

Нуклеарное строение атома.

Э. Резерфорд.

ВВЕДЕНИЕ.

Представление о нуклеарном строении атома первоначально возникло из попыток объяснить рассеяние α -частиц на большие углы при прохождении через тонкие слои материи ¹⁾. Так как α -частицы обладают большою массою и большою скоростью, то эти значительные отклонения были в высшей степени замечательны; они указывали на существование весьма интенсивных электрических или магнитных полей внутри атомов. Чтобы объяснить эти результаты необходимо было предположить ²⁾, что атом состоит из заряженного массивного ядра, весьма малых размеров по сравнению с обычно принятой величиной диаметра атома. Это положительно заряженное ядро содержит большую часть массы атома и окружено на некотором расстоянии известным образом распределенными отрицательными электронами; число которых равняется общему положительному заряду ядра. При таких условиях вблизи ядра должно существовать весьма интенсивное электрическое поле и α -частицы, при встрече с отдельным атомом проходя вблизи от ядра, отклоняются на значительные углы. Допуская, что электрические силы изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния в области, прилегающей к ядру, автор получил соотношение, связывающее число α -частиц, рассеянных на некоторый угол с зарядом ядра и энергией α -частицы. Под влиянием центрального силового поля, α -частица описывает гиперболическую орбиту вокруг ядра, и величина отклонения зависит от степени приближения ее к последнему. Из данных относительно рассеяния α -частиц, полученных таким образом, было выведено заключение, что общий заряд ядра равен приблизительно $\frac{1}{4} A e$, где A —атомный вес, а e —элементарное количество электричества. Geiger и Marsden ³⁾ сделали серию тщательных опытов, чтобы проверить справедливость этой теории, и подтвердили большую часть ее выводов. Они нашли, что нуклеарный

¹⁾ Geiger and Marsden. Roy. Soc. Proc., A. vol. 82, p. 495. 1909.

²⁾ Rutherford. Phil. Mag., vol. 21, p. 669, 1911, vol. 27, p. 488. 1914.

³⁾ Geiger and Marsden. Phil. Mag., vol. 25, p. 604. 1913.

заряд равен $\frac{1}{2} A e$, но вследствие трудности опыта можно было определить его величину лишь в пределах 20%. С. G. Darwin ¹⁾ разработал полностью теорию отклонения α -частицы и ядра, принимая во внимание массу последнего, и показал, что опыты Geiger'a и Marsden'a могут быть согласованы лишь с законом центральной силы обратно пропорциональной квадрату расстояния. Таким образом нуклеарное строение атома нашло сильное подтверждение в опытах с рассеянием α -лучей.

Так как атом электрически нейтрален, то число внешних электронов, окружающих ядро, должно быть равно числу единиц положительного электричества ²⁾, заключающихся в общем заряде ядра. Следует заметить, что на основании изучения рассеяния X -лучей легкими элементами Barkla ³⁾ показал в 1911 году, что число электронов должно быть приблизительно равно половине атомного веса. Это было выведено из теории рассеяния сэра J. J. Thomson, в которой предполагается, что каждый внешний электрон в атоме действует как независимая рассеивающая единица.

Таким образом два совершенно различных метода дали одинаковые результаты относительно числа внешних электронов в атоме. Однако изучение рассеяния α -лучей показало кроме того, что положительный заряд должен быть сконцентрирован в массивном ядре малых размеров. Van den Broek ⁴⁾ высказал мысль, что рассеяние α -частиц атомом не противоречит возможности того, что заряд ядра равен атомному номеру атома, т.е. номеру места, занимаемого данным атомом, когда элементы расположены в порядке возрастания их атомных весов. Важность атомного числа для характеристики свойств атома была показана замечательной работой Moseley ⁵⁾ о спектрах X -лучей элементов. Moseley показал, что частота колебаний соответствующих линий в рентгеновских спектрах элементов зависит от квадрата числа, которое изменяется на единицу при последовательном переходе от элемента к элементу.

Это соотношение можно объяснить, предполагая, что нуклеарный заряд изменяется на единицу при переходе от атома к атому и что он численно равен атомному номеру. Кстати я должен подчеркнуть, что большее значение работы Moseley'a заключается не только в определении числа возможных элементов и положения неизвестных элементов, но так же и в доказательстве того, что свойства атомов определяются числом, которое изменяется на единицу при переходе от атома к атому. Это дает новый метод изучения периодической системы эле-

¹⁾ Darwin, Phil. Mag., vol 27, p. 499. 1914.

²⁾ Под единицей положительного или отрицательного электричества здесь и в дальнейшем разумеется, элементарное количество электричества $e=4,77 \cdot 10^{-10}$ CGSE.

Переводчик.

³⁾ Barkla, Phil. Mag., vol 21, p. 648. (1911).

⁴⁾ Van den Broek, Phys. ZS, vol. 14, p. 32. (1913).

⁵⁾ Moseley, Phil. Mag., vol. 26, p. 1024 (1913), vol. 27, p. 503 (1914).

ментов, ибо атомное число или равный ему нуклеарный заряд обладает большей важностью, нежели атомный вес. В работе Moseley частота колебаний атома не точно пропорциональна N , где N —атомное число, но пропорциональна $(N-a)^2$, где a —постоянная, зависящая от того, какая из серий характеристических излучений элементов (K или L серия) измеряются. Предполагают, что эта константа зависит от числа и положения электронов вблизи от ядра.

Заряд ядра.

Вопрос о том, является ли атомное число элемента действительной мерой его нуклеарного заряда, настолько важен, что для разрешения его должны быть применены все возможные методы. В настоящее время в кавендишевской лаборатории ведется несколько исследований с целью проверки точности этого соотношения. Два наиболее прямых метода основаны на изучении рассеяния быстрых α - и β -лучей. Первый метод применяется Chadwick'ом, пользующимся новыми приемами; последний—Crowthen'ом. Результаты, полученные до сих пор Chadwick'ом, вполне подтверждают тождество атомного числа с нуклеарным зарядом в пределах возможной точности эксперимента, которая у Chadwick'a составляет около 1%.

Таким образом ясно, что мы имеем прочные основания утверждать, что нуклеарный заряд численно равен атомному номеру элемента. Эти результаты, будучи сопоставлены с результатами работы Moseley, указывают на то, что закон обратной пропорциональности квадрату расстояния выполняется с достаточной точностью в области, окружающей ядро. В высшей степени интересно найти размеры этой области, ибо эти размеры дадут нам определенные сведения о расстоянии внутренних электронов от ядра. С этой точки зрения важные показания должно дать сравнение рассеяния быстрых и медленных β -лучей. Совпадение опыта с теорией для рассеяния α -лучей между 5° и 150° указывает, что закон обратной пропорциональности квадрату расстояния выполняется точно в случае тяжелых элементов, вроде золота, для расстояний приблизительно между $36 \cdot 10^{-12}$ и $3 \cdot 10^{-12}$ см. от ядра. Отсюда мы можем заключить, что если в этой области вообще имеются электроны, то в малом количестве.

α -частица при прямом столкновении с атомом золота (нуклеарный заряд 79) отскакивает назад на расстояние $3 \cdot 10^{-12}$ см. Это указывает, что ядро можно рассматривать как точечный заряд даже для таких малых расстояний. До тех пор, пока в нашем распоряжении не имеется более быстрых α -частиц, мы не можем, в случае тяжелых элементов, продвинуть дальше вопрос о размерах ядра. Однако мы увидим впоследствии, что в случае легких атомов, где α -частицы могут подходить ближе к ядру, у нас есть больше надежды на разрешение этого вопроса.

В высшей степени важно подчеркнуть большое значение нуклеар-

ного заряда для характеристики физических и химических свойств элемента, ибо, очевидно, число и распределение внешних электронов, от которых зависит большинство физических и химических свойств, обусловлено общим зарядом ядра. Следует предвидеть теоретически, и это подтверждается опытом, что истинная масса ядра оказывает лишь незначительное влияние на расположение внешних электронов и на их колебания.

Таким образом вполне возможно представить себе существование элементов с совершенно одинаковыми физическими и химическими свойствами, но с разными массами. В самом деле, при одном и том же нуклеарном заряде возможно известное число различных устойчивых комбинаций единиц, из которых построено сложное ядро ¹⁾. Таким образом зависимость свойств атома от его нуклеарного заряда, а не от массы дает рациональное объяснение существования изотопов, у которых физические и химические свойства могут быть совершенно неразличимыми, между тем как массы могут колебаться в известных пределах. Этот важный вопрос мы рассмотрим еще детальнее впоследствии в свете новых данных о природе единиц, из которых построено ядро.

Таким образом проблема строения атома естественно распадается на две части:

- 1) Строение самого ядра.
- 2) Распределение и способы колебания внешних электронов.

