быстрых электронов вещество чрезвычайно прозрачно, вероятность натолкнуться на одно из ядер или электронов очень мала. Если бы мы вычислили, непроницаемую площадь каждой молекулы для электронов, летящих со скоростью $2,8 \cdot 10^{10} \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$, разделив 0,000009 на число молекул $3,5 \cdot 10^{16}$, то для площади молекулы получили бы $2,6 \cdot 10^{-22}$ см.², а радиус непроницаемой части молекулы оказался бы 10^{-11} см.

Приведенные уже на стр. 7 фотографии Вильсона, обнаруживающие пути α -частиц, наглядно показывают проницаемость атомов. Частица α пронизывает сотни тысяч

атомов, встречаемых ею на своем пути, пока она не натолкнется на ядро, которое ее отбрасывает в сторону. В этих случаях путь α -частицы резко меняется — получается излом (рис. 7). Подсчитав число таких столкновений с ядрами атомов воздуха, можно из подобных же соображений определить размеры этих ядер. Оказалось, что и размеры положительно заряженных ядер атома того же порядка, как и размеры электрона.



Рис. 7.

Наблюдая отклонения, испытываемые α -частицами при столкновениях с ядрами разных атомов, можно определить заряды, сосредоточенные в этих ядрах. Заранее можно было предсказать, что в каждом атоме положительный заряд ядра равен отрицательному заряду всех вращающихся вокруг него электронов, т. к. весь атом в целом не заряжен. Число же электронов в атоме оказалось возможным вычислить еще другим путем по рассеянию рентгеновых лучей. Каждый электрон рассеивает некоторую, вполне точно известную часть падающих на него лучей. Измерив общее рассеяние от тела, можно определить число электронов в нем; с другой же стороны нам известно с большой точностью (см. стр. 13) число атомов в теле. Нетрудно, следовательно, узнать, по сколько электронов заключается в каждом атоме тела.

Оба эти приема — измерение заряда ядра и определение числа электронов в атоме — привели к одному результату. Оказалось, что число положительных зарядов и равное ему число электронов для атомов разных элементов различно. Оно равно номеру, занимаемому данным элементом в периодической системе Менделеева. Первый по порядку элемент водород (H) включает в себе ядро с одним положительным зарядом и один вращающийся по кругу электрон.

Второй элемент гелий (He) представляется в виде ядра с двойным положительным зарядом и двумя электронами,

вращающимися по наклонным друг к другу круговым орбитам (см. рис. 8): α -частица, вылетающая из радиоактивного вещества, представляет собою не весь атом гелия, а только ядро его, поэтому она и обладает двойным положительным зарядом. Потеря электронов не лишает атом его индивидуальности, он остается тем же гелием; ушедшие же электроны могут быть восстановлены из любого другого источника, т. к. электроны все одинаковы. Потеря атомом электронов или при-

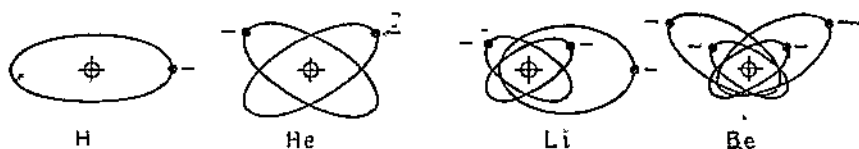


Рис. 8.

соединение новых происходит в природе весьма часто; пока однако ядро не изменилось, перед нами тот же атом, но только заряженный положительно или отрицательно. Его называют тогда *ионом* данного вещества; ион всегда снова может сделаться нейтральным атомом.

Следующий элемент литий (*Li*) имеет тройной положительный заряд в ядре и 3 электрона, из которых 2 внутренних, как и в гелии, вращаются по наклоненным круговым орбитам, третий же электрон вращается по внешней эллиптической орбите. Этот внешний электрон легко может быть отнят у атома; тогда остается одновалентный положительный ион лития.

Дальше идет бериллий (*Be*) с 4 зарядами в ядре и 4 электронами—двумя внутренними и двумя внешними. Если бериллий лишится двух внешних электронов, остается двухвалентный ион бериллия с двойным положительным зарядом.

Переходя в периодической системе от одного элемента к следующему, мы получаем все более сложные атомы. В последнем из них уране (*U*) имеется 92 заряда в ядре и 92 электрона, орбиты которых образуют отдельные группы, начиная от самых внутренних, ближайших к ядру, до самых внешних, наиболее от него удаленных.

Периодическая система Менделеева дает некоторые указания относительно распределения электронов по отдельным группам. Элементы в этой системе (см. таблицу на стр. 29) расположены в порядке атомных весов (за редкими исключениями), причем элементы каждой новой строки по своим физико-химическим свойствам повторяют свойства предыдущей строки. Таким образом все элементы I группы, стоящие в одном столбце, аналогичны друг другу; они всегда встречаются в виде одновалентных положительных ионов и замещают в химических соединениях один атом водорода. Элементы следующего столбца—II группы—все являются двухвалентными положительными ионами и замещают по два атома водорода. Элементы, стоящие в правых столбцах *F*, *Cl*, *Br*, *I* (VII группы), встречаются в виде одновалентных отрицательных ионов (т. е. присоединяют по одному лишнему электрону к атому). Элементы VI группы *O*, *S* двухвалентны отрицательно. Наконец, элементы нулевой группы *He*, *Ne*, *A*, *Kr*, *Xe*, *Nt*—так называемые благородные газы—совершенно неактивны химически и не стремятся ни присоединять, ни отдавать свои электроны.

