Искусственное расщепление элементов[1]).

Э. Резерфорд.

Со времени развития Дальтоном атомной теории на экспериментальном основании, прогресс химии покоился на центральной идее о постоянстве и неделимости атомов элементов. Вся совокупность экспериментального материала химии, приблизительно за столетие, ясно показывала, что обыкновенными физическими и химическими процессами невозможно разрушить атомы элементов. Однако быстрый рост нашего знания внутренней структуры атомов в течение последних двадцати лет до некоторой степени модифицировал это представление.

В настоящее время общепринято, что атомы различных элементов все имеют строение одного и того же общего типа. В центре атома располагается положительно заряженное, ничтожных размеров ядро, в котором сосредоточена вся масса атома. Это ядро окружено облаком электронов, которые поддерживаются в равновесии силами, исходящими от ядра. Электроны занимают область, диаметр которой имеет порядок 2.10^{-8} см. Нуклеарный заряд атома подчиняется весьма простому правилу, впервые выясненному Мозелеем (Moseley): результирующий заряд ядра атома равен его атомному или порядковому номеру и изменяется от одного „атома" электричества в случае водорода, до 92—в случае урана. Таким образом порядковые числа выражают число планет-электронов, которые окружают ядро атома. Согласно этому представлению обычные физические и химические свойства атома, за исключением его массы, целиком определяются нуклеарным зарядом, ибо от последнего зависит число и распределение внешних электронов, которые обусловливают, главным образом, эти свойства. Масса атома есть свойство его ядра и на распределение электронов, а следовательно, на обычные свойства атома оказывает незначительное влияние.

С этой точки зрения сразу получают простое объяснение изотопы, которые состоят из атомов с одним и тем же нуклеарным зарядом, но с различной массой ядра. Воздействуя светом или электрическим разрядом, мы легко можем удалить из атома один или несколько

---

[1]) Лекция, прочитанная в Лондонском Химическом Обществе 9-го февраля 1922 г. Nature 109, p.p. 584 и 614 (6-го и 13-го мая).

внешних планетарных электронов; воздействуя же X-лучами или быстрыми β-лучами, мы можем даже вырвать один или несколько прочно связанных электронов системы. Таким образом мы можем вызывать в известном смысле трансформацию атома, но лишь временного характера, так как вскоре извне захватывается новый электрон, и атом становится вновь таким, каким он был раньше. Общие соображения указывают на то, что если даже некоторое число планетарных электронов будет удалено под действием соответствующих агентов, устойчивость ядра не нарушится, и атом через короткое время вновь приобретет прежнюю структуру. Для того, чтобы вызвать постоянное изменение атома, необходимо разрушить самое ядро его. Если удалить одну заряженную единицу структуры ядра, то нуклеарный заряд испытает постоянное изменение, и не существует признаков того, чтобы этот процесс мог быть обратимым при обычных экспериментальных условиях.

Открытие неустойчивости радиоактивных элементов было первым резким ударом для мысли о постоянстве всех атомов. Однако свойство радиоактивности присуще, кроме двух наиболее тяжелых элементов, урана и тория, и их многочисленных потомков, только двум элементам, калию и рубидию, и притом в незначительной степени. За этими исключениями, значительное большинство остальных атомов представляют собою весьма устойчивые структуры и сохраняются неизмененными на нашей земле, вероятно, в течение тысячелетий или миллионов лет.

Радиоактивность есть свойство ядра; она проявляется, вообще говоря, в испускании из ядра быстрых α-частиц, или ядер гелия, а иногда быстрых электронов или β-лучей. Число и скорость испускания этих частиц не поддается влиянию даже наиболее мощных физических и химических агентов и является свойством, неизменно присущим упомянутым весьма сложным ядрам, вследствие их неустойчивости.

Из изложенного ясно видно, что ядра тяжелых атомов заключают в себе положительно заряженные ядра гелия и отрицательные электроны; а это ведет нас к общему представлению, что сложные ядра всех атомов построены из ядер водорода, гелия и электронов. При этом обычно предполагают, что ядро гелия является вторичной единицей и само построено из четырех ядер водорода и двух электронов. Если это так, то мы можем предположить, что ядра всех атомов, в конечном счете, построены из ядер водорода, или „протонов", как их теперь называют, и отрицательных электронов.

Таким образом радиоактивность дает не только ключ к познанию структуры всех элементов, но и доставляет нам такой могущественный метод исследования внутренней структуры атома, как быстрые α- и β-частицы. Бомбардируя атомы вещества α-частицами и изучая отклонение их полета от первоначального направления, мы можем определить величину сил и закон их действия вблизи от ядра и со-

ставить некоторое понятие о размерах последнего. Общие результаты указывают, что диаметр ядра тяжелых атомов имеет порядок 4.10^{-12} см. или, приблизительно, $\frac{1}{5000}$ диаметра всего атома. Закон обратной пропорциональности квадрату расстояния при отталкивании между электрическими зарядами оказался справедливым для значительной области вокруг ядра. Без сомнения, размеры ядер легких атомов еще меньше, и в случае гелия имеют, повидимому, порядок 5.10^{-13} см. Отсюда ясно, что ядра атомов, даже при весьма сложной структуре, имеют чрезвычайно малые размеры.