Я не намереваюсь входить сегодня в рассмотрение второго пункта, так как это — весьма обширный предмет, по поводу которого могут существовать различные мнения. Эта сторона проблемы первоначально изучалась Bohr'ом и Nicholson'ом, при чем ими был сделан весьма значительный шаг вперед. Sommerfeld и другие с большим успехом применили общий метод Bohr'a к объяснению тонкой структуры спектральных линий и тех сложных колебаний, которые совершают простые атомы при явлении Штарка. Недавно Langmuir и другие изучали проблему распределения внешних электронов с химической точки зрения. Они подчеркнули важность допущения более или менее кубического расположения электронов в атоме. Не подлежит сомнению, что каждая из этих теорий имеет свою определенную сферу полезного применения; однако наши сведения еще слишком скудны, чтобы согласовать между собой очевидные различия в этих теориях.

Я намереваюсь сегодня обсудить в известных деталях опыты, сделанные с целью пролить свет на строение и устойчивость ядер некоторых простых атомов. Из изучения радиоактивности мы знаем, что ядра радиоактивных элементов частью состоят из ядер гелия с зарядом 2e. Мы имеем также весьма солидные основания думать, что

¹⁾ Другими словами: один и тот же суммарный заряд может быть воспроизведен путем известного числа различных комбинаций положительных и отрицательных составных частей.

ядра атомов содержат наряду с положительно заряженными частицами, также и электроны и что положительный заряд ядра является избытком общего положительного заряда над отрицательным. Интересно отметить ту весьма различную роль, которую играют электроны во внешних слоях атома и внутри его. В первом случае электроны располагаются сами на известном расстоянии от ядра, определяемом, без сомнения, главным образом зарядом ядра и взаимодействием их собственных полей. Внутри ядра электроны образуют весьма тесную и прочную комбинацию с положительно заряженными единицами. Поскольку мы знаем, именно вне ядра электроны не находятся в устойчивом равновесии. В то время, как внешние электроны, без сомнения, взаимодействуют с ядром как точечные заряды, это не имеет места для электронов внутри ядра. Следует предвидеть, что под влиянием огромных сил внутри последнего электроны сильно деформируются и что силы здесь могут быть совершенно иного характера по сравнению с теми, которых можно ожидать от недеформированного электрона вне атома.

В ядерной теории обыкновенно принималось, что электрические силы и заряды играют наиболее важную роль при определении структуры внутренних и внешних частей атома. Значительным успехом этой теории в объяснении главных явлений является подтверждение общей справедливости этой точки зрения. В то же самое время, если электроны и частицы составляющие ядро, находятся в движении, то должны возникать магнитные поля, которые следует принимать во внимание во всякой полной теории атома. В этом отношении магнитные поля надо считать скорее вторичным, нежели первичным фактором, несмотря на то, что эти поля могут играть существенную роль в условиях равновесия атома.

Размеры ядра.

Мы видели, что в случае атомов с большим ядерным зарядом даже наиболее быстрые α -частицы не могут проникнуть в действительную структуру ядра, так что мы можем лишь оценить максимальные размеры последнего. Однако в случае легких атомов, когда ядерный заряд мал, при центральном ударе с α -частицей, она настолько близко подходит к ядру, что мы можем оценить размеры его и составить некоторое понятие о развивавшихся здесь силах. Это лучше всего видно в случае центрального удара между α -частицей и атомом водорода. В этом случае H-атом приходит в настолько быстрое движение, что пробегает в четыре раза больший путь, нежели сталкивающаяся с ним α -частица, и может быть открыт по сцинтилляциям, вызываемым им на экране из сернистого цинка ¹⁾. Автор ²⁾ показал, что эти сцинтилляции вызываются атомами водорода, несущими один положительный заряд и летящими со скоростью, ко-

¹⁾ Marsden, Phil. Mag., vol. 27, p. 824 (1914).

²⁾ Rutherford, Phil. Mag. vol. 37, I и II, p. 538—571 (1919).

торую можно было ожидать по простой теории удара, т. е. со скоростью в 1,6 раза больше скорости α -частиц¹⁾. Соотношение между числом и скоростью этих Н-атомов совершенно отлично от того, которое можно было ожидать, если рассматривать α -частицу и Н-атом как точечные заряды для данных расстояний. В результате столкновения с быстрыми α -частицами получаются Н-атомы, которые обладают мало отличающимися друг от друга скоростями и которые несутся приблизительно по направлению налетающих α -частиц. Отсюда было выведено, что закон обратной пропорциональности квадрату расстояний становится несправедливым, когда ядра приближаются друг к другу на расстояние, меньшее $3 \cdot 10^{-13}$ см. Это может служить указанием на то, что ядра имеют размеры этого порядка величины и что силы между ядрами весьма быстро изменяются по величине и по направлению при сближении на расстояния, сравнимые с обычно принятым диаметром электрона. Было указано, что при таких тесных столкновениях между ядрами развиваются огромные силы и что, вероятно, в течение столкновения структура ядер претерпевает значительную деформацию. Тот факт, что ядро гелия, которое, как можно предположить, состоит из четырех Н-атомов и двух электронов, выдерживает это столкновение, является указанием на его в высшей степени устойчивую структуру. Аналогичные результаты наблюдались при столкновении между α -частицами и атомами азота и кислорода. И здесь атомы, получившие ускорение, представлялись несущимися главным образом в направлении α -частиц, а область, где развивались особые силы, имела тот же порядок величины, как и в случае столкновения α -частицы с водородом.

Не подлежит сомнению, что пространство, занятое ядром, и расстояния, на которых сила становится ненормальной, возрастают вместе

1) Полная чисто механическая теория столкновения α -частиц с легкими атомами была разработана Darwin'ом (Phil. Mag. 27, p. 499, 1914). Для скорости легкого атома после столкновения Darwin получил следующую формулу

$$u = 2 V \frac{M}{M+m} \cos \theta,$$

где u — скорость легкого атома после столкновения

V — первоначальная скорость α -частицы

M — масса α -частицы

m — масса легкого атома

θ — угол отклонения легкого атома по отношению к первоначальному направлению α -частицы.

Если удар центральный ($\theta = 0$) и α -частица сталкивается с атомом водорода, ($M = 4$, $m = 1$), то, как легко видеть, предыдущее уравнение дает

$$u = 1,6 V$$

Geiger нашел эмпирическую формулу связывающую пробег (R) со скоростью (u)

$$R = ku^3.$$

Пользуясь полученным соотношением между скоростями α -частицы и Н-атома, видим, что пробег Н-атома после столкновения должен быть в 4 раза больше пробега налетающей α -частицы.

Перев.

со сложностью структуры ядра. Следует ожидать, что ядро Н должно быть самым простым из всех, и, если оно является положительным электроном, — оно должно иметь чрезвычайно малые размеры, по сравнению с отрицательными электронами. При столкновении между α -частицами и Н-атомами, α -частицы следует рассматривать, как более сложные структуры.

Диаметр ядра легких атомов, за исключением водорода, имеет порядок величины, вероятно, $5 \cdot 10^{-13}$ см. и при тесном столкновении ядра приходят в контакт а, может быть, даже проникают друг в друга. При таких условиях можно ожидать, что только очень устойчивые ядра выдержат столкновения, и таким образом является в высшей степени интересным исследовать возможность распада ядра.

Частицы с большим пробегом, получающиеся в азоте.

В более ранних статьях, *loc. cit.*, я описал явления, происходящие при тесных столкновениях быстрых α -частиц с легкими атомами вещества, с целью определить, не могут ли подвергаться разложению ядра некоторых легких атомов под влиянием огромных сил, развивающихся при таких тесных столкновениях. В этих статьях было дано доказательство того, что при прохождении α -частиц через сухой азот возникают быстрые частицы, весьма напоминающие по яркости сцинтилляций и дальности проникновения атомы водорода, приведенные в движение под влиянием столкновения с α -частицами. Далее было показано, что эти быстрые атомы, которые появляются только в сухом азоте, но не в кислороде или в угольной кислоте, не могут быть приписаны присутствию водяного пара или другого вещества, содержащего водород, но что они должны возникать при столкновении α -частиц с атомами азота. Число таких сцинтилляций, получаемых в азоте, было мало (приблизительно $\frac{1}{2}$ соответствующего числа в водороде), но оно было в два или три раза больше числа естественных ¹⁾ сцинтилляций источника. Число сцинтилляций, наблюдавшихся в азоте, в среднем было равно числу сцинтилляций, которые наблюдались, когда водород при давлении приблизительно в 6 см. примешивался к кислороду или угольной кислоте при нормальном давлении.

Между тем, как общие признаки указывали на то, что эти атомы с большим пробегом, возникающие в азоте, являются заряженными атомами водорода, первые попытки определить массу этих частиц путем отклонения в сильном магнитном поле не дали определенных результатов.