Все химические и физические процессы, находящие свое выражение в периодической системе, происходят при встрече атомов, а при такой встрече взаимодействуют только внешние электроны атома. Поэтому можно думать, что в периодической системе проявляются свойства только самых внешних групп электронов. Сообразно сказанному, мы можем считать, что благородные газы *He*, *Ne* имеют весьма устойчиво построенные группы (слои) внешних электронов. В следующих за ними элементах I группы *Li*, *Na* лишний электрон не участвует уже в этом слое, а движется снаружи, откуда он легко может быть оторван, оставляя положительный ион *Li* или *Na*. Во II группе *Be*, *Mg* имеется по 2 внешних электрона; когда они отрываются, остается тот же законченный слой электронов, как и в предыдущем благородном газе. Наоборот элементы последних столбцов стремятся привлечь к себе извне столько электронов, чтобы образовать такой же законченный слой, как в следующем благородном газе.

Периодическая система элементов Д. И. Менделеева.

— 29 —

O	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	1. H Водород 1,008							
2. He Гелий 4,0	3. Li Литий 6,94	4. Be Бериллий 9,1	5. B Бор 10,9	6. C Углерод 12,0	7. N Азот 14,01	8. O Кислород 16,0	9. F Фтор 19,0	
10. Ne Неон 20,2	11. Na Натрий 23,0	12. Mg Магний 24,32	13. Al Алюминий 27,1	14. Si Кремний 28,3	15. P Фосфор 31,04	16. S Сера 32,06	17. Cl Хлор 35,46	
18. Ar Аргон 39,98	19. K Калий 39,10	20. Ca Кальций 40,07	21. Sc Скандий 45,1	22. Ti Титан 48,1	23. V Ванадий 51,0	24. Cr Хром 52,0	25. Mn Марганец 54,93	26. Fe Железо 55,84
	29. Cu Медь 63,57	30. Zn Цинк 65,37	31. Ga Галлий 69,9	32. Ge Германий 72,5	33. As Мышьяк 74,96	34. Se Селен 79,2	35. Br Бром 79,92	27. Co Кобальт 58,97
36. Kr Криптон 83,92	37. Rb Рубидий 85,45	38. Sr Стронций 87,62	39. Y Иттрий 88,7	40. Zr Циркон 90,6	41. Nb Ниобий 93,5	42. Mo Молибден 96,0	43. — —	28. Ni Никель 58,68
	47. Ag Серебро 107,88	48. Cd Кадмий 112,4	49. In Индий 114,8	50. Sn Олово 118,7	51. Sb Сурьма 120,2	52. Te Теллур 127,5	53. J Иод 126,92	44. Ru Рутений 101,7
54. Xe Ксенон 131,3	55. Cs Цезий 132,91	56. Ba Барий 137,37	57. La Лантан 139,0	58—72. Редкие земли	73. Ta Тантал 181,5	74. W Вольфрам 184,0	75. — —	45. Rh Родий 102,9
	79. Au Золото 197,2	80. Hg Ртуть 200,6	81. Tl Таллий 204,0	82. Pb Свинец 207,2	83. Bi Висмут 208,0	84. Po Полоний 210	85. — —	46. Pd Палладий 106,7
86. Rn Радон 222	87. — —	88. Ra Радий 226	89. Ac Актиний 226	90. Th Торий 232,15	91. Pa Протактиний 230	92. U Уран 238,2		76. Os Осмий 190,9
								77. Ir Иридий 193,1
								78. Pt Платина 195,2

Исходя из этих представлений, мы думаем, что каждый благородный газ обладает замкнутым слоем электронов; в дальнейших элементах вокруг него присоединяются снаружи 1, 2, 3 и т. д. до 7 электронов; 8-й электрон снова дает законченную группу, образуя следующий благородный газ; в дальнейших элементах начинает нарастать следующий внешний слой, сначала из одного, потом двух и т. д. электронов.

Образование химических соединений, напр., $NaCl$ можно представить себе так: сначала Na , обладающий одним внешним электроном, теряет его, а Cl , которому не хватает одного до ближайшего благородного газа аргона A , приобретает его—образуется положительный ион Na^{+} и отрицательный ион Cl^{-} ; эти два иона притягиваются друг к другу, образуя молекулу жидкого или газообразного $NaCl$ или же целую решетку твердого кристалла, если температура низка и тепловое движение недостаточно энергично, чтобы разрушить такую решетку. И в отдельной молекуле, и в целом кристалле силы, сдерживающие ионы Na^{+} и Cl^{-} —это силы электрического взаимодействия между зарядами отдельных ионов.

Излучение света атомами Бор представляет себе так: электроны в атоме могут вращаться не только по нормальной орбите, но и по всякой другой, удовлетворяющей только требованию квант (стр. 22). Энергия на этих орбитах различна; она тем меньше, чем ближе к ядру происходит вращение электрона. Различные внешние факторы—удар электрона или молекулы, освещение лучами—могут вырывать электроны из их нормального положения, перебрасывая их на более отдаленные орбиты или выбрасывая вовсе из атома. После этого электрон возвращается в прежнее нормальное положение. При этом переходе энергия его уменьшается и весь освободившийся избыток энергии излучается в виде света. По теории квант число колебаний света тем больше, чем больше был избыток энергии. Если через E_1 обозначим энергию электрона на нормальной внутренней орбите, через E_2 энергию его на внешней отда-

ленной орбите, ν —число световых колебаний в секунду и $h = 6,56 \cdot 10^{-27}$ эрг-сек.—квантовая постоянная, то по теории квант

$$h\nu = E_2 - E_1.$$

Так как E_1 и E_2 можно из теории Бора вычислить для каждой из квантовых орбит, то можно предсказать и все те световые колебания, которые данный атом способен излучать, т.-е. можно вычислить его спектр.

Для водорода, обладающего одним только электроном, вычисление это может быть проделано совершенно точно. Замечательно, что все многочисленные действительно наблюдаемые линии спектра водорода с величайшею точностью совпали с вычислениями из модели Бора. Даже отдельные тонкости модели: что электрон не вращается точно вокруг ядра, а что оба они совместно вращаются вокруг общего центра тяжести, что, кроме круговых орбит, должны встречаться определенные эллипсы—все это вполне совпало с опытными результатами.