Силы, сдерживающие компоненты ядра, вероятно, весьма мощны, и потому при разрушении последнего можно получить большие количества энергии. Быстрые α-частицы радия или тория, которые представляют собою наиболее концентрированный источник энергии из всех нам известных, являются наиболее подходящим орудием для разрушения прочно построенного ядра; α частица выбрасывается из радия со скоростью около десяти тысяч миль в секунду и, таким образом, обладает скоростью в двести тысяч раз большей, нежели быстрые нарезные пули.

Хотя α-частица, направленная прямо в тяжелое ядро, без сомнения, может проникнуть в его структуру, ее энергия может оказаться слишком малой для того, чтобы вызвать разрушение. Бомбардировка легких атомов обещает бо̀льшие результаты, так как отталкивательные силы в данном случае настолько меньше, что α-частица может сохранить бо̀льшую часть своей энергии, уже войдя в самую структуру ядра.

Однако, прежде чем обсуждать опыты, посвященные этому вопросу, следует сказать несколько слов о столкновении α-частиц с ядрами водорода, где не может быть речи о разрушении атома. При прохождении α-частиц через газообразный водород, иногда происходят тесные столкновения между α-частицами и ядрами водорода. В результате таких столкновений возникают H-ядра большой скорости. Эти H-частицы пробегают вчетверо большее расстояние, нежели бомбардирующие α-частицы, и они легко могут быть открыты по сцинцилляциям, которые они возбуждают на сернисто-цинковом экране. На основании обычных принципов можно подсчитать, что максимальная скорость, сообщаемая H-ядру, в 1,6 раза больше скорости налетающих α-частиц, а максимальная энергия составляет 0,64 энергии α-частицы. Найдено, что число этих быстрых H-атомов далеко превосходит то, какое можно было ожидать, если предположить, что α-частицы и ядро водорода ведут себя как точечные заряды при ничтожных расстояниях, фигурирующих при этих мощных столкновениях. Кроме того, изменение числа H-частиц в зависимости от скорости α-частиц, а также число H-частиц выбрасываемых под различными углами к направлению α-частицы, существенно отличаются от результатов, полученных по простой теории точечных зарядов.

По всей видимости, здесь сказывается не только структура α-частицы, но также и то обстоятельство, что для весьма малых расстояний закон действия силы совершенно отличен от закона обратных квадратов. Чэдвик и Билер (Chadwick and Bieler), на основании тщательного исследования, недавно вывели заключение, что результаты столкновения можно объяснить, предполагая, что α-частица, которой и приписывались все осложнения, ведет себя, как сфероид с осями 8.10^{-13} и 5.10^{-13}. Вне поверхности этого сфероида выполняется закон обратных квадратов; когда же H-ядро проходит поверхность сфероида, силы возрастают так быстро, что оно быстро выталкивается назад. Конечно, такая модель ядра гелия очень искусственна, но она дает нам некоторое понятие о вероятных размерах и протяжении той области, где разыгрываются эти новые мощные силы.

Следовательно, мы должны предвидеть, что при тесном столкновении α-частицы с ядром атома, более сложным, нежели ядро водорода, обычные законы действия силы нарушаются, когда расстояния, отделяющие частицы и ядро, становятся очень малыми. Необходимо помнить, что при таких ядерных столкновениях развиваются гигантские силы, и нужно ожидать, что только очень устойчивые структуры могут выдержать такие столкновения.

Первое наблюдение, которое связано с главным предметом моей лекции, было сделано несколько лет тому назад. Когда α-лучи сильного радиоактивного источника проходят через сухие газы, вроде кислорода или углекислоты, на экране наблюдается незначительное число слабых сцинцилляций за пределами пробега α-частиц. Эти „естественные“ сцинцилляции были приписаны атомам водорода, исходящим от источника и возникающим, вероятно, вследствие слабого „водородного загрязнения“ источника во время действия на него эманации радия. Если, однако, вместо кислорода или углекислоты взять сухой воздух, то количество сцинцилляций возрастает в три или четыре раза. Было найдено, что этот добавочный эффект вызывается присутствием азота и показано, что он соответствующим образом возрастает, если заменить воздух химически приготовленным азотом. Особым расположением опыта было показано, что частицы, вызывающие эти сцинцилляции, отклоняются магнитным полем приблизительно так, как можно было ожидать, если бы они состояли из быстро движущихся заряженных H-атомов. Представлялось вероятным с самого начала, что эти добавочные H-атомы, которые появляются только в сухом азоте, но не в кислороде или углекислоте, обязаны своим происхождением расщеплению ядра азота при столкновении с быстрой α частицей.

При работе с первоначальным расположением сцинцилляции были малы по своему числу, слабы по интенсивности и трудно было считать их с достаточной аккуратностью. Дальнейший успех зависел, главным образом, от усовершенствования счетного микроскопа

в смысле увеличения интенсивности сцинцилляций и площади сернисто-цинкового экрана, доступной наблюдению. Благодаря употреблению объектива с широкой апертурой и особых окулярных линз слабого увеличения, счет сцинцилляций сделался значительно легче и гораздо более определенным.