На основании данных, сообщаемых в моей первой работе, можно

¹⁾ Под „естественными“ („natural scintillation“) Резерфорд понимает те сцинтилляции, которые вызываются Н-частицами, вылетающими из самого источника и, повидному, являющимися продуктом распада радия С. (См. Rutherford Phil. Mag. 37, p. 537, 1919).

построить несколько теорий относительно этих частиц. Вычисленная величина пробега атома с одним зарядом, приведенного в движение при столкновении с α -частицей с пробегом R см. в воздухе, имеет следующие значения

Масса.	Пробег.
1	3,91 R
2	4,6 R
3	5,06 R
4	4,0 R

Вследствие малого числа и слабости сцинтилляций при условиях этих опытов, пробег быстрых атомов, получающихся из азота, не может быть измерен с достаточной точностью, чтобы сделать определенный выбор между указанными возможностями. Некоторые из моих корреспондентов указывали на вероятность того, что эти быстрые атомы суть первоначальные α -частицы, которые потеряли один из своих двух зарядов при прохождении через азот, т. е. атомы с зарядом 1 и массой 4. Однако нет достаточно ясных причин, почему из всех исследованных элементов азот должен быть единственным, где прохождение быстрых α -частиц ведет к захвату одного электрона.

Однако, если бы условия опыта были таковы, что можно было бы получить достаточное число сцинтилляций, то, по существу, не было бы трудно выбрать одну из этих различных возможностей, изучая отклонение быстрых атомов в магнитном поле. Величина отклонения заряженных атомов магнитным полем, перпендикулярных к направлению их полета, пропорциональна $\frac{e}{mv}$. Предполагая, что эти частицы освобождаются при центральном ударе α -частицы, легко подсчитать относительные значения этой величины для различных масс. Если принять величину $\frac{E}{Mu}$ для α -частицы за единицу, то значения $\frac{e}{mv}$ для атомов с одним зарядом и массами 1, 2, 3, 4 будут соответственно 1,25, 0,75, 0,58, 0,50 следовательно H - атомы должны отклоняться больше, чем α -частицы. под влиянием которых они возникают, между тем как атомы с массой 2, или 4 должны отклоняться труднее, нежели первоначальные α -частицы.

По прибытии в Кембридж я приступил к этой проблеме различными путями. Благодаря выбору объектива с большой апертурой, яркость сцинтилляций увеличилась, и тем самым счет сделался легче. Наряду с этим были сделаны опыты с целью получить более мощный источник излучения, пользуясь радием, находившимся в моем распоряжении. Однако, в конце концов, оказалось, по причинам, которые мы не будем здесь обсуждать, что лучше всего получать активный источник излучения в виде радия С способом, описанным в

так что равномерное поле шло параллельно плоскости пластинок и перпендикулярно к их длине. Наконечник D длиной в 1,2 см. был расположен между экраном и концом пластинок с целью увеличить величину отклонения лучей выходящих из щели. Экран из сернистого цинка S был расположен на стеклянной пластинке, закрывавшей ящик с одного конца; расстояние между источником и экраном было 7,4 см. Атомы кислорода или азота, получившие ускорение и обладавшие пробегом в 9 см., могли задерживаться алюминиевым экраном, с задерживающей силой, эквивалентной 2 см. воздуха; экран этот был расположен у конца пластинок A, B .

При такой ширине щели нельзя было отклонить весь широкий пучок в сторону. Измерялось отклонение излучения, исходящего приблизительно от края щели. С этой целью важно было наблюдать сцинтилляции в определенной точке экрана вблизи от M . Метод фиксации микроскопа был следующий: источник C устанавливался на своем месте, и воздух выкачивался до давления нескольких см. Без поля край пучка определялся прямой линией PM , пересекающей экран в M . Микроскоп, располагался так, чтобы пограничная линия сцинтилляций представлялась выше горизонтальной нити микроскопа.

При возбуждении магнита, отклонявшего лучи вниз (так называемое $+$ поле), путь крайних α -частиц изображался кривой $PLNR$, пересекающей экран в N , так что пограничная линия сцинтилляций представлялась в поле зрения смещенной вниз. При перемене направления поля (так наз. — поле) путь предельной α -частицы $PQRT$ пересекал экран в T , и полоса сцинтилляций представлялась смещенной вверх. Сила магнитного поля подбиралась так, чтобы при отрицательном поле сцинтилляции представлялись рассеянными по всему экрану, а при положительном поле их граница была расположена непосредственно под горизонтальной нитью. Вид поля зрения в микроскопе в этих двух случаях изображен на рис. 2, где точками представлена приблизительно плотность распределения сцинтилляций. Горизонтальные границы поля зрения создавались прямоугольным отверстием пластинки, расположенной в плоскости креста нитей. Горизонтальная нить, которая пересекала поле зрения, была видна в условиях счета и позволяла, если это нужно было, определять относительное число сцинтилляций двух половин поля. Так как число сцинтилляций в действительных условиях опыта с азотом было слишком мало, чтобы можно было прямо отметить границы сцинтилляций, то для оценки отклонения лучей нужно было определять отношение числа сцинтилляций при $+$ поле и при —поле.

Положение микроскопа и сила магнитного поля в большинстве

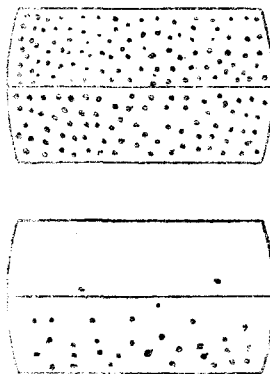


Рис. 2.

опытов выбирались так, чтобы это отношение равнялось приблизительно $\frac{1}{3}$. Предварительные наблюдения показали, что оно чувствительно к изменению поля; таким образом получается подходящий метод для оценки относительного отклонения лучей.

После того, как фиксировалось положение микроскопа, через аппарат начинал непрерывно протягиваться ток сухого воздуха. Поглощающий экран устанавливался в положении E , чтобы задерживать атомы N и O с пробегом 9 см. Затем систематически считалось число сцинтилляций для двух направлений поля, и, если нужно было, вводилась поправка на слабое радиоактивное загрязнение экрана. Отклонение неизвестных лучей непосредственно сравнивалось с отклонением известных α -лучей. С этой целью источник и поглощающий экран удалялись, и на месте источника ставилась такая же пластинка, покрытая небольшим количеством активного налета тория. α -частицы тория C с пробегом 8,6 см., пройдя в воздухе путь 7,4 см., возбуждали яркие сцинтилляции на экране. Отношение числа сцинтилляций при $+$ и $-$ полях определялось как прежде.

Ниже дан пример подобного сравнения. При токе в 4 ампера в обмотке электромагнита упомянутое отношение для частиц из азота было 0,33. Соответствующее отношение для α -частиц тория C было 0,44 — при токе в 4 ампера в обмотке электромагнита и 0,31 — при токе в 5 ампер. Отсюда видно, что в среднем частицы, выделяющиеся из азота, отклоняются в данном поле больше, нежели α -частицы тория C . Однако, для того, чтобы сделать количественное сравнение, необходимо принять во внимание уменьшение скорости лучей при прохождении через воздух. Величина $\frac{mv}{e}$ для α -лучей тория C с пробегом 8,6 см. известна: она равна $4,28 \cdot 10^5$. Так как лучи, прежде чем попасть на экран, проходят в равномерном поле 7,4 см. в воздухе, то действительное отклонение соответствует α -лучам в пустоте, для которых $\frac{mv}{e}$ приблизительно равно $3,7 \cdot 10^5$. Если считать, что отклонение α -частиц при токе 4,8 ампера то же самое, как и для азотных частиц при токе 4 ампера (отношение полей 1,17), то получается, что среднее отклонение азотных частиц при данных условиях опыта соответствует лучам в вакууме, для которых величина $\frac{mv}{e}$ равна $3,1 \cdot 10^5$.

Если принять во внимание, что частицы возникают во всем объеме газа между пластинками, что их распределение неизвестно, а также что частицы выбрасываются в среднем под углом к налетающим α -частицам, то опытных данных недостаточно для того, чтобы вычислить среднюю величину $\frac{mv}{e}$ для какой бы то ни было массы выбрасываемых частиц. Повидимому, большинство частиц, которые возбуждают сцинтилляции, возникает в первых нескольких сантиметрах воздуха, прилегающего к источнику. Действительное отклоне-

ние данной частицы магнитным полем должно зависеть от расстояния места ее возникновения от источника. Эти факторы, очевидно, стремятся уменьшить среднее отклонение частиц по сравнению с той величиной, которую имело бы это отклонение, если бы частицы выбрасывались с постоянной скоростью из самого источника. Допуская, что поправка на уменьшение скорости частиц с большим пробегом при прохождении через воздух составляет 10%, получим, что среднее значение $\frac{mv}{e}$ приблизительно равно $3,4 \cdot 10^5$. Так как величина $\frac{MV}{E}$ для α -частиц радия C равна $3,98 \cdot 10^5$, то, при данных условиях опыта, среднее значение $\frac{mv}{e}$ для азотных частиц меньше, нежели для α -частиц, которые их производят.