Для атомов с большим числом электронов задача становится сложнее. Здесь нужно различать два случая: 1) Внешние электроны, которые далеки от ядра и притяжение которых к положительному ядру ослаблено отталкиванием внутренних отрицательных электронов. Энергии E для этих электронов мало меняются при переходе к еще более отдаленным орбитам, поэтому $E_2 - E_1$, а следовательно и ν сравнительно невелико—мы имеем дело со сравнительно медленными световыми колебаниями видимого света, с оптическими спектрами. 2) Внутренние электроны находятся, наоборот, в поле сильного притяжения ядра на малых от него расстояниях. Изменение энергии, $E_2 - E_1$, здесь велико; мы получаем очень частые колебания рентгеновых лучей.

Оптические спектры вызываются внешними электронами, определяющими также и те химические и физические свойства, которые выражены в периодической системе Менделеева. Поэтому у всех элементов с одинаковым строением внешних электронов, напр., у всех элементов I группы, аналогичные оптические спектры. Оптические спектры периодичны.

Наоборот, рентгеновы спектры вызываются внутренними электронами, вращающимися вокруг ядра; расположение внешних электронов для них безразлично; их движение зависит только от заряда ядра, а заряд ядра меняется не периодически, а постепенно на единицу в каждом следующем элементе. Поэтому рентгеновы спектры элементов никакой периодичности не проявляют и число их колебаний возрастает совершенно равномерно, пропорционально квадрату номера элемента. Эта зависимость дает лучший способ определения номера данного элемента. Измеренные этим способом номера элементов все оказались целыми числами и всегда совпадающими с положением, указанным им таблицей Менделеева.

Когда элемент вступает в химические соединения с другими, образуя новые молекулы, то внешние электроны перераспределяются, изменяя свою энергию. Внутренние же электроны остаются в тех же условиях при любой комбинации атомов. Поэтому оптические спектры самым резким образом меняются в разных соединениях и при всяких внешних воздействиях. Рентгеновы же спектры соединений те же, что и спектры составляющих их элементов.

Несмотря на те, иногда блестящие подтверждения, которые получила гипотеза Бора, она далеко еще не может считаться окончательно установленной. Вполне возможно, что при дальнейшей проверке она испытает серьезные изменения; должна быть еще выяснена причина, позволяющая электронам оставаться, не излучая, на орбитах с моментом количества движения, кратным $\frac{h}{2\pi}$. Несомненно однако, уже и теперь, что разрабатывая модель атома Бора, мы находимся на правильном пути.

Мы свели, таким образом, молекулы и атомы к более простым элементам — положительному ядру и отрицательным электронам; можно ли однако утверждать, что эти элементы являются уже действительно простыми и неделимыми? Нам нигде еще не удалось наблюдать отдельных частей электрона, но все же нельзя утверждать, чтобы он их не имел. Электромагнитная теория принуждена была приписать ему известный объем (шара с радиусом около $2 \cdot 10^{-13}$ см.) и допустить внутри этого объема действие сил, не позволяющих

отдельным частям заряда, рассеяться под действием взаимного отталкивания. Если это так, то можно говорить о структуре электрона. Однако она нам неизвестна.

Зато мы можем с уверенностью утверждать, что ядро атома не является простым образованием. С полной убедительностью свидетельствуют об этом радиоактивные явления, сопровождающиеся распадом ядра на составные части.

Радиоактивность.

Некоторые вещества, называемые радиоактивными, обладают способностью без всякого внешнего воздействия испускать лучи, которые могут быть обнаружены по их действию на фотографическую пластинку, или по свечению, вызываемому в флуоресцирующей среде, или, наконец,—и это наиболее чувствительный метод,—по той электропроводности, которую они сообщают воздуху, расщепляя молекулы его на положительные и отрицательные ионы. Лучи радиоактивных веществ бывают 3-х родов: 1) α -лучи, представляющие собою ядра атомов гелия, обладающие положительным зарядом, равным двум элементарным зарядам, т. е. $+9,55 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц; 2) β -лучи—быстро движущиеся электроны с зарядом $-4,77 \cdot 10^{-10}$ эл.-ст. ед., и 3) γ -лучи—те же световые лучи, но с частотой колебаний, превышающей даже частоту колебаний рентгеновых лучей. Кроме того, иногда отличаются еще δ -лучи—медленно движущиеся электроны.

Супругам Кюри (P. et M. Curie) удалось из радиоактивной смоляной руды, содержащей уран, выделить новый элемент—радий, обладающий необыкновенно сильным излучением. Каждая из α и β частиц выбрасывается радиоактивными веществами с громадной скоростью, на что требуется значительная затрата энергии; точно также и γ -лучи уносят с собою энергию в пространство. Измерения показали, что количество энергии, теряемое 1 граммом радия в 1 час., соответствует 134,4 малым калориям или $5,63 \cdot 10^9$ эргам, а за 1 год— $1,18 \cdot 10^6$ калорий. Такой громадный и непрерывный расход энергии должен иметь источник в самом веществе.