Мы рассмотрим теперь методы, выработанные для более детального исследования явлений, наблюдаемых в азоте, и для изучения других элементов в том же отношении. Принятый аппарат (рис. 1) имеет самое простое устройство и состоит, главным образом, из латунной трубки (T), 3 см. диаметром, снабженной кранами, при помощи которых через трубку может циркулировать сухой газ. На одном конце трубки имеется отверстие, покрытое тонкой серебряной пластинкой. Экран

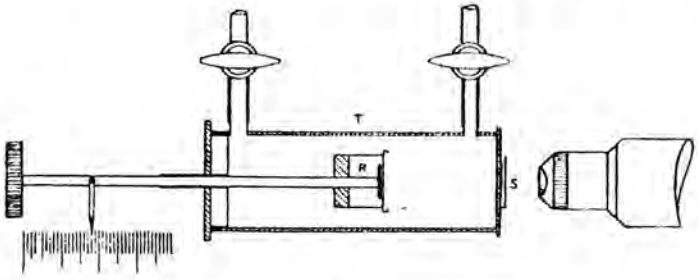

Рис. 1.

из сернистого (S) цинка укреплен на расстоянии 1,3 мм. от отверстия и снабжен пазами, в которые можно вставлять поглощающие экраны из слюды. Радиоактивный источник укреплен на конце стержня, так что его расстояние от экрана можно изменять по желанию. Для того, чтобы уменьшить свечение экрана, вызываемое β-лучами источника, весь аппарат помещался в сильное магнитное поле. Не безынтересно сообщить некоторые детали для иллюстрации величины эффекта, наблюдаемого при различных условиях. Предположим, что радиоактивный источник, состоящий из латунного диска, покрытого с одной стороны невидимым налетом радия C с активностью по γ-лучам, соответствующей 40 мгр. радия, расположен на расстоянии 3,5 см. от экрана, и что через аппарат пропускается ток сухого водорода. Пусть задерживающая способность вещества между источником и сернисто-цинковым экраном соответствует 20 см. воздуха, так что этой задерживающей способности было бы достаточно, чтобы остановить α-частицу с пробегом 20 см. в воздухе. Прохождение α-частиц (которые в данном случае имели пробег 7 см.) через водород освобождает большое количество быстро летящих H-атомов, возбуждающих сцинцилляции на экране. Число этих сцинцилляций, если рассматривать экран через особый микроскоп с полем зрения в 40 мм.^{2}, настолько велико— тысячи в минуту,—что было бы невозможно их считать без уменьшения

активности источника. Если же поместить добавочные поглощающие экраны из слюды, то число сцинцилляций быстро падает, и при поглощении, например, в 30 см. уже нельзя наблюдать ни одной *H*-сцинцилляции в минуту. Подобное же явление наблюдается, если водород заменить кислородом, а источник покрыть тонкой пленкой параффина или какого-нибудь другого водород содержащего соединения. Число *H*-сцинцилляций, наблюдаемое при данной абсорбции, зависит только от количества водорода и совершенно не зависит от химической комбинации. Этого и следовало ожидать, ибо силы, потребные для того, чтобы привести *H*-ядро в быстрое движение, огромны по сравнению со слабыми силами, проявляющимися при химических комбинациях. Таким образом мы выводим заключение, что для α-частиц с пробегом в 7 см. нельзя открыть *H*-атомов из водорода в свободном состоянии или в химическом соединении, при абсорбции, бо́льшей 30 см воздуха.

Теперь кислород, который не дает сцинцилляций, снова заменяется сухим воздухом. Тогда мы сразу наблюдаем для абсорбции в 30 см. более 100 сцинцилляций в минуту, в то время как в водороде не наблюдалось ни одной. Присоединяя новые слюдяные экраны, мы находим, что сцинцилляции прекращаются при абсорбции в 40 см. Ясно, что эти частицы, которые возникают из азота, имеют бо́льший пробег, нежели свободные *H*-атомы, бомбардированные α-лучами. Таким образом эффект, наблюдаемый за пределами 30 см., не может быть приписан водородному загрязнению азота.

Затем воздух снова заменяется нейтральным кислородом, а источник последовательно покрывается тонкими листками меди, железа, серебра, золота, с задерживающей способностью, соответствующей, приблизительно, 3 см. воздуха. При этом не наблюдается ни одного *H*-атома для поглощения, бо́льшего 30 см. Если теперь поставить перед источником тонкий алюминиевый листок, число сцинцилляций сразу возрастает до 100 в минуту. Некоторые из этих сцинцилляций очень ярки и оказывается попадаются такие быстрые частицы, что надо увеличить поглощение до 90 см. для того, чтобы сцинцилляции прекратились. Таким образом ясно, что алюминий дает начало некоторому числу частиц с весьма большим пробегом.

Когда мы исследуем число сцинцилляций за пределами пробега обыкновенных *H*-атомов, то наши результаты совершенно не зависят от какого бы то ни было загрязнения испытуемого вещества водородом. Это большое преимущество, ибо мы можем не сосредоточиваться на заботе о чистоте нашего материала в отношении отсутствия водорода. Таким образом Чэдвик (Dr. Chadwick) и я исследовали большое количество элементов с целью определить, испускают ли эти элементы частицы с пробегом, бо́льшим 32 см. Когда нельзя было воспользоваться элементом, употреблялось соединение этого элемента с „неактивным“ элементом, вроде кислорода. Вещество, в виде порошка, насы-

палось на тонкий золотой листок, закреплялось слоем клейкого вещества (при чем общее поглощение соответствовало в среднем 3-4 см. воздуха) и подвергалось действию лучей. Исследовались все элементы вплоть до атомного веса 40, за исключением гелия, неона и аргона. Оказалось, что ни один элемент с атомным весом, бо́льшим атомного веса фосфора, 31, не дает никакого эффекта, хотя нужно сказать, что пока исследовалось лишь небольшое число элементов с большими атомными весами.