Из данных, приведенных ранее, следует, что это может быть только в том случае, если масса частиц сравнима с массой атома водорода, ибо частицы с одним зарядом и массой 2,3 или 4 должны испытывать меньшее отклонение, нежели α -частицы. Таким образом, результаты опытов дают весьма сильное доказательство того, что частицы, освобождаемые из азота, суть атомы водорода.

Однако, гораздо более решительное доказательство этого можно получить, сравнивая отклонение азотных частиц с отклонениями H -атомов, при одинаковых условиях. С этой целью в газометре была собрана смесь приблизительно одного объема водорода с двумя объемами углекислоты, и эта смесь протягивалась вместо воздуха через аппарат. Пропорция смеси обоих газов была выбрана так, чтобы задерживающая способность смеси для α -лучей была такая же, как и у воздуха. При этих условиях H -атомы, подобно азотным частицам, возникали во всем объеме газа, и, вероятно, относительное распределение атомов вдоль пути α -лучей не слишком разнилось от распределения азотных частиц. Если азотные частицы суть H -атомы, то мы должны ожидать, что среднее отклонение их будет приблизительно тем же самым как и у H -атомов, освобожденных из данной смеси. Ряд тщательных опытов показал, что отношение числа сцинтилляций при $+$ и $-$ полях одинаковой величины в обоих этих случаях были настолько близки друг к другу, что нельзя было опытом различить друг от друга оба случая. Так как в том и другом случае опыты производились в насколько возможно тождественных условиях, то равенство отношений показывает, что частицы с большим пробегом, освобождаемые из азота, являются атомами водорода. Возможность, что эти частицы обладают массой 2, 3 или 4, определенно исключается.

В предыдущей работе я показал, что частицы с большим пробегом, наблюдавшиеся в сухом воздухе и в чистом азоте, должны возникать из самих атомов азота. Таким образом ясно, что некоторые атомы азота разрушаются при столкновениях с быстрыми α -частицами и что при этом возникают быстрые атомы положительно заряженного водорода.

Отсюда надо заключить, что заряженный атом водорода является одним из компонентов ядра азота.

В то время, как уже давно было известно, что гелий является продуктом непрерывной трансформации некоторых радиоактивных элементов, вопрос о возможности разрушения структуры устойчивых атомов искусственным путем находился в неопределенном положении. Здесь впервые было получено доказательство того, что водород является одним из компонентов ядра азота. Следует принять во внимание, что общее количество азота, распадающегося под влиянием α -частиц, чрезвычайно мало. Действительно, в среднем только одна α -частица, приблизительно из 300.000 может подойти достаточно близко к ядру азота, чтобы освободить атом водорода с энергией, которой хватит для того, чтобы его можно было открыть при помощи сцинтилляций. Если бы даже все α -излучение одного грамма радия было поглощено газообразным азотом, объем освободившегося водорода составлял бы всего $\frac{1}{300.000}$ гелия, образованного его α -частицами, т.е. был бы равен $5 \cdot 10^{-4}$ куб. мм. в год. Возможно, что при столкновении с α -частицей водород способен освобождаться без достаточной скорости, чтобы его можно было открыть сцинтилляциями. Если это окажется так, то общее количество разложившегося вещества может быть значительно больше, нежели приведенная выше величина.

Опыты с твердыми соединениями азота.

Сообщим теперь вкратце об опытах с твердыми соединениями азота. Так как освобождение частиц из азота есть явление чисто атомное, то следует ожидать, что подобные частицы должны освобождаться и из соединений азота в количестве пропорциональном его содержанию. Чтобы это проверить и чтобы изучать природу этих частиц, были исследованы некоторые соединения, богатые азотом. Я употреблял следующие вещества, приготовленные со всей возможной тщательностью, чтобы исключить присутствие водорода в какой бы то ни было форме:

1) азотнокислый бор, любезно приготовленный для меня W. J. Schutt'ом в Манчестерском университете;

2) азотнокислый натрий, азотно-кислый титан, парацнан, любезно приготовленный для меня сэром William'ом Pore и его ассистентами.

Аппарат, употреблявшийся при этих опытах, был сходен с изображенным на рис. 1, с той только разницей, что пластинки имели 4 см. в длину. Материал в виде порошка насыпался по возможности равномерно при помощи тонкого сита на алюминиевую пластинку площадью приблизительно в 2 кв. см. Вес алюминиевой пластинки составлял приблизительно 6 мгр. на кв. см.; обычно приходилось от 4 до 5 мгр. вещества на кв. см. Задерживающая способность алюминиевой пластинки для α -частиц соответствовала приблизительно 3—4 см. воздуха, а материал брался в таком количестве, что его задерживающая спо-

способность в среднем была та же самая, что и для алюминия. Для того, чтобы вещество пристало к пластинке, сперва наливался слой алкоголя, затем быстро насыпалось вещество, и пластинка просушивалась.

Опыт показал, что при таком употреблении алкоголя, не вводится заметного загрязнения водородом. Экран из сернистого цинка был расположен вне камеры, тесно прилегая к алюминиевой пластинке с задерживающей способностью эквивалентной 5,2 см. воздуха, закрывавшей отверстие в конце латунного ящика. Алюминиевая пластинка с веществом располагалась затем так, что она закрывала конец щели, обращенный к источнику, причем были приняты предосторожности, чтобы не стряхнуть вещество. Воздух выкачивался, и считалось число сцинтилляций при двух положениях пластинки:

- 1) когда вещество было обращено к источнику и
- 2) когда пластинка была перевернута и вещество обращено к щели.

В первом случае α -частицы попадали прямо в исследуемое вещество; в последнем случае α -частицы падали на вещество только после того, как их пробег был уменьшен приблизительно на половину и когда их способность освобождать быстрые атомы была сильно уменьшена. Этот метод имеет то большое преимущество, что он избавляет от необходимости вводить поправку на неодинаковое поглощение Н-частиц источника в различных опытах.

Таким образом было найдено, что все исследованные соединения азота давали большее число сцинтилляций в положении первом. Природа частиц, вызывавших эти сцинтилляции, была исследована методом, подобным тому, который употреблялся в случае азота (газообразного), причем было произведено непосредственное сравнение отклонения этих частиц [с отклонением Н-атомов, освобожденных из параффиновой пленки, расположенной на месте соединений азота. Во всех опытах оказалось, что частицы отклоняются так же, как и Н-атомы из парафина, причем нельзя было обнаружить и следов частиц с массой 2 или 4.

Для пленок с одинаковой средней задерживающей способностью для α -лучей можно было легко подсчитать по правилу Bragg'a, что относительная задерживающая способность азота в соединениях будет 0,67 для BN, 0,74 для C_2N_2 , 0,40 для азотнокислого титана; задерживающая способность для азотнокислого натрия при этом принимается за единицу. Так как выбрасывание частиц с большим пробегом из азота есть атомное явление, то следует ожидать, что число сцинтилляций за вычетом поправки на естественные сцинтилляции источника, должно быть пропорционально приведенным выше относительным значениям задерживающей способности. Наблюдения с азотнокислым натрием и азотнокислым титаном вполне подтвердили это, и число азотных частиц с большим пробегом вполне соответствовало приведенным числам и оказалось приблизительно таким, как можно было ожи-

дать из опытов с газообразным азотом. С другой стороны, азотнокислый бор и парацан дали в $1\frac{1}{2}$ —2 раза большее число частиц, чем можно было ожидать теоретически. В этих опытах были приняты все предосторожности, чтобы избежать присутствия водорода и водяных паров. Перед употреблением алюминиевые пластинки прогревались в выкачанной кварцевой трубке почти до точки плавления, чтобы изгнать водород и другие газы. Исследуемые пленки держались в эксикаторе и прогревались в электрической печи перед тем, как быть перенесенными в прибор. Было проделано несколько контрольных опытов с препаратами не содержащими азота, напр., с чистым графитом и кремнеземом, которые были любезно приготовлены для меня сэром William'ом Роу. В обоих случаях число сцинтилляций, наблюдавшееся тогда, когда вещество было обращено к источнику α -лучей, было действительно меньше, нежели в том случае, когда пластинка была перевернута. Это указывает на то, что некоторое количество Н-атомов освобождается α -лучами из прогретого алюминия. Таким образом контрольные опыты дали удовлетворительные результаты, так как они показали, что Н-атомы не появлялись в веществах, не содержащих азота; в то же время они показали, что Н-атомы не возникали в заметном количестве из углерода, кремния или кислорода.