Если бы излучение вызывалось внешним источником энергии, то он способен был бы и менять излучение. Между тем тщательные опыты показали, что ни одно из средств воздействия на природу, которыми мы располагаем, не способно ни в малейшей степени повлиять на радиоактивные процессы. Рutherford предположил поэтому, что излучение сопровождается какими-то перегруппировками внутри атома, изменяющими присущую ему энергию, а тогда должен изменяться и самый атом. Мы должны, согласно этой гипотезе, ожидать, что радиоактивное излучение сопровождается превращением атомов одного элемента в какой-то другой; и действительно, в результате радиоактивных процессов удается обнаружить появление новых веществ, которые снова превращаются, излучая α или β лучи, в иные, обладающие еще меньшим запасом энергии. Помимо этого ряда радиоактивных веществ, которые постоянно появляются из предыдущего и превращаются в следующий элемент, всякое излучение α -лучей выделяет из состава радиоактивных веществ газообразный гелий, который также накапливается постепенно. Среди продуктов радиоактивного распада имеются вещества твердые и газообразные при комнатной температуре. Одни из них распадаются быстро, другие, наоборот, чрезвычайно медленно, но для каждого радиоактивного вещества скорость его распада есть величина строго постоянная, не зависящая ни от температуры, ни от электризации или намагничивания, ни от химических реакций, которые испытывает вещество. Радиоактивный распад совершается таким образом, что из имеющегося в наличности числа атомов определенная часть автоматически распадается за данное время. Разрушение каждого отдельного атома происходит, по видимому, совершенно случайно,—то один, то другой атом вследствие каких-то внутренних причин разрушается, но, благодаря громадному числу атомов этот случайный процесс в среднем протекает так, что за каждую единицу времени распадается всегда одна и та же часть λ всех атомов. Из N атомов радиоактивного вещества, за небольшой промежуток времени t , исчезает некоторое число их n , равное

$$n = \lambda \cdot N \cdot t.$$

Чем больше коэффициент λ , тем быстрее происходит распад, но, в сущности, по этой формуле распад никогда не дойдет до конца, так как, чем меньше останется атомов, тем меньше их будет распадаться. Удобнее всего для описания скорости распада указывать то время, в течение которого разрушается половина первоначального числа молекул. Для одних веществ это время измеряется долями секунды, для других — миллиардами лет.

Радий разрушается сравнительно медленно: понадобилось бы 1600 лет, чтобы половина его распалась, образовав новое газообразное радиоактивное вещество, так называемую эманацию или нитон. Последний уже в 3,85 дни наполовину распадается, образуя радий А, еще быстрее исчезающий — в 3 минуты разрушающийся наполовину; за ним следует радий В, половина которого распадается в 26,8 мин. и т. д.

Если поместить радий в герметически закрытое помещение, то все эти продукты будут постепенно накапливаться, создаваясь из предыдущих членов ряда, но в то же время, в свою очередь, исчезать, превращаясь в следующие члены. В конце концов, наступит некоторое равновесие, при котором столько же атомов каждого вещества будет создаваться, сколько и исчезать; при этом, очевидно, данного продукта будет тем больше, чем быстрее он создается и чем медленнее он, в свою очередь, распадается. Такое состояние носит название радиоактивного равновесия.

За единицу радиоактивности принимается излучение, создаваемое одним граммом радия вместе со всеми дальнейшими продуктами распада, с которыми он находится в радиоактивном равновесии; эта единица называется *Кюри*. Но так как обыкновенно приходится иметь дело с гораздо более слабыми радиоактивными источниками, то на практике пользуются еще другой, более мелкой единицей *Макс*, равной $3,5 \cdot 10^{-12}$ Кюри.

Рассматривая радиоактивные явления с точки зрения гипотезы Бора, мы должны будем принять, что радиоактивные процессы протекают внутри ядра, так как только изме-

нение ядра может превратить один элемент в другой. Только в ядре и могут находиться ядра гелия— α -лучи. Вылетая из ядра, α -частицы меняют и массу его, и заряд. А так как последний обуславливает положение элемента в периодической системе и все его физические и химические свойства, то каждому из продуктов распада придется приписать свое особое место в системе.

Нетрудно сообразить, чем нужно руководствоваться при распределении радиоактивных веществ в периодической системе. Всякий раз, когда атом теряет одну α -частицу, уносящую с собою двойной положительный заряд, заряд ядра, а следовательно, и номер, занимаемый им в периодической системе, уменьшаются на 2 единицы, а масса атома уменьшается на массу атома гелия, т. е. на 4 единицы. Потери ядром одного электрона β -частицы, наоборот, равноценна приобретению одного положительного заряда ядром и поэтому приводит к повышению номера элемента на 1 единицу, масса же изменяется на незаметную величину 0,0006; γ -лучи заряда не меняют, да они и не появляются отдельно, а сопровождают испускание β -лучей.

На основании этого правила нетрудно распределить все радиоактивные элементы; нужно только знать место, занимаемое исходным продуктом, и те излучения, которыми сопровождается каждое превращение.

Известно 3 ряда радиоактивных веществ, получаемых от распада урана, тория и актиния. Но в то время, как первые 2 элемента получаются в больших количествах и хорошо исследованы, актиний не встречается в заметных количествах; он сам является одним из продуктов распада урана (урана У).

В следующей таблице мы приводим ряды урана и тория в порядке их последовательного распада. Значки α и β у стрелок обозначают испускаемые частицы; во втором столбце T обозначает время, в течение которого вещество распадается наполовину; третий столбец указывает число зарядов ядра и номер в системе, и четвертый—атомный вес.

Ряд Урана.

	<i>T</i>	<i>N</i>	<i>A</i>
Уран I	$4,5 \cdot 10^9$ лет	92	238
$\alpha \downarrow$ Уран U	25 часов	—	—
Уран X_1	24,6 дня	90	234
$\beta \downarrow$ Уран X_2	1,15 мин.	91	234
$\beta \downarrow$ Уран II	$2 \cdot 10^6$ лет	92	234
$\alpha \downarrow$ Торий	10^5 лет	90	230
$\alpha \downarrow$ Радий	1600 лет	88	226
$\alpha \downarrow$ Эманация радия	3,85 дня	86	222
$\alpha \downarrow$ Радий A	3 мин.	84	218
$\alpha \downarrow$ Радий B	26,8 мин.	82	214
$\beta \downarrow$ Радий C_1	19,5 мин.	83	214
$\beta \downarrow$ Радий C^1	10^{-6} сек.	84	214
α Радий C_2	1,32 мин.	81	210
α Радий D	16 лет	82	210
$\beta \downarrow$ Радий E	5,0 дней	83	210
$\beta \downarrow$ Радий F (Полоний)	136 дней	84	210
$\alpha \downarrow$ Радий G	?	82	206

Ряд Тория.