Список элементов, от лития до серы включительно, исследованных таким образом, дан в нижеследующей таблице. В третьем столбце приведены числа сцинцилляций в минуту на миллиграмм активности источника — радия *C* — для поглощения 32 см. воздуха. Эти числа позволяют сделать лишь грубое сравнение эффектов, даваемых различными элементами, так как условия опыта, например, толщина и распределение пленки вещества, варьировали от элемента к элементу. Четвертый столбец дает приблизительные величины пробегов частиц.

Элемент.	Вещество.	Число частиц в минуту на мгр. активности при употреблявшемся микроскопе.	Максимальный пробег в сантиметрах воздуха.
Литий	Li_2O	—	—
Берилий	Be, BeO	—	—
Бор	B	0,15	прибл. 45
Углерод	CO_2	—	—
Азот	Воздух	0, 7	40
Кислород	O_2	—	—
Фтор	CaF_2	0, 4	свыше 40
Натрий	Na_2O	0, 2	прибл. 42
Магний	Mg O	—	—
Алюминий	Al, Al_2O_3	1, 1	90
Кремний	Si	—	—
Фосфор	P (красный)	0, 7	прибл. 65
Сера	S, SO_2	—	—

Кроме перечисленных, исследовались еще следующие элементы с большим атомным весом: хлор—из $MgCl_2$, калий—из KCl, кальций—из CaO, титан—из Ti_2O_3, марганец—из MnO_2, железо, медь, олово, серебро и золото в форме металлических листков. Ни в одном случае не наблюдалось частиц с пробегом, бо́льшим 32 см. воздуха. Вопрос о том, дают ли эти элементы частицы с пробегом, меньшим 32 см., еще не исследовался.

Из приведенной таблицы видно, что для абсорбции в 32 см. воздуха сцинцилляции дают бор, азот, фтор, натрий, алюминий и фосфор. Число сцинцилляций у бора и натрия значительно меньше, чем у остальных элементов.

Кривые поглощения для азота и алюминия.

Изменение числа сцинцилляций при увеличении поглощения на пути лучей, начиная от 10 см., показано на рис. 2. Источником α-лучей во всех случаях служил радий C. Кривая A показывает эффект в азоте (воздух), где максимальный пробег составляет 40 см. Кривая B—кривая поглощения для смеси водорода и углекислоты—приблизительно 1 объем водорода на 1,5 объема углекислоты. Эта смесь обладает такою же задерживающей способностью для α-лучей, как и воздух. Число сцинцилляций, вызываемых водородом, весьма велико, но быстро падает, и за пределами 30 см. нельзя уже обнаружить ни одной

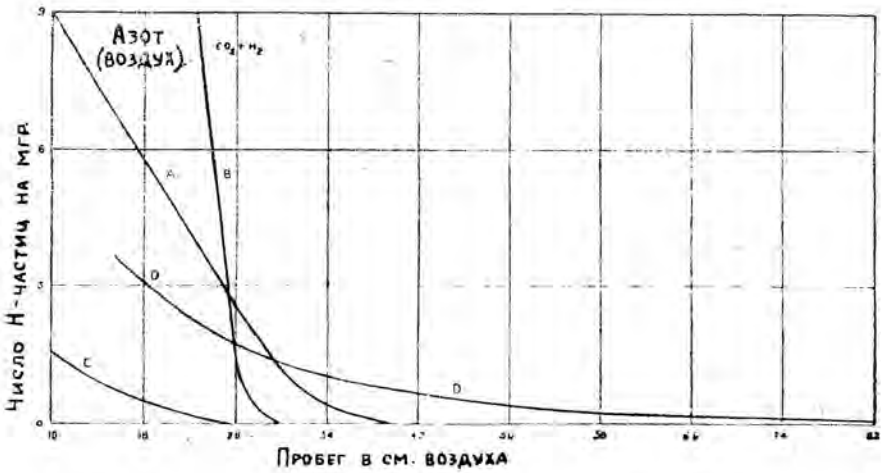

Рис. 2.

сцинцилляции. Кривая C дает „естественный" эффект, когда воздух заменен сухим кислородом. Этот эффект мал по сравнению с эффектом, наблюдаемым в азоте. Кривая D показывает эффект, наблюдаемый, когда перед источником помещена алюминиевая пластинка с задерживающей способностью в 3,5 см. воздуха, а вместо воздуха аппарат наполнен сухим кислородом. Таким образом частицы, освобождаемые из алюминия, обладают способностью проникать гораздо бо́льшую толщину, нежели частицы, освобождаемые в водороде или в азоте.

Весьма интересно определить, каким образом изменяются кривые абсорбции этих частиц с большим пробегом, в зависимости от изменения скорости бомбардирующих α-частиц. Этот вопрос был исследован для двух типичных элементов, азота и алюминия, и результаты для последнего показаны на рис. 3. Найдено, что в первом приближении максимальный пробег частиц, освобожденных из элемента, пропорционален пробегу бомбардирующих частиц. Во всех случаях число сцинцилляций быстро падает при уменьшении скорости α-частиц.