Увеличенный эффект в азотнокислом боре и парациане естественно внушает подозрение, что эти препараты содержат некоторое количество водорода, хотя и были приняты все предосторожности, чтобы избежать его. В случае азотнокислого бора еще неизвестно, не испускает ли сам бор Н-атомы. Это обстоятельство пока еще не исследовано. В виду такой неопределенности опыты с твердыми соединениями азота были оставлены на время, и были проделаны уже описанные эксперименты с газообразным азотом.

Интересно отметить, что нужно значительное загрязнение водородом, чтобы получить то число Н-атомов, которое наблюдалось в этих соединениях. В случае азотнокислого натрия на грамм вещества должно приходиться по крайней мере 50 куб. см. водорода. Я склонен думать, что Н-атомы, освобожденные α -лучами из азотнокислого натрия, обусловлены главным образом, если не вполне, азотом, а в случае парациана часть эффекта вызывается, вероятно, присутствием водорода или какого-нибудь его соединения. Я надеюсь впоследствии исследовать этот вопрос более детально.

Атомы с малым пробегом, возникающие в кислороде и азоте.

Кроме Н-атомов с большим пробегом, освобождаемых из азота, при прохождении α -частиц через кислород и через азот возникают в гораздо большем числе быстрые атомы, которые имеют пробег в воздухе приблизительно 9 см., в то время как пробег налетающих α -частиц составляет 7 см. Метод определения пробега и числа этих

атомов был изложен в одной из предыдущих работ ¹⁾. В ней было показано, что эти атомы возникают при прохождении α -частиц через газ. Как раз за пределами пробега α -частиц радия *С* сцинтилляции оказались ярче сцинтилляций, вызываемых *Н*-атомами и более похожими на сцинтилляции, вызываемые α -частицами.

За отсутствием определенных сведений о природе этих атомов предварительно было сделано предположение, что это суть атомы кислорода или азота, несущие один заряд и приведенные в быстрое движение под влиянием тесного столкновения с α -частицами, так как наблюдаемый пробег этих частиц приблизительно согласовался с пробегом, вычисленным при этих предположениях. В то же самое время было указано, что совпадение пробегов атомов *О* и *Н* является неожиданным, ибо следовало предвидеть, что пробег *Н*-атомов должен быть на 19% больше, нежели у *О*-атомов. Что эти быстрые атомы могут оказаться обломками распавшихся атомов, представлялось возможным и тогда, но до самого последнего времени я не видел никакого метода для постановки этого вопроса ²⁾.

Как только применение широкой щели увенчалось успехом при разрешении вопроса о природе частиц с большим пробегом, возникающих в азоте, были сделаны опыты, с тем же самым аппаратом и тем же самым методом, с целью исследовать природу частиц с малым пробегом, возникающих в *О* и *Н*.

Определим сначала относительное отклонение, которое можно ожидать для *О*-атома, приведенного в движение центральным столкновением с α -частицей. Скорость *О*-атома после столкновения равняется $\frac{2}{5} V$, где *V* есть скорость налетающей α -частицы. Величина $\frac{mv}{e}$ для *О*-атома, несущего один заряд, как легко видеть, в 3,1 раза больше, чем для α -частицы перед столкновением. Следовательно, *О*-атом с одним зарядом должен отклоняться труднее, нежели α -частица; то же самое будет и в том случае, когда *О*-атом несет два заряда.

Для проверки этого применялся тот самый аппарат, который изображен на рис. 1. Источник располагался на расстоянии 7,4 см. от экрана из сернистого цинка, наконечники длиной в 1,2 см. употреблялись, как прежде, для увеличения отклонения лучей. В случае кислорода сцинтилляции, наблюдавшиеся на экране, вызывались *О*-атомами с малой пропорцией *Н*-атомов из самого источника. В случае воздуха сцинтилляции на экране вызывались частью *Н*-атомами, частью *О*-атомами и частью *Н*-атомами из источника и азота. Действительное число *Н*-атомов с коротким пробегом представлялось меньше, нежели *О*-атомов при аналогичных условиях.

¹⁾ Rutherford, Phil. Mag. 37, III, p. 571 (1919).

²⁾ Mr. G. S. Fulcher (National Research Council, USA) в письме ко мне высказал предположение, что, быть может, это суть α -частицы.

Положение микроскопа фиксировалось, как прежде, таким образом, чтобы получилось подходящее отношение для числа сцинтилляций при перемене направления магнитного поля. Это отношение изменялось вместе с положением микроскопа и в действительных опытах колебалось между 0,2 и 0,4.

Прежде всего сразу стало очевидно, что атомы, возникающие в O , вместо того, чтобы отклоняться меньше α -частиц, как это должно бы быть, если бы они были O -атомами, отклонялись больше. Это обстоятельство сразу исключало возможность того, что здесь мы имеем дело с атомами кислорода, несущими один или два заряда. Так как гелий выбрасывается при многих радиоактивных превращениях, то можно было ожидать, что он является одним из компонентов легких атомов и освобождается при интенсивных столкновениях. Отклонение атомов, возникающих из O , было, однако, значительно больше того, которое можно было бы истолковать таким образом. Чтобы проверить этот пункт в заключениях из опытов, сделанных с кислородом, источник α -частиц (активный налет радия) был заменен пластинкой, подвергавшейся действию эманации тория, и исследовалось отклонение α -лучей тория C с пробегом 8,6 см. Если бы α -частицы выбрасывались из O -атомов вблизи от источника, они должны были бы отклоняться так, как α -частицы с пробегом в 9 см., если же они возникали бы в конце пробега α -лучей, величина отклонения не должна была бы превосходить того, которое испытали бы α -частицы с пробегом в 7 см., т. е. эта величина должна бы быть приблизительно на 9% больше, чем в первом случае. Даже, если предположить, что частицы освобождались равномерно вдоль пути α -лучей и двигались по тому же самому направлению, как и налетающие на них α -частицы, то средняя величина отклонения не должна бы отличаться больше, чем на 5% от средней величины отклонения α -частиц тория C . Если же принять во внимание, что некоторые из атомов освобождались под углом к налетающим α -частицам, то средняя величина отклонения пучка должна бы быть еще меньше и, по всей вероятности, меньше, нежели для α -частиц тория C . В действительности наблюдаемое отклонение было приблизительно на 20% больше, свидетельствуя о том, что гипотеза, в силу которой атомы, возникающие из O , суть заряженные атомы гелия, является совершенно неверной.

Если бы атомы из O были H -атомами, они отклонялись больше, чем α -частицы, но тогда они должны бы иметь пробег 28 см. вместо наблюдавшегося в действительности 9 см. Таким образом ясно, что эти атомы должны иметь массу промежуточную между 1 и 4; из обсуждения же величины пробега этих частиц и их отклонения ясно, что эти атомы несут две единицы заряда.

Для того, чтобы сделать более решительную проверку, отклонение атомов, возникающих в O в положительном и отрицательном поле определенной величины, непосредственно сравнивалось с отклонением H -атомов из смеси водорода с углекислотой, взятых

в отношении одного к двум по объему. Для того, чтобы полностью поглотить O -атомы из CO_2 , перед экраном из сернистого цинка располагался алюминиевый листок так, чтобы общее поглощение между источником и экраном соответствовало бы слегка большей величине, нежели поглощение 9 см. воздуха. В обоих опытах исследуемые атомы возникали в газе между пластинками и, вероятно, относительное распределение их вдоль пути α -лучей заметно не отличалось в том и другом случае.

Искомые отношения при перемене направления поля в обоих опытах оказались приблизительно одинаковыми, но в среднем, из нескольких опытов, выяснилось, что H -атомы отклоняются немного больше, чем атомы, возникающие в O . Из нескольких опытов было сделано заключение, что разница отклонения, в среднем, не превосходит 5%, хотя по характеру наблюдений трудно было фиксировать эту разницу сколько-нибудь определенно.

На основании этих данных и величины пробега атомов, возникающих в O и в воздухе, мы можем вывести массу частиц, освобождаемых из кислорода.

Пусть m равняется массе атома, возникающего в O ,

u — его максимальной скорости вблизи от источника,

E — его заряду.

Пусть M , V , E суть соответствующие величины для налетающих α -частиц и m' , u' , e — те же величины для H -атомов, освобождаемых вблизи от источника.

Принимая во внимание, что скорость частиц, возникающих из O , с пробегом в 9 см. постоянно уменьшается при прохождении слоя кислорода в 7,4 см. между источником и экраном, легко подсчитать, что среднее отклонение этих частиц пропорционально $1,14 \frac{E}{mu}$, а не

$\frac{E}{mu}$ как это имеет место в вакууме.