	T	№	A
Торий	$1,5 \cdot 10^{10}$ лет	90	232
$\alpha \downarrow$ Мезоторий I	6,7 лет	88	228
$\downarrow$ Мезоторий II	6,2 часа	89	228
$\beta \downarrow$ Радиоторий	1,90 года	90	228
$\alpha \downarrow$ Торий X	3,64 дня	88	224
$\alpha \downarrow$ Эманация тория	54,5 сек.	86	220
$\alpha \downarrow$ Торий A	0,14 сек.	84	216
$\alpha \downarrow$ Торий B	10,6 часа	82	212
$\beta \downarrow$ Торий C_1	60,8 мин.	83	212
$\beta \downarrow$ Торий C^1	10^{-11} сек.	84	212
Торий C_2	3,1 мин.	81	208
Торий D	?	82	208

Ограничиваются ли радиоактивные процессы ураном, торием и их производными, или же они являются общим свойством всякого элемента, но обнаруживаются особенно сильно только в этих 2-х элементах с наибольшими атомными весами? На этот вопрос может ответить только опыт. Хотя и имеются указания на радиоактивность некоторых других элементов, напр., рубидия и калия, но этих данных пока недостаточно, чтобы судить о распространенности в природе радиоактивных свойств.

В приведенных выше таблицах заключается ряд предсказаний иногда весьма неожиданных, вполне однако подтвержденных опытом.

Исходя из атомных весов урана и тория, мы вычислили атомные веса последующих элементов ряда. Некоторые из этих атомных весов, напр., для радия и эманации радия, удалось измерить; непосредственное взвешивание дало как раз ожидаемые числа—226 и 222.

Наша таблица приписывает каждому члену ряда определенный номер в периодической системе, а следовательно и определенные физические и химические свойства, соответствующие этому номеру. Напр., радий оказывается в одном столбце с барием и действительно представляет собой металл, который трудно отличить от бария; эманация попадает в группу благородных газов и действительно оказалась газом, напоминающим другие благородные газы.

Что однако особенно удивительно, это то, что по этой таблице существует целый ряд веществ, имеющих один номер, занимающих одну и ту же клетку периодической системы. Так, например, 92 место занимают уран *I* и уран *II*; 88 место кроме радия, мезоторий *I*, торий *X* и актиний *X*. 82 место: радий *B*, радий *D*, радий *G*, торий *B*, торий *D*, актиний *B*; да кроме того в той же клетке помещается и обыкновенный свинец (*Pb*).

Вещества, занимающие одно и то же место в системе элементов, получили название *изотоп*; на 82 месте мы имеем, напр., 7 изотоп. Так как ядра их все имеют один и тот же заряд в 82 единицы, то и число и расположение электронов у них будут одинаковы. Вследствие этого не только все свойства, зависящие от внешних электронов—оптические спектры, химические свойства и пр. совершенно одинаковы у всех изотоп, но и свойства внутренних электронов—рентгеновы спектры—будут одни и те же. По этим признакам их различить и отделить невозможно.

Но если заряды ядер одинаковы, то массы их, атомные веса—различны у различных изотоп. Это различие удалось установить на опыте прямым взвешиванием. Из таблицы мы видим, что как ряд урана, так и ряд тория заканчиваются элементами с 82 номером—радием *G* и торием *D*, настолько устойчивыми, что распад их не был обнаружен. Это вещества, совпадающие по своим свойствам со свинцом. С другой стороны в старых урановых и ториевых рудах всегда нахо-

дят свинец, который и можно было рассматривать как продукт распада урана или тория за миллионы лет существования руды. Действительно, когда атомные веса этого свинца были измерены, то оказалось, что атомный вес свинца, найденного в урановой руде—206, а в ториевой—208, тогда как атомный вес обычного свинца, находимого вдали от радиоактивных руд,—207,2.

Существование изотоп было таким образом доказано. Происхождение их также легко понять. Радиоактивные процессы показали, что из состава ядра вылетают как положительные ядра гелия, так и отрицательные электроны. Положительный заряд ядра есть, следовательно, только алгебраическая сумма положительных и отрицательных зарядов, и эта сумма может быть самым различным образом составлена из слагаемых. Так, напр., 82 заряда могут быть составлены из $100+$ и $18-$ или $90+$ и $8-$ и т. п. Всякий раз, когда из ядра вылетает одна α -частица и за ней две β -частицы, заряд ядра получает снова прежнее значение, между тем, как масса его уменьшается.

При составлении периодической системы Менделеев расположил элементы в порядке их атомных весов. Мы видели, с другой стороны, что каждый элемент можно характеризовать зарядом его ядра, который равен порядковому номеру элемента в системе. Существование изотоп однако нарушает однозначную связь атомного номера с атомным весом; появляются вещества с одинаковым номером, но с разными атомными весами. Какой же из этих двух признаков важнее для описания элемента? Поскольку нас интересуют химические и физические свойства вещества, зависящие от электронной атмосферы атома, главную роль играет заряд ядра, т. е. порядковое число элемента. Если же нас интересуют процессы, происходящие в ядре, или состав самого ядра, то здесь важное значение приобретает атомный вес или масса атома.