Влияние скорости особенно заметно в алюминии, и когда пробег α-частиц уменьшается до 4,9 см., то наблюдается очень малое число частиц, если их вообще можно обнаружить. Эффект, показанный кривой D (рис. 3), вызван почти исключительно „естественными" сцинцилляциями источника. Если мы примем во внимание, что уменьшение скорости, соответствующее уменьшению пробега α-частиц от 7 до 4,9 см., составляет только 11%, то мы увидим насколько быстро падает число сцинцилляций с уменьшением скорости. Повидимому, в случае алюминия, вообще нельзя вызвать расщепления, если скорость α-частиц будет ниже некоторой крити-

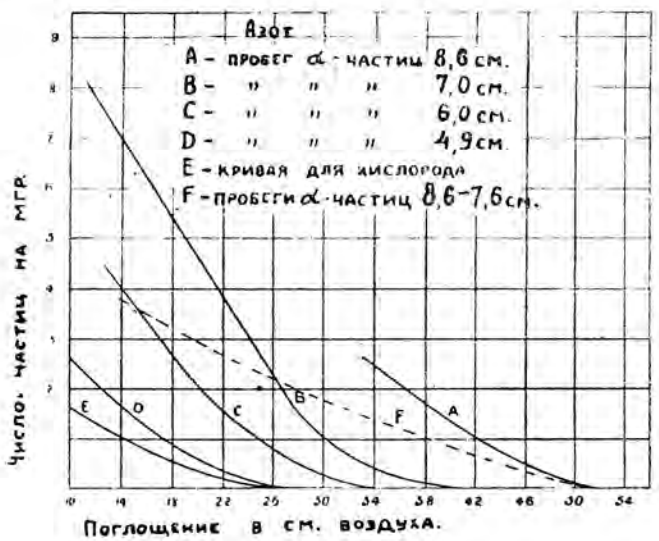

Рис. 3.

ческой величины. Доказать это достаточно убедительно не легко, но если это так, то это указывает, что α-частица должна обладать некоторой критической энергией для того, чтобы освободить H-атом из ядра.

Весьма замечательный результат был обнаружен в случае алюминия. Следовало ожидать, что большая часть освобожденных частиц будет двигаться в направлении бомбардирующих α-частиц. Однако в действительности было найдено, что почти столько же частиц, сколько выбрасывается вперед, выбрасывается назад. В азоте аналогичное явление наблюдено не было. Остальные элементы еще не исследованы с этой точки зрения, но мы должны ожидать, что такой элемент, как фосфор, который дает частицы с большим пробегом, также обнаружит подобный эффект [1]).

---

[1]) Позднейшая работа Резерфорда (Phil. Mag. September 1922 p. 417) показала однако, что частицы обратного направления испускаются всеми „активными" элементами.

Перев.

Природа выброшенных частиц.

Легко показать, что частицы с большим пробегом, освобождаемые из элементов, отклоняются в сильном магнитном поле. С помощью специальных методов оказалось возможным сравнить величину отклонения этих частиц с отклонением быстрых H-атомов, получающихся при прохождении α-частиц через обыкновенный водород. Было найдено, что частицы из азота отклоняются почти в той же степени, как и H-частицы из водорода, и во всех отношениях ведут себя, как быстрые H-атомы, несущие один положительный заряд. По первому взгляду представляется вероятным, что соответствующие частицы из фтора фосфора и алюминия являются также H-атомами, освобождаемыми из ядра со скоростями, зависящими от природы элемента и от скорости налетающих частиц. Это было подтверждено недавними опытами Чэдвика (Chadwick) и моими по методу, аналогичному тому, который применялся при исследовании азота[1]). Отклонение частиц в магнитном поле изучалось для абсорбции большей 32 см. с тою целью, чтобы не осложнять опыта возможным присутствием водородного „загрязнения" в исследуемом веществе. Опыты оказались нелегкими, так как в условиях их постановки было доступно наблюдению лишь малое число частиц. Для этого исследования пришлось сконструировать специальный микроскоп с большим полем зрения. Результаты всех опытов обнаружили полное согласие со взглядом, что частицы из фтора, фосфора и алюминия суть быстрые атомы водорода, и мы можем заключить, что во всех случаях из ядер этих элементов освобождаются H-атомы.

Максимальную скорость выбрасывания H-атома из различных элементов можно приблизительно оценить, допуская, что закон, связывающий скорость и пробег α-частицы, справедлив также и для H-атома, т.-е. допуская, что скорость пропорциональна корню кубичному из пробега. Было вычислено — и опыт подтвердил это вычисление, — что максимальная скорость, сообщаемая H-атому при центральном столкновении с α-частицей скорости V есть 1,6 V, а пробег в воздухе—приблизительно 28 см.[2]). Следовательно, максимальная скорость H-атома из азота с пробегом 40 см. будет 1,8 V, а максимальная скорость H-атома из алюминия при пробеге 90 см. —2,37 V. При прямом столкновении α-частица сообщает свободному H-атому 0,64 своей энергии, и можно подсчитать что все H-частицы, которые имеют пробег больше 56 см., выбрасываются с энергией большей, нежели энергия бомбардирующих α-частиц. В случае алюминия максимальная энергия H-атома в 1,4 раза больше энергии налетающих α-частиц. Этот весьма интересный результат показывает,

---

[1]) См. статью — „Нуклеарное строение атома". Успехи Физических Наук, т. II, вып. 2. *Перев*

[2]) При пробеге α-частицы 7 см.