Подобным же образом отклонение H -атома пропорционально $1,05 \frac{e}{m'u'}$, при чем в этом случае поправка на изменение скорости меньше и оценивается приблизительно в 5%. Далее мы видели, что экспериментальные результаты показывают, что атомы, возникающие из O , отклоняются на 5% меньше, чем H -атомы, следовательно

$$1,14 \frac{E}{mu} = \frac{1,05}{1,05} \frac{e}{m'u'} = 1,25 \frac{E}{MV}$$

или

$$1,14MV = 1,25mu, \quad (1)$$

так как было вычислено и подтверждено на опыте, что отклонение H -атомов в магнитном поле в 1,25 раза больше отклонения α -частицы, приведенной в движение (см. ст. II, loc. cit.). Точно так же в предм-

дущей работе (ст. III) я указал причины, в силу которых надо считать, что пробег x массы m , имеющей начальную скорость u и несущей двойной заряд, выражается формулой

$$\frac{x}{R} = \frac{m}{M} \left(\frac{u}{V} \right)^3,$$

где R есть пробег α -частицы с массой M и скоростью V . Так как $x = 9,0$ см. для атомов, возникающих в O и приводимых в движение при столкновении с α -частицей радиуса C с пробегом в 7 см., то

$$\frac{x}{R} = 1,29,$$

и, полагая $M = 4$, получим

$$mu^3 = 5,16V^3. \quad (2)$$

Формула этого типа была выведена для пробега H -атома и все говорит за то, чтобы считать ее вполне точной вообще для такого короткого интервала пробегов.

Из формул (1) и (2) получаем

$$u = 1,19V, \\ m = 3,1.$$

Если принять во внимание трудность получения точных данных, то величина 3,1 указывает на то, что атом обладает массой приблизительно 3, и эту величину следует считать вероятной при дальнейших рассуждениях.

Когда вместо кислорода брался воздух, то нельзя было обнаружить никакой разницы в отклонении атомов с коротким пробегом в том и другом случае. Так как атомы с небольшим пробегом, возникающие в воздухе, обязаны своим происхождением, главным образом, азоту, то мы можем заключить, что эти атомы, освобождаемые при прохождении α -частиц через азот или кислород, состоят из атомов с массой 3, несущих двойной заряд и первоначально выбрасываемых со скоростью $1,19V$, где V есть скорость налетающих α -частиц ¹⁾.

Повидимому, трудно избежать заключения, что эти атомы с массой 3 освобождаются из атомов кислорода или азота в результате интенсивного столкновения с α -частицами. Таким образом можно предположить, что атомы с массой 3 являются компонентами ядер как кислорода, так и азота. Мы уже раньше показали, что водород является также одним из компонентов ядра азота. Таким образом ясно, что ядро азота может быть разложено двумя путями,—либо путем выбра-

¹⁾ Акад. А. Ф. Иоффе, лично беседовавший с Rutherford'ом, летом этого года, сообщил нам, что Rutherford в настоящее время уже не настаивает на этом заключении.

сыпания H -атомов, либо путем выбрасывания атомов с массой 3 и с двумя зарядами. Далее, так как эти атомы с массой 3 в 5—10 раз более многочисленны, чем H -атомы, то представляется, что эти две формы распада независимы друг от друга и не одновременны. Так как столкновения очень редки, то в высшей степени невероятно, чтобы отдельные атомы подвергались обоим типам разложения.

В виду того, что частицы, выбрасываемые из O и N , возникают не у самого источника, но вдоль пути α -частиц, трудно определить их массу и скорость с желаемой точностью. Чтобы обойти этот недостаток, были сделаны попытки определить отклонение O -атомов, освобождаемых из слюдяной пластинки, расположенной за источником. Благодаря присутствию водорода в слюде H -атомы, падающие на экран, были так многочисленны по сравнению с O -частицами, и их отклонения при данных условиях опыта были настолько близки, что трудно было различить эти атомы друг от друга.

Вопрос об энергии.

При тесных столкновениях между α -частицей и атомом законы сохранения энергии и момента остаются в силе ¹⁾. Однако, в тех случаях, когда атомы распадаются, мы не можем с необходимостью ожидать, что эти законы должны иметь место, если мы не примем во внимание изменение энергии и момента атома вследствие его распада.

В случае, когда из ядра азота выбрасывается атом водорода, имеющиеся данные недостаточны для того, чтобы судить об этом, ибо мы не знаем определенно ни скорость атомов, ни скорость α -частицы после столкновения.

Если справедливо наше предположение, что из O и N атомов выделяются атомы с массой 3, то легко подсчитать, что в результате такого распада должен получиться небольшой выигрыш в энергии. В самом деле, если масса выбрасываемого атома равна точно трем, скорость его $1,20 V$, где V есть скорость налетающей α -частицы, то

$$\frac{\text{энергия освобожденного атома}}{\text{энергия } \alpha\text{-частицы}} = \frac{3 \cdot 1,44}{4} = 1,08$$

Таким образом получается выигрыш в энергии движения в 8%, при чем мы совершенно не принимаем во внимание последующее движение распавшегося ядра и α -частицы. Эта излишняя энергия должна заимствоваться из ядра азота или кислорода так же, как энергия движения α -частицы при освобождении из радиоактивного атома.

Для расчета рассмотрим центральный удар между α -частицей и атомом с массой 3. Скорость последнего равняется $\frac{8}{7}V$, где V есть скорость α -частицы, а его энергия составляет 0,96 первоначальной

¹⁾ Rutherford Phil. Mag., 37, p. 562 (1919).

энергии α -частицы. Без сомнения, в случае действительного столкновения с O или N атомом, при котором освобождается атом с массой 3, α -частица так же, как и атом с массой 3, уже на своем пути находится под влиянием поля ядра. При таких условиях следует ожидать, что не только α -частица отдает 0,96 своей энергии освобождающемуся атому, но последний приобретает еще излишек энергии, в зависимости от отталкивающего поля ядра.

При нашем незнании строения ядра и природы сил в непосредственной близости от него нежелательно заниматься спекуляциями относительно механизма столкновения. Однако, можно получить дальнейшие сведения в этой области, изучая пути α -частиц через кислород или азот при помощи известного метода C. T. R. Wilson'a. В предыдущей работе ¹⁾ я анализировал фотографии Wilson'a, где имеется внезапное изменение направления пути в 43° и, кроме того, маленькое ответвление в виде короткой шпоры. Я показал, что относительные длины путей α -частицы и шпоры, грубо говоря, согласуются с представлением, что шпора эта вызвана атомом кислорода, получившим ускорение. Это вполне вероятно, ибо факты показывают, что атомы с массой 3 после освобождения летят приблизительно по направлению α -частицы, а косой удар может и не вызвать распада атома.

Недавно D-r Schimizu в Кавендишевской лаборатории разработал видоизменение аппарата Wilson'a, в котором расширения могут периодически повториться несколько раз секунду, так что можно наблюдать пути нескольких частиц в течение достаточного времени. При таких условиях как Schimizu, так и я сам видели, как выглядят изломанные пути α -частиц, где длины обеих ветвей были между собою соизмеримы. Подобные наблюдения непосредственно глазом недостаточно определены, чтобы относиться к ним с большим доверием. Поэтому Schimizu выработал расположение с целью получать фотографии, так что пути можно рассматривать детально на досуге. Таким образом можно надеяться получить ценные сведения об условиях, которые определяют распад атома, и об относительной энергии, сообщаемой трем системам, участвующим в этом распаде, т.е. α -частице, освобождающемуся атому и остаточному ядру.

Пока у нас нет определенных сведений об энергии α -частицы, необходимой для того, чтобы вызвать распад, но общие данные указывают, что быстрые α -частицы с пробегом приблизительно в 7 см. оказывают большее действие, чем α -частицы с пробегом приблизительно в 4 см. Это не связано непосредственно с действительной энергией, необходимой для того, чтобы вызвать распад самого атома, но скорей связано с невозможностью для более медленных α -частиц, под влиянием отталкивающего поля, приблизиться достаточно близко к ядру, чтобы вызвать его распад. Возможно, что действительная энер-

¹⁾ Rutherford Phil. Mag. 37, p. 577 (1919).

гия, необходимая для распада атома, мала по сравнению с энергией α -частицы.