Встречаются ли изотопы среди других, не радиоактивных элементов периодической системы? Чтобы ответить на этот вопрос нужно постараться разделить изотопы, из которых составлено данное вещество. Сделать это однако весьма трудно, т. к. изотопы по всем своим свойствам одинаковы и отличаются только массой. Попытки отделить

изотопы друг от друга только в немногих случаях дали сколько-нибудь благоприятные результаты. Зато вполне удалось обнаружить и исследовать присутствие изотоп в большом числе элементов при помощи приема, который предложен был для измерения массы атома Д. Д. Томсоном (J. J. Thomson) и значительно усовершенствован и применен для изучения изотоп Ф. В. Астоном.

Метод этот заключается в следующем. В сильно разреженном пространстве (рис. 9) создается узкий пучок P летящих в одну сторону положительных ионов данного вещества. Этот пучок последовательно проходит между противоположно заряженными пластинками конденсатора E и

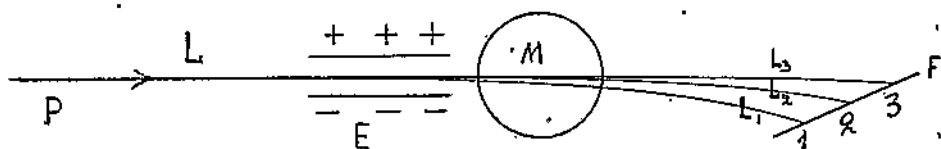


Рис. 9.

между полюсами магнита M . Электрические и магнитные силы отклоняют ионы от их первоначального направления тем сильнее, чем меньше их масса. Если пучок состоял из ионов, обладавших различными массами, то, проходя, через электрическое и магнитное поле, он расщепится на столько пучков, L_1 , L_2 , L_3 , сколько различных по их массам ионов существовало в пучке. Поставив в определенном месте на пути этих ионов фотографическую пластинку F , мы получим на ней для каждого рода ионов отдельное пятнышко, положение которого на пластинке позволяет определить с большой точностью (до 0,1%) массу иона. Из 29 различных элементов, которые были исследованы Астоном, одни (15 элементов) оказались простыми, другие же оказались смесями нескольких изотоп с различными атомными весами. Замечательно, что все элементы, атомные веса которых выражаются дробными числами, оказались смесями изотоп, каждая из которых в отдельности имеет атомный вес, выражающийся целым числом. Так, напр., литий с атомным весом 6,94 состоит из двух изотоп с весами 6 и 7; бор с атомным весом 10,9 состоит из изотоп 10 и 11; неон

с атомным весом 20,2 состоит из изотоп 20 и 22; изотопы хлора, атомный вес которого определен был в 35, 46, обладают весами 35 и 37, смешанными в такой пропорции, что они дают в среднем вес хлора. Криптон и ртуть состоят из 6 изотоп. Наоборот, элементы с атомными весами, выражающимися целыми числами, не имеют изотоп.

Это исследование привело к весьма важному результату: все атомные веса действительно простых элементов выражаются целыми числами. Не только заряд ядер состоит всегда из точно целого числа элементарных зарядов (равных $4,774 \cdot 10^{-10}$ абс. ед.), но и масса их состоит из целого числа элементарных масс, соответствующих единице атомного веса, или $1,65 \cdot 10^{-24}$ грамма. Этот результат наводит нас на мысль, что ядра всех элементов составлены из одинаковых первичных ядер, так называемых *протонов*, каждое из которых обладает единичным зарядом и единичной массой; кроме того, как мы видели, необходимо допустить присутствие в ядре и отрицательных электронов. Естественно было бы отождествить протон с ядром водорода, которое тоже имеет единичный заряд и единицу атомного веса. Но оказалось, что именно водород представляет единственное заметное отступление от закона целых атомных весов: его атомный вес не 1 а 1,0077 и в то же время он не имеет изотоп, так что это число представляет действительно атомный вес отдельного атома водорода. Весьма вероятно, что противоречие это происходит от того, что при образовании сложных ядер масса не остается строго постоянной. Теория относительности, напр., утверждает, что всякий раз, когда тело теряет энергию E , масса его уменьшается на величину $\frac{E}{c^2}$, где c обозначает скорость света; $c = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ Если бы мы захотели представить себе, напр., строение ядра гелия, обладающего атомным весом 4,002 и зарядом в 2 единичных заряда, то могли бы его составить из 4-х водородных ядер и 2-х электронов. Сумма атомных весов 4-х водородных ядер должна быть $4 \times 1,0077 = 4,0308$, а 2-х электронов $2 \times 0,0006 = 0,0012$; а всего следовательно 4,032 — несколько больше, чем в действительности. Можно однако

предположить, что разница в 0,03 происходит от того, что при образовании ядра гелия теряется соответственное количество энергии $E = 0,03 (3 \cdot 10^{10})^2 = 0,27 \cdot 10^{20}$ эрг. Если это так, то и при образовании других элементов могут несколько изменяться массы ядер; следовательно возможны и небольшие отступления от целых чисел; такие отступления, выражающиеся в нескольких сотых, действительно наблюдаются для некоторых элементов. Закон целых чисел для атомных весов не абсолютно точен. Принявши указанное объяснение, мы можем считать протон ядром водорода, ядра же других элементов — составленными из ядер водорода и электронов.

Присутствие водородных ядер в других элементах было непосредственно доказано Рутерфордом. Для того, чтобы обнаружить составные части ядра, Рутерфорд воспользовался столкновениями α -частиц с ядрами атомов. Мы видели (стр. 25), что α -частица может пронизать сотни тысяч атомов, не испытывая ни одного столкновения. Иногда однако случается, что при своем движении α -частица налетает на ядро атома. Тогда она испытывает резкое отклонение от своего пути, что хорошо



Рис. 10.