Перев.

что в некоторых случаях при расщеплении ядра алюминия действительно получается выигрыш в энергии. Поэтому мы можем сделать заключение, что во всяком случае при всех столкновениях, где освобожденный *H*-атом имеет пробег, больший 56 см. воздуха, часть энергии *H*-атома заимствуется из расщепленного ядра. В некоторых отношениях здесь имеется аналогия с хорошо известным выигрышем энергии при освобождении α-частицы из радиоактивного ядра.

Следует помнить, что количество расщепленного вещества весьма ничтожно. Когда α-частица радия *C* проходит через алюминий, она, вероятно, проникает сквозь электронные структуры около 100.000 атомов и только, примерно, две α-частицы на миллион проходят достаточно близко от ядра, чтобы вызвать освобождение *H*-атома. Мы знаем, что α-частицы 1 грамма радия, будучи собраны, дают 163 кубич. миллиметра гелия в год. Если мы предположим, что все α-частицы от 1 грамма радия были направлены в алюминий, то количество водорода, освобождаемое вследствие расщепления ядер алюминия, не должно превосходить 0,001 кубич. миллиметра в год. Таким образом количество водорода, освобождаемое в реальных условиях опыта, находится далеко за пределами возможности открытия обыкновенными химическими методами. Изучение процесса расщепления стало возможным только благодаря применению такого деликатного метода, который позволяет наблюдать каждый освобожденный *H*-атом по сцинцилляциям на сернисто-цинковом экране.

Механизм расщепления.

Изучение радиоактивности уже навело на мысль, что α-частица или ядро гелия с массой 4 является одной из единиц структуры атома. Опыты, изложенные в настоящей лекции, дали первое определенное доказательство того, что ядро водорода также является одной из единиц структуры некоторых легких элементов. Интересно отметить, что *H*-атомы освобождаются только из тех элементов, атомные массы которых выражаются формулами $4n+2$ или $4n+3$, где n целое число. Элементы вроде углерода или кислорода, атомные массы которых выражаются формулой $4n$, не дают *H*-атомов. Это показано в следующей таблице:

Элемент	Масса	$4n+a$
Бор	11	2.4+3
Азот	14	3.4+2
Фтор	19	4.4+3
Натрий	23	5.4+3
Алюминий	27	6.4+3
Фосфор	31	7.4+3

Такой результат следовало предвидеть, если ядра перечисленных элементов построены из ядра гелия с массой 4 и ядер водорода. Чтобы

объяснить освобождение H-атомов из этих элементов, естественно сделать предположение, что H-ядра являются спутниками главной массы ядра их. Если спутник не слишком близок к последнему, то α-частица при тесном столкновении может сообщить спутнику достаточную энергию, чтобы освободить его из системы. Нужно предвидеть, что H-спутники в случае алюминия расположены ближе к ядру, нежели в случае азота, и, следовательно, что в случае алюминия требуется бо́льшая энергия для освобождения спутников. Интересно отметить, что вероятность освобождения быстрого H-атома из азота составляет не более $^1/_{20}$ вероятности для свободного H-атома быть приведенным в соответствующее движение. Это указывает на то, что должно быть существуют определенные пределы скорости спутника и определенные положения его по отношению к центральному ядру, при которых возможно освобождение этого спутника.

Мы уже указывали на тот факт, что H-атомы из алюминия как будто бы освобождаются во всех направлениях. Однако в действительности скорость H-атомов, выбрасываемых в сторону противоположную движению α-частицы, значительно меньше скорости выбрасываемых в ту же сторону. Этот результат на первый взгляд как будто бы подсказывает, что α-частица для ядра алюминия играет роль детонатора и что энергия освобождающихся обломков заимствуется, главным образом, из ядра. Однако я думаю, что нижеследующее объяснение более вероятно и находится в лучшем согласии с опытом. Если мы предположим что H-спутник описывает орбиту вокруг центрального ядра, то направление вылета будет зависеть от относительного положения α-частицы и ядра в момент тесного столкновения со спутником. Например, при столкновении, показанном на рис. 4 A, H-атом освобождается в прямом направлении; при столкновении рис. 4 B H-атом описывает орбиту вокруг ядра и освобождается в обратном направлении. Скорость, сообщенная остаточному ядру в прямом направлении, значительно больше в последнем случае, нежели в первом. Подобное представление предполагает, что силы между положительно заряженными спутником и ядром в непосредственной близости от последнего притягательные, а не отталкивательные. Это изменение знака сил на очень малых расстояниях от ядра кажется весьма вероятным, ибо иначе трудно понять, каким образом сохраняет свою устойчивость положительно заряженное сложное ядро.

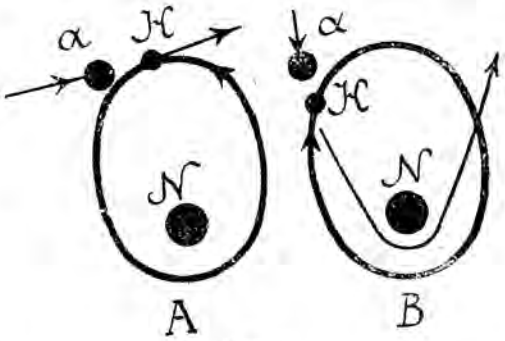

Рис. 4.