Если это так, то и другие агенты с меньшей энергией, нежели α -частица, могут вызвать распад. Например, быстрый электрон может приблизиться к ядру с достаточной энергией, чтобы вызвать его распад, ибо он движется в притягивающем, а не отталкивающем поле, как α -частица. Равным образом проникающие γ -лучи могут обладать достаточной энергией, чтобы вызвать распад. Таким образом весьма важно проверять, нельзя ли разложить кислород, азот или другие элементы влиянием быстрых катодных лучей, получающихся в разрядной трубке. В случае кислорода и азота это можно проверить просто, наблюдая, не появляется ли спектр, близко напоминающий спектр гелия после интенсивной бомбардировки соответствующего вещества электронами. Подобные опыты начаты доктором Ishida в Кавендишевской лаборатории, при чем приняты предосторожности в виде прогревания до высокой температуры трубки, сделанной из особого стекла и электродов, чтобы с уверенностью удалить окклюдированный гелий, который мог быть первоначально в веществе. Гелий раньше наблюдался в разрядных трубках несколькими исследователями и приписывался окклюдированным газам, освобождаемым при бомбардировке катодными лучами. Исследование действительного происхождения гелия в этих случаях в высшей степени трудно. Однако, новейшие усовершенствования в технике разрядных трубок облегчают возможность дать определенный ответ на этот важный вопрос.

Свойства нового атома.

Мы показали, что атомы с массой приблизительно 3 и с двумя положительными зарядами освобождаются α -частицами как из азота, так и из кислорода. Естественно предположить, что эти атомы являются независимыми единицами в структуре обоих газов. Вероятно, этот заряженный атом в течение своего полета является только ядром нового атома без внешних электронов; поэтому мы можем предвидеть, что если придать этому новому атому два отрицательных электрона, то он должен, по своим физическим и химическим свойствам, быть вполне тождественным с гелием, но с массой 3 вместо 4. Мы должны ожидать, что спектры гелия и этого изотопа должны быть весьма близкими друг к другу, но вследствие заметной относительной разницы в массах смещение линий должны быть больше, нежели в случае изотопов тяжелых элементов вроде свинца.

Следует вспомнить, что Bourget, Fabry и Buisson ¹⁾, на основании изучения ширины линий в спектре туманностей, заключили, что этот спектр вызывается элементом с атомной массой в круглых числах 2,7 или 3. Однако, с современной точки зрения трудно предположить, что спектр так называемого небулия может быть вызван элементом с ну-

¹⁾ Bourget, Fabry et Buisson. C. R. 6 апреля и 18 мая 1914.

клеарным зарядом 2, если не считать, что спектры при условиях, существующих в туманностях, совершенно отличаются от спектров, наблюдаемых в лабораториях. Возможное происхождение спектра небуля обсуждалось Nicholson'ом ¹⁾ на совершенно других линиях, и в настоящий момент не легко видеть как могут быть связаны новые атомы, возникающие в кислороде или азоте, с веществом туманностей.

Так как, вероятно, большая часть обычного гелия так или иначе образовалась при превращениях радиоактивных веществ, а эти последние, поскольку мы знаем, всегда дают гелий с массой 4, то нет оснований ожидать, чтобы можно было найти изотоп гелия с массой 3 в обычном гелии. Однако, в высшей степени интересно исследовать, не может ли присутствовать этот изотоп в тех случаях, когда кажущееся присутствие гелия трудно связать с радиоактивными веществами; такой случай мы имеем, например, в берилле, на что было обращено внимание Strutt'ом ²⁾. Это предположение основано на допущении, что атом с массой 3 устойчив. Тот факт, что он выдерживает интенсивные возмущения в своей структуре при тесном столкновении с α -частицей, указывает на то, что он является образованием, трудно поддающимся разрушению внешними силами.

Строение ядра и изотопы.

При обсуждении возможного строения элементов естественно предположить, что они построены, в конечном счете, из ядер водорода и электронов. С этой точки зрения ядро гелия состоит из четырех ядер водорода и двух отрицательных электронов, так что результирующий заряд равен двум. Обыкновенно предполагают, что тот факт, что масса атома гелия—3,997, если считать кислород за 16,—меньше, чем масса четырех атомов водорода (4,032), обусловлен тесным взаимодействием полей в ядре, которое проявляется в том, что это ядро обладает меньшей электромагнитной массой, чем сумма масс его индивидуальных компонентов. Sommerfeld ³⁾ заключил из этого факта, что ядро гелия должно обладать весьма устойчивой структурой по отношению к силам, стремящимся его разрушить. Это заключение находится в согласии с опытом, ибо ни разу не было обнаружено разрушение гелия быстрыми α -частицами, которые были способны разрушить ядра азота и кислорода. В своих последних опытах с изотопами обыкновенных элементов Aston ⁴⁾ показал, что в пределах точности опыта массы исследованных изотопов выражаются целыми числами, если массу кислорода принять за 16. Единственное исклю-

¹⁾ Nicholson. Roy. Astr. Soc., v. 72, № 1, p. 49 (1911); v. 74, № 7, p. 623 (1914).

²⁾ Strutt. Proc. Roy. Soc. A., v. 80, p. 572 (1908).

³⁾ A. Sommerfeld. Atombau und Spektrallinien, p. 538, Vieweg und Sohn, 1919 [2 Aufl., 1921, pp. 566 и след. Перев.].

⁴⁾ Aston. Phil. Mag. 38, p. 707 (1919); 39, p. 449 и 611 (1920) [Nature, 9 дек. 1920, p. 408 Перев.].

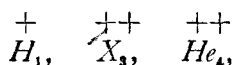
чение составляет водород, масса которого равна 1,008, в согласии с наблюдениями химиков. Это не исключает возможности того, что водород является первичным веществом, из которого построены ядра, но указывает на то, что либо группировка водородных ядер и электронов такова, что средняя электромагнитная масса близка к единице, либо,—и это является более вероятным,—что вторичные единицы, из которых главным образом построен атом, т.е. гелий или его изотоп, имеют массу близкую к целому числу, если массу кислорода принять за 16.

Пока что экспериментальные наблюдения не позволяют решить, обладает ли новый атом массой равной в точности 3, но, по аналогии с гелием, мы можем ожидать, что ядро нового атома состоит из трех H -ядер и одного электрона и что оно имеет массу более близкую к трем, нежели сумма индивидуальных масс H в свободном состоянии.

Если это предположение правильно, то кажется весьма правдоподобным, что один электрон может связывать два H -ядра, а возможно даже и одно H -ядро. Если справедливо первое предположение, то оно указывает на возможность существования атома с массой около 2 и с одним зарядом. Такое вещество нужно рассматривать, как изотоп водорода. Второе предположение заключает в себе мысль о возможности существования атома с массой 1 и нуклеарным зарядом, равным нулю. Подобное образование представляется вполне возможным. С современной точки зрения нейтральный атом водорода следует рассматривать как ядро с единичным нуклеарным зарядом, с которым связан электрон, находящийся от него на известном расстоянии, и спектр водорода приписывается движению этого последнего электрона. Однако, при таких условиях является вероятным, что один электрон может комбинироваться более тесно с H -ядром, образуя нечто вроде нейтрального дублета. Подобный атом обладал бы совершенно фантастическими свойствами. Его внешнее поле практически должно равняться нулю, за исключением областей, весьма близко прилежащих к ядру; вследствие этого он должен бы обладать способностью свободно проходить через материю. Существование подобного атома вероятно (трудно было бы обнаружить спектроскопом, и его нельзя было бы удержать в закрытом сосуде. С другой стороны, он должен бы легко входить в структуру атома и либо соединяться с его ядром, либо разрушаться интенсивным полем этого последнего, давая начало заряженному H -атому или электрону или тому и другому.

Если существование подобных атомов является возможным, то они должны возникать, хотя, вероятно, и в небольшом количестве, при электрическом разряде через водород, где присутствуют в значительном числе как электроны, так и H -ядра. Автор намеревается сделать опыты с целью проверить, не имеется ли каких-либо указаний на образование подобных атомов при упомянутых условиях.

Существование таких ядер может и не ограничиваться массой 1, но возможно, что они существуют с массой 2, 3, 4 или больше, в зависимости от возможных комбинаций между дублетами. Существование подобных атомов представляется в высшей степени необходимым для объяснения строения ядра тяжелых элементов. В самом деле, если только не предположить возможности получения заряженных частиц с весьма большими скоростями, то трудно представить себе, каким образом какая бы то ни было положительно заряженная частица может приблизиться к ядру тяжелого атома против его интенсивного отталкивающего поля. Мы видели, что пока экспериментально обнаружено, что ядра трех легких атомов вероятно являются единицами атомной структуры. Эти три атома суть



где указатели означают массу элемента.