можно видеть по следам α -лучей на photographиях Вильсона (рис. 7). При этом ударе не только α -частица отбрасывается, но и встреченное ядро приходит в движение. Скорость, которую получает ядро, тем больше, чем меньше его масса, а чем больше скорость выброшенного ядра, тем больший путь оно пролетит после удара сквозь молекулы окружающего газа. По этой длине пробега можно судить о скорости, а по скорости — о массе отброшенной α -частицей ядра. Больше всего оказывается после удара пробег ядра водорода, обладающего наименьшей массой. На рис. 10 можно видеть след столкновения с водородной молекулой: первоначальный путь α -частицы в месте, отмеченном стрелкой, разветвляется: кроме отброшенной α -частицы, появляется след водородного ядра, выброшенного ударом из молекулы водорода.

Рузерфорду удалось обнаружить такие же быстро летящие выброшенные ядра с тем же пробегом, как у водорода при прохождении α -лучей через другие вещества, водорода не содержащие, как, напр., азот. Исследовав эти выброшенные ядра по их отклонению в электрическом и магнитном поле, Рузерфорд показал, что масса и заряд их действительно равны массе и заряду водородного ядра. Каждое вещество вполне характеризуется этими двумя признаками; мы должны, следовательно, утверждать, что при прохождении α -частиц через азот появляются ядра водорода или протоны. А так как никакой примеси водорода в азоте не было, то приходится заключить, что протоны выброшены были из ядра азота. Подвергнув ядра других элементов бомбардировке α -лучей, Рузерфорд обнаружил в некоторых из них выбрасывание протонов; в других же этого ему подметить не удалось. В следующей таблице приведены те и другие элементы с их атомными весами и номерами.

Выделяют протоны.			Не наблюдалось протонов.		
Название.	Ат. вес.	№	Название.	Ат. вес.	№
Бер (<i>B</i>) . . .	10,11	5	Литий (<i>Li</i>) . .	6,7	3
Азот (<i>N</i>) . . .	14	7	Бериллий (<i>Be</i>) .	9	4
Фтор (<i>F</i>) . . .	19	9	Углерод (<i>C</i>) . .	12	6
Натрий (<i>Na</i>) .	23	11	Кислород (<i>O</i>) .	16	8
Алюминий (<i>Al</i>)	27	13	Магний (<i>Mg</i>) .	24, 25, 26	12
Фосфор (<i>P</i>) . .	31	15	Кремний (<i>Si</i>) .	28, 29	14
			Хлор (<i>Cl</i>) . . .	35, 37	17
			Калий (<i>K</i>) . . .	39, 41	19
			Кальций (<i>Ca</i>) .	40	20
			Титан (<i>Ti</i>) . .	48	22
			Марганец (<i>Mn</i>)	55	25
			Железо (<i>Fe</i>) . .	56	26
			Медь (<i>Cu</i>) . . .	64	29
			Олово (<i>Sn</i>) . .	119	50
			Золото (<i>Au</i>) . .	197	79

Все элементы, из которых пока могли быть выделены протоны, обладают нечетными номерами и атомные веса их не делятся на 4. Последнее обстоятельство можно объяснить следующими соображениями. При образовании ядра гелия из 4-х водородных ядер и 2 электронов выделяется, как видно из приведенного выше подсчета, весьма большое количество энергии— $0,27 \cdot 10^{20}$ эрг. Чтобы разрушить ядро гелия на его составные части, нужно такую же энергию вновь затратить; между тем, даже самые быстрые α -частицы обладают энергией в три раза меньшей. Поэтому ядро гелия нужно считать чрезвычайно прочным образованием, выдерживающим даже резкие удары α -частиц. Хотя мы и не знаем еще в деталях строения ядра, но можно думать, что в состав его входят ядра гелия, которые в свою очередь состоят из протонов и электронов. В тех элементах, атомный вес которых делится нацело на 4, мы имеем ядра, составленные из одних гелиевых ядер, поэтому выбрасывания отдельных протонов из них и не наблюдается. Наоборот, в ядрах элементов с атомным весом, некратным 4-м, приходится кроме гелиевых ядер допустить и отдельные ядра водорода, которые и выбиваются α -частицами. Предположение, что в ядрах имеются целые ядра гелия, подтверждается тем, что радиоактивные вещества испускают не отдельные протоны, а ядра гелия (α -лучи). Другое подтверждение мы видим в том, что большинство элементов можно расположить в ряды с атомными весами, возрастающими каждый раз на 4 единицы, и с зарядами, возрастающими на 2, как будто каждый раз к ядру предыдущего атома присоединяется ядро гелия.

Радиоактивные процессы сопровождаются превращением элементов и громадным излучением энергии. Однако, мы не имеем пока средств повлиять на эти процессы, мы можем только наблюдать их. Опыты Рузерфорда создали возможность искусственного разрушения ядер и тем самым дали нам орудие для исследования структуры ядра, образования и разрушения элементов. Но мы все же очень далеки от разрешения задачи алхимиков—превращения элементов и искусственного получения золота из других веществ. Метод Рузерфорда—удар α -частичек—вызывает распад ядра, но явление это происходит крайне редко. Встречая атом,

α -частица только иногда (1 раз из 100.000) ударяется об ядро его. Из этих ударов только очень немногие (1 из 10.000) так удачны, что в результате выбрасывается ядро водорода и ядро распадается. Как ни важны опыты Рutherforda, они не дают ни сколько-нибудь значительного превращения вещества, ни сколько-нибудь значительных количеств энергии. В том атоме, который испытал распад, изменения громадны, но число таких атомов до крайности ничтожно.

Изложенные выше соображения и опыты приводят нас к большой убедительностью к следующему представлению о строении вещества:

Каждое тело состоит из положительно заряженных ядер и отрицательных электронов. Число тех и других может быть определено с большой точностью. Так, мы можем утверждать, что 1,008 грамма водорода, 16 гр. кислорода, 108 гр. серебра, 207 гр. свинца и т. д. заключают в себе по $6,06 \cdot 10^{23}$ ядер. Каждому ядру соответствует число электронов, точно равное номеру, занимаемому данным элементом в таблице Менделеева; это число с совершенной несомненностью определяется по излучаемым телом рентгеновым лучам. Так, напр., на одно ядро водорода приходится по одному электрону, на ядро кислорода—8, ядро серебра 47 и свинца—82 электрона.