Из возможности освобождения H-атомов легкими элементами вытекает еще и другое довольно интересное следствие. Предполагается, вообще—хотя и очень трудно дать непосредственное доказательство для этого предположения,—что ядро гелия построено из четырех водородных ядер и двух электронов. Такая комбинация сопровождается потерей массы[1]), и это обстоятельство приписывается весьма тесной комбинации структурных единиц. Из современного представления о связи между массой и энергией следует, что энергия, освобождаемая при образовании ядра гелия, более чем в три раза превосходит энергию самой быстрой α-частицы радия[2]). Следовательно, мы и не должны ожидать возможности разрушения ядра гелия обыкновенной α-частицей, что вполне согласуется с опытами, поскольку они пока простираются. Действительно, ядро гелия представляется наиболее устойчивым из всех ядер.

Однако в виду того, что в случае азота, например, мы можем освободить H-атом при помощи медленных α-частиц, ясно, что в ядре азота H-спутник связан не так тесно, как в ядре гелия. Следовательно, изменение массы, вызванное излучением энергии, связывавшей H-спутник, должно быть у азота значительно меньше, нежели у гелия. Масса спутника не должна сильно отличаться от массы свободного ядра H (1,0077, если $0 = 16$).

---

[1]) В самом деле, атомный вес гелия равен 4,002, между тем как $4.1,0077 = 4,0308$, разница составляет 0,029. *Перев.*

[2]) Действительно, соотношение между массой (m) и энергией (E) имеет, как известно, следующий вид:

$$E = m.c^2,$$

где c—скорость света. Таким образом в нашем случае энергия, выделенная при образовании ядра гелия, будет

$$\Delta E = (\Delta m).c^2 = 0,029\ c^2.$$

Рассчитаем теперь на грамм-атом кинетическую энергию α-частицы радия C (скорость $\backsim 2.10^9 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$)

$$E = \frac{1}{2} m \left(\ \ _c\right)^2 c.^2 = \frac{4}{2}\left(\frac{2}{30}\right)^2 c^2 = 0,009c^2.$$

Таким образом $\frac{\Delta E}{E} \backsim 3,2$. „Термохимическое уравнение“ образования гелия будет иметь вид:

$$4H + 2El = He + Q.$$

Если пересчитать на большие калории „теплоту образования“ грамм-атома, то, очевидно, получится

$$Q = \frac{0,029c^2}{4,19.10^{10}} = 6,25.10^9\ Cal.$$

Величина огромная, если вспомнить, что термохимические эффекты обычных реакций имеют порядок 100 *Cal.* (A Sommerfeld, Atombau p.).

Перев.

Если предположить, например, что ядро азота построено из трех ядер гелия и двух ядер водорода[1]), то масса атома азота не должна равняться точно 14,00, но должна быть ближе к 14,01. Представляется вероятным, что в случае легких элементов эффективная масса протонов, входящих в состав ядра, должна варьировать в различных атомах приблизительно от 1,007 до 1,000, в зависимости от бо́льшей или меньшей тесности комбинации. Следовательно, мы должны ожидать, что от найденного Астоном (Aston) „правила целого числа", которое справедливо для атомных масс с точностью около 1 промилле, пришлось бы отказаться, если бы можно было делать измерения со значительно бо́льшей точностью.

Далее возникает вопрос, не могут ли освобождаться при бомбардировке α-лучами другие частицы помимо водорода. Несколько времени тому назад я нашел, что когда в качестве источника употребляется радий C, то можно наблюдать небольшое число ярких сцинцилляций, которым соответствует максимальный пробег в воздухе 9 см. Естественно было с самого начала предположить, что эти сцинцилляции вызываются новым типом α-лучей, исходящих из радиоактивного источника. Однако влияние алюминиевых экранов на уменьшение пробега этих частиц навело меня сперва на мысль, что они возникают в объеме газа, наполняющего аппарат, а именно, в азоте и кислороде. Сравнивая отклонение этих лучей в магнитном поле с отклонением H-частиц из водорода, я заключил, что лучи эти состоят из атомов, обладающих массою около 3 и несущих два положительных заряда. Дальнейшие опыты прямо указали мне недостаток употреблявшегося метода закрепления источника излучения, обусловливавший заметную неравномерность толщины металлических пленок. Пользуясь более прямым и простым методом, я недавно убедился в том, что в случае кислорода частицы несомненно возникали в радиоактивном источнике, но не в объеме окружающего газа. При таких условиях сравнительный метод оценки массы частиц уже является ненадежным. Для того, чтобы точно установить природу этого излучения, требуется большое количество опытов. Однако общие признаки указывают на то, что оно состоит из частиц с массою 4, которые выбрасываются из источника и характеризуют новый вид превращения радия C.

Описанными методами можно открыть частицы, которые пробегают расстояние бо́льшее, нежели первоначальные α-частицы. Однако, если возможно расщепление элемента, при котором освобождается массивная частица, весьма вероятно, что последняя будет иметь меньший пробег, нежели α-частица. Для исследования подобных случаев мы можем воспользоваться превосходным методом, разработанным Уильсоном (C. T. R. Wilson) для демонстрации путей ионизующих частиц. Подобные опыты по видоизмененному методу были проделаны Шимизу

[1]) И, очевидно, кроме того, одного электрона, так как нуклеарный заряд азота равен семи. *Перев.*

(Shimizu) в Кавендишевской лаборатории. Был получен ряд фотографий, показывающих резко обозначенные пути частиц вблизи от конца их пробега. Однако, несмотря на то, что эти фотографии были аккуратно промерены и сравнены между собой, трудно с уверенностью сказать, можно ли объяснить разветвленные пути столкновением α-частицы с ядрами азота или кислорода. Повидимому, однако, упомянутые ядра могут пробегать значительные расстояния в газе прежде, нежели быть поглощенными. Если сделать большое количество фотографий, то можно будет определенно решить, происходят ли столкновения, сопровождающиеся разрушением атома, и найти вероятность таких столкновений. Такой прямой метод подхода к проблеме, хотя он и представляется мешкотным, должен дать весьма ценные сведения по интересующему нас вопросу.