При обсуждении возможного строения ядер элементов сразу возникают трудности, ибо многочисленные комбинации этих единиц с отрицательными электронами могут дать элемент с требуемыми нуклеарным зарядом и массой. При нашем полном незнании законов, которым подчиняются силы вблизи от ядра, у нас нет никакого критерия устойчивости или относительной вероятности данной теоретической системы. За исключением немногих элементов, которые могут существовать в газообразном состоянии, возможность существования изотопов элементов еще не подтверждена. Когда будут получены дальнейшие сведения относительно продуктов распада других элементов, помимо двух уже исследованных, и более полные данные относительно числа и массы изотопов, тогда можно будет вывести приблизительные правила, которые и смогут послужить путеводителями при изыскании способов образования ядер из более простых единиц. По этим причинам представляется преждевременным, в данный момент, обсуждать сколько-нибудь детально возможную структуру даже легких, и вероятно, менее сложных атомов. Однако, интересно дать один пример для иллюстрации возможных способов образования изотопов в случае легких элементов. Этот пример основан на представлении, что иногда ядро гелия с массой 4, вероятно в сложных структурах, может быть заменено соответствующим ядром с массой 3, не внося серьезных нарушений в устойчивость системы. В таком случае нуклеарный заряд останется неизменным, а масса изменится на единицу.

Рассмотрим, например, случай лития с нуклеарным зарядом 3 и массой около 7. Естественно предположить, что его ядро построено из гелия или его изотопа с массой 3 и одного связующего электрона. Три возможные комбинации изображены на рис. 3 (стр. 219).

С этой точки зрения теоретически вероятно существование, по крайней мере, трех изотопов лития с массами 6, 7 и 8; но даже, если эти комбинации являются одинаково устойчивыми, вопрос об их относительном содержании в элементе литий на земле зависит от целого ряда факторов, о которых мы не знаем ничего. К числу таких факторов принадлежат, например, способы действительного образования таких ядер, относительное количество единиц и вероятность их комбинаций.

Экспериментальные результаты, приведенные в этой статье, подтверждают тот взгляд, что атомы водорода и атомы с массой 3 являются необходимыми единицами в нуклеарной структуре азота и кислорода.

В таком случае можно а priori предположить, что кислород является некоторой комбинацией четырех гелиевых ядер с массой 4. Вероятно масса 3 является необходимой единицей в структуре легких атомов вообще, но правдоподобнее также и то, что при возрастании сложности ядра и соответствующем увеличении электрического поля структура с массой 3 испытывает реконструкцию и стремится перейти в предположительно более устойчивое ядро с массой 4. В этом может быть, заключается причина, почему гелий с массой 4 всегда выбрасывается из радиоактивных атомов в то время, как его изотоп с массой 3 возникает при искусственном разложении легких атомов вроде кислорода и азота. Уже давно известно, что атомные веса многих элементов могут быть выражены формулами $4n$ или $4n+3$, где n — целое число, и это указывает, что атомы с массой 3 и 4 являются необходимыми единицами в структуре ядра ¹⁾.

+	+
(3)	— (3)
+	+
масса 6	
+	+
+	+
(3)	— (4)
+	+
масса 7 ^{ядра}	
3	
+	+
(4)	— (4)
+	+
масса 8	

Рис.3.

Структура ядер углерода, кислорода и азота.

В свете изложенных опытов представляет известный интерес изложить некоторые быть может пока еще незрелые, мысли, относительно возможных способов образования перечисленных атомов на основании экспериментальных фактов. Следует помнить, что только азот дает N -атомы, в то время как углерод и кислород их не дают.

¹⁾ На основании этих соображений и целого ряда других Harkins [Phys. Rev. 15 p. 73 (1910)] предложил формулу строения для всех элементов. Комбинируемыми единицами ему служили электроны и атомы с массой 1, 3 и 4 и с нуклеарным зарядом, соответственно 1, 1 и 2. Единице с массой 3 он приписывал один, а не два заряда. Таким образом ее надо считать изотопом водорода, а не гелия.

Как азот, так и кислород дают начало атомам с массой 3. Углерод же до сих пор не был исследован с этой точки зрения. На рис. 4 указаны возможные структуры, причем даны массы и заряды комбинирующихся единиц. Отрицательные электроны обозначены символом —.

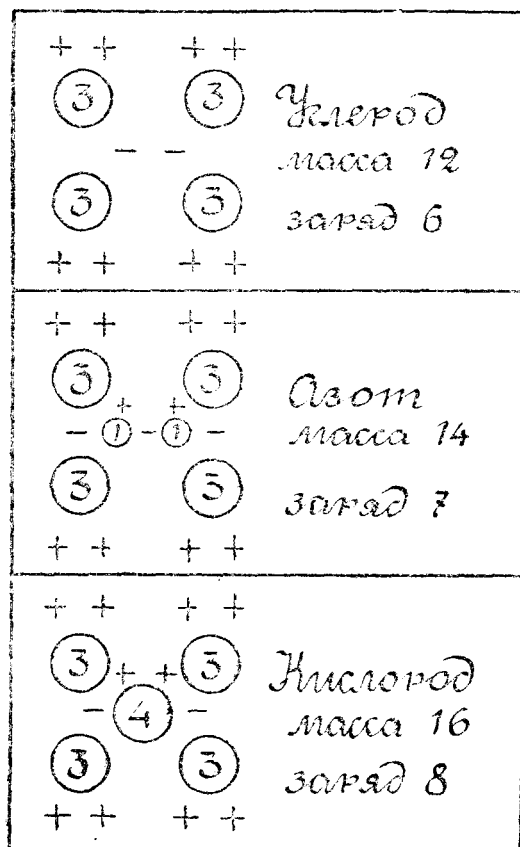


Рис. 4.

Предполагается, что ядро углерода состоит из четырех атомов с массой 3 и зарядом 2 и двух связывающих электронов. Переход к азоту характеризуется добавлением двух *H*-атомов с одним связывающим электроном. Переход же к кислороду получается путем замены двух *H*-атомов ядром гелия.

Из этих схем видно, что шансов прямого столкновения с одним из четырех атомов с массой 3 в азоте гораздо больше, нежели шансов удаления одного *H*-атома, ибо следует предвидеть, что большая часть ядра должна загораживать *H*-атом от прямого столкновения и доступной для столкновения оказывается лишь ограниченная область. Это может иллюстрировать то обстоятельство, что число атомов с массой 3 значительно больше, нежели число *H*-атомов, осво-

бождаемых при соответствующих условиях. Следует помнить, что обрисованные структуры имеют лишь чисто иллюстративное значение, и не следует придавать важности отдельным частностям расположения.

Естественно задаться вопросом о природе остаточного атома после распада кислорода и азота, предполагая, что эти остаточные атомы выдерживают столкновение при переходе в новую стадию временного или постоянного равновесия.

Выбрасывание из азота одного *H*-атома с массой 1 и с нуклеарным зарядом 1 должно уменьшать массу на единицу и нуклеарный заряд тоже на единицу. Таким образом остаточное ядро должно иметь нуклеарный заряд 6 и массу 13 и, следовательно, должно быть изотопом углерода. Если при этом освобождается и отрицательный электрон, то остаточный атом будет изотопом азота.

Выбрасывание из азота массы 3 с двумя зарядами, происходящее, вероятно, совершенно независимо от освобождения *H*-атома,

уменьшает нуклеарный заряд на 2 и массу на 3. Таким образом остаточный атом должен быть изотопом бора с нуклеарным зарядом 5 и массой 11. Если и здесь выбрасывается еще электрон, то остается изотоп углерода с массой 11. Выбрасывание массы 3 из кислорода дает массу 13 и нуклеарный заряд 6; это должен быть изотоп углерода. Равным образом, если выбрасывается еще электрон, то остается изотоп азота с массой 13. Данные, имеющиеся в настоящий момент, совершенно недостаточны для того, чтобы делать выбор между этими альтернативами.

Автор намеревается продолжать опыты ¹⁾ с целью исследовать, нет ли указаний на распад других атомов, помимо кислорода и азота. Эта задача является более трудной в том случае, когда элемент нельзя с удобством получить в газообразном состоянии, так как трудно быть уверенным в полном отсутствии водорода или приготовить однородные тонкие пленки таких веществ. По этим причинам, а также вследствие напряжения, связанного с трудной операцией счета сцинтилляций, дальнейший прогресс в этом направлении, вероятно, не будет быстрым.

Выражаю благодарность моему ассистенту G. A. R. Grove за приготовление радиоактивных источников, а также J. Chadwick'у и д-ру Jshida за помощь при счете сцинтилляций в некоторых позднейших опытах ²⁾.

Перев. Э. В. Шпольский.

¹⁾ Предварительные результаты этих опытов уже опубликованы (E. Rutherford and J. Chadwick. Nature, 107, p. 41, 1921). О них см. специальный реферат в отделе „Из текущей литературы“.

Перев.

²⁾ Настоящая статья, представляет собой перевод лекции Резерфорда (Bakerian lecture): Sir E. Rutherford. Nuclear Constitution of Atoms. Proceedings of the Royal Society. A. 97, p. 374 (1920).