Электроны всегда и везде одинаковы: все они обладают зарядом в $4,77 \cdot 10^{-10}$ абсолютных электростатических единиц электричества и массой в $9 \cdot 10^{-28}$ грамма, являющейся одним из проявлений присущего им заряда; размеры их около $4 \cdot 10^{-13}$ сантиметра. Никаких прямых указаний на возможность их дальнейшего расчленения не имеется.

Положительные же ядра различных тел неодинаковы. Заряд отдельного ядра равен стольким элементарным порциям ($4,77 \cdot 10^{-10}$ ед. эл.), каков номер элемента, так что заряд ядра водорода $= 4,77 \cdot 10^{-10}$ ед. эл., ядра кислорода $8 \cdot 4,77 \cdot 10^{-10}$ ед. эл., серебра $47 \cdot 4,77 \cdot 10^{-10}$ ед. эл. и свинца $82 \cdot 4,77 \cdot 10^{-10}$ ед. эл. Этот заряд состоит из положительных и отрицательных составных частей. Отрицательные—это электроны; положительные же—ядра водорода или протоны. Масса

атома сосредоточена в его ядре и определяется числом входящих в него протонов. В состав ядер входят часто целые ядра гелия, состоящие, вероятно, из 4 протонов и 2-х электронов.

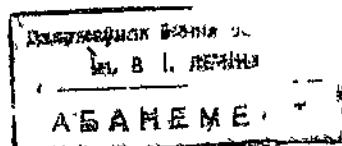
Ядра окружены электронами, вращающимися вокруг них на громадных, по сравнению с их размерами, но весьма, конечно, малых расстояниях— 10^{-10} до 10^{-8} см., образуя микроскопическое подобие солнечной системы—атом. В газообразных и жидких телах атомы соединены в небольшие группы—молекулы, связанные общими вращающимися электронами, орбиты которых располагаются между отдельными атомами. В твердых кристаллах атомы образуют одну правильно построенную решетку, в которой не всегда можно указать группы, отвечающие отдельной молекуле. Расположение атомов в кристаллической решетке вполне точно устанавливается при помощи рентгеновых лучей; расположение же электронных орбит в кристалле пока не изучено. Силы, связывающие атомы в молекулы или кристаллы—силы сцепления, упругости, поверхностного натяжения—все это в действительности силы электрические, вызванные электрическими зарядами в атоме.

Молекулы и атомы находятся в постоянном движении самого хаотического характера, сталкиваясь, распадаясь и вновь воссоединяясь. Внешним проявлением этого непрекращающегося внутреннего движения служат тепловые явления. Интенсивность этого движения определяет для наших органов чувств ощущение тепла или холода.

Наблюдаемые нами явления носят суммарный характер; за ними скрывается сложная картина движений атомов, которые, в свою очередь, оказываются сложными мирами, построенными из еще более простых элементов. Как глубоко идет в природе расчленение вещества и есть ли предел ему,—сказать нельзя. При данном состоянии наших знаний мы не можем идти дальше тех пределов, которые указаны здесь—протона и электрона.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Строение вещества	3
Атомистическая гипотеза	4
Гипотеза теплового движения	14
Гипотеза о строении атома	19
Радиоактивность	33
Современное представление о строении вещества	46



Бр 104457



ИЗДАТЕЛЬСТВО М. И С. САБАШНИКОВЫХ.

Новые издания:

- Проф. О. Д. Хвольсон. Теория относительности А. Эйнштейна и новое миропонимание. 2-е изд.
- М. Менабир. Великое следование Европы.
- ЕГО ЖЕ. Тайна Великого океана.
- А. Н. Северцов. Эволюция и психика.
- Э. Р. Регель. Хлеба в России (из серии „Богатства России“).
- М. Е. Ткаченко. Леса России (из той же серии).
- И. Шулов. Важнейшие прикладные растения России (из той же серии).
- В. И. Любименко. Табак (из той же серии).
- И. О. Москвитин. Белый уголь в России (из той же серии).
- Н. И. Кареев. Европа до и после войны в территориальном отношении.
- Ферреро. Величие и падение Рима. Т. IV. Республика Августа.
- М. К. Сперанский. История древней русской литературы. Ч. I.
- М. Любавский. История Западных славян.
- Ф. Ф. Зелинский. Аттические сказки. Тайна долгих скал. У матери-земли. Соловьиные песни. Каменная Нива. Царица вьюг, Терем Заря.
- ЕГО ЖЕ. Античный мир. Т. I. Эпика. Ч. I. Сказочная древность. Вып. I, II и III.
- Депере. Превращения животного мира. Перевод Ю. С. Жемчужникова, под ред. А. А. Борисова.
- Неймайр. Корни животного царства.

ПЕЧАТАЮТСЯ:

- А. Ф. Иоффе. Лекции по молекулярной физике. 2-е совершенно переработанное издание.
- С. Воронов. О продлении жизни.
- К. Кречмер. Строение тела и характер проблемы конституции и учение о темпераментах.
- Молиш. Физиология растений, как теория садоводства и огородничества. Перевод с немецкого, под ред. Проф. Н. И. Вавилова.
- Ю. Филиппенко. Эволюционная идея в биологии.

Адрес издательства: МОСКВА, Никитский бул., 3, кв. 7.
ПЕТРОГРАД, Бассейная, 37, кв. 13. ●

Склад у Издателей в Москве и в книжном магазине „Научная Книга“. МОСКВА, Моховая, 24.