Представляется вероятным, что α-частица иногда может быть в состоянии вырвать атом гелия из сложного ядра, вроде ядер углерода или кислорода, которые представляют себя построенными соответственно из трех и четырех гелиевых ядер. Тот факт, что массы этих атомов приблизительно равны целым, кратным массы атома гелия, внушает мысль, что ядра гелия связаны в них между собою значительно более слабыми силами, нежели H-компоненты самого ядра гелия. Если строение сложного ядра, скажем—ядра кислорода, таково, что α-частица может сообщить значительную часть своего момента и своей энергии отдельным компонентам этого ядра, то мы должны ожидать, что такое расщепление может произойти. Возможно также, что в качестве вторичных структурных единиц сложных ядер некоторых элементов существуют также частицы с массою около 2-х или 3-х, но до сих пор не было получено определенного доказательства их освобождения.

Я ограничивался до сих пор рассмотрением эффекта расщепления быстрыми α-лучами. Важно обсудить, не могут ли вызвать аналогичные явления быстрые β-лучи или энергичные γ-лучи радия. Мы нашли, что ни β, ни γ-лучи не в состоянии сообщить достаточно энергии свободному H-атому в обыкновенном водороде, чтобы этот H-атом можно было открыть методом сцинцилляций. Следовательно, тем менее должны мы ожидать, чтобы эти лучи освободили быстрый H-атом из сложного ядра. Однако возможно, что эти агенты, и в особенности γ-лучи очень короткой длины волны, будут в состоянии освободить электрон и вызвать таким образом изменение атомного номера. Однако убедиться в том, что такое превращение произошло, было бы трудно, за исключением того случая, когда возникающий атом, в свою очередь, окажется неустойчивым и распадется с испусканием быстрых частиц типа α-лучей. Необходимо отметить, что Слатер (Slater) показал, что α-лучи при прохождении через обычную материю могут возбуждать какие-то сильно проникающие лучи. Это наблюдение может служит некоторым доказательством того, что подобное излучение большой частоты может возникать только из ядра атома. Если бы это оказалось так, возможно

было бы, чтобы α-лучи в некоторых случаях вызывали выбрасывание β-частиц из ядра и последующее превращение. Однако этот эффект должен быть чрезвычайно незначительным.

Уже в прошлом было сделано несколько попыток разложить обыкновенный атом при помощи особых агентов. Покойный сэр Виллиам Рамзай (Sir William Ramsay) с характерным для него инстинктом выбора наилучшей „линии нападения" проделал ряд опытов над влиянием α-лучей радия на вещество и заключил, что ему удалось осуществить образование неона из воды и освобождения лития из меди. Эти заключения не были подтверждены последующими учеными, и в свете опытов, описанных в этой лекции, представляется весьма сомнительным, чтобы масштаб превращения—если бы даже оно и происходило - был достаточен для того, чтобы его можно было обнаружить применявшимися обыкновенными химическими методами.

Было отмечено также несколько случаев появления гелия в разрядных трубках. При этом предполагалось, что гелий является продуктом превращения электродов под действием интенсивных электрических разрядов. Наиболее замечательный эксперимент в этом направлении был проделан проф. Колли (Collie), но последующие детальные исследования Стретта (Strutt) не подтвердили заключений Колли. В высшей степени трудно доказать, что образование гелия не вызвано его освобождением из окклюдированного состояния в электродах вследствие интенсивного нагревания при разряде. Аналогично было сделано несколько наблюдений постоянного освобождения водорода из электродов. Винчестер (Winchester), который детально исследовал это явление, пользуясь тонкими алюминиевыми электродами, нашел, что водород освобождается до тех пор, пока электроды не распылятся окончательно. Весьма трудно предположить, чтобы в данном случае водород являлся продуктом превращения алюминия, стоит вспомнить большую энергию α-частицы, необходимую для того, чтобы вызвать это превращение. Как и в случае гелия, представляется более вероятным, что водород первоначально был поглощен электродами.

Хотя и опасно в данном случае быть догматичным, однако общие признаки указывают на то, что атомы, как правило, обладают настолько устойчивой структурой, их ядра сдерживаются такими мощными силами, что лишь α-частицы, как наиболее концентрированные источники энергии, являются подходящими для нападения на эти хорошо защищенные сооружения. Даже тогда, когда расщепление происходит, оно совершается в таком незначительном масштабе, что только несколько α-частиц из миллиона являются действительными. Если бы в нашем распоряжении были заряженные атомы с энергией, в десять раз превосходящей энергию α-частицы радия, мы, вероятно, могли бы проникнуть в нуклеарную структуру всех атомов, а иногда и вызвать их разрушение

Перевел *Э. Шпольский.*