БИОГРАФИЯ АЛЬФА-ЧАСТИЦЫ [1]).

Сэр Эрнест Резерфорд.

В этой лекции я предполагаю рассказать о некоторых свойствах быстрой α-частицы, самопроизвольно выбрасываемой радиоактивными веществами. Это летящее атомное ядро является не только наиболее мощным из известных нам метательных снарядов, но оно же является и могущественнейшим средством при исследовании строения атомов. Поэтому знакомство с явлениями, вызываемыми им, имеет глубокий научный интерес.

Теперь уже окончательно установлено, что α-частица, испускаемая радиоактивными телами, во всех случаях представляет собою атом гелия, или, говоря более точно, ядро атома гелия с массой 4, несущее два положительных заряда электричества. И только тогда, когда выброшенное ядро при прохождении через вещество задерживается и захватывает два отрицательных электрона, только тогда оно обращается в нейтральный атом гелия. Вполне естественно предположить, что ядро гелия, выбрасываемое с громадной скоростью из тяжелых ядер радиоактивных атомов, представляет собою составную часть их. По некоторым причинам, остающимся до сих пор непонятными, совершенно случайно радиоактивное ядро распадается со взрывом, выбрасывая при этом входящее в его состав ядро гелия с громадной скоростью. Возможно, что α-частица, при освобождении ее из радиоактивного ядра, часть своей огромной кинетической энергии получает при прохождении сквозь отталкивающее электрическое поле, окружающее радиоактивное ядро, но в настоящее время мы не знаем ни природу сил, связывающих отдельные части ядра, ни то, находится ли α-частица в ядре в покое, или же в орбитальном движении. Однако мы знаем, что устойчивость ядра различных радиоактивных элементов колеблется в очень широких пределах. В самом деле у вещества, подобного радию *A*, радиоактивный атом перед выбрасыванием α-частицы обладает средней продолжительностью жизни в 4,3 минуты, тогда как у самого радия — продолжительностью в 2 250

---

[1]) Речь, произнесенная в Королевском Институте Великобритании. Scientific Monthly, *XVIII* № 4, p. 337, 1924; Nature, *112*. № 2808, p. 305, 1923.

лет, а в случае чрезвычайно медленно изменяющегося элемента, скажем, урана, средняя продолжительность жизни будет нередко 7000 миллионов лет.

Известно, что все α-частицы данного элемента выбрасываются с одной и той же скоростью и что эта скорость изменяется от элемента к элементу. Очевидно, существует тесная связь между скоростью выбрасывания α-частицы и средней продолжительностью жизни материнского элемента. Чем короче средняя продолжительность жизни элемента, тем больше скорость вылета. Это любопытное соотношение между силой взрыва и средней продолжительностью жизни элемента выполняется в большинстве случаев, но в настоящее время трудно представить себе все детали этого явления. Сэр Вильям Брагг уже довольно давно показал, что α-частица пробегает сквозь вещество приблизительно по прямой линии и проходит в нем совершенно определенное расстояние. Это очень хорошо иллюстрируется путями α-частиц, получаемыми методом расширения Вильсона. Большинство путей представляется прямыми линиями, только у некоторых из них наблюдаются изломы вблизи конца пути. Очевидно, в конце пробега фотографическое и ионизационное действие α-частицы внезапно прекращается. Вследствие своей громадной кинетической энергии отдельная α-частица может быть обнаружена по сцинцилляции, производимой ею в кристаллическом сернистом цинке, или действием ее на фотографическую пластинку, или особым электрическим методом, а прекрасный метод Вильсона показывает путь каждой отдельной α-частицы при прохождении ее через газ.

Мы, в частности, приспособили метод сцинцилляции к счету отдельных частиц, и, таким образом, мы имеем в нашем распоряжении весьма деликатный метод для изучения явлений, возникающих при прохождении α-частиц сквозь вещество. При полете сквозь газ α-частица пробегает через электронные системы громадного количества атомов и, освобождая электроны, дает начало сильной ионизации вдоль своего пути. Ионизация достигает максимума вблизи конца пути α-частицы и затем быстро падает до нуля.

Закон уменьшения скорости α-частицы при прохождении сквозь вещество был тщательно исследован путем изучения отклонения в магнитном поле пучка α-частиц до и после прохождения их сквозь слой веществ определенной толщины. В большинстве этих опытов мы применяли α-частицы радия C, имеющие пробег около 7 *см* в воздухе при нормальных условиях. Начальная скорость V_0 этих частиц, как известно, равна 19 200 *км в секунду*, и она постепенно уменьшается до $0{,}4V_0$. В этом состоянии наблюдаемый пробег α-частицы меньше одного сантиметра: измерения при этом очень трудны, потому что пучок α-частиц становится неоднородным и содержит частицы, движущиеся с различными скоростями.

Ввиду этого скорость α-частицы, меньшая 0,38 V_0, не могла быть определена с достаточной уверенностью. Мы должны заметить, что даже при наименьшей скорости, при которой еще возможно обнаружить α-частицу с помощью сцинцилляций или фотографически, она тем не менее движется со скоростью, гораздо бо́льшей, чем скорость положительно заряженной частицы, возникающей в обычной разрядной трубке.

Ясно, что под конец α-частица настолько замедляется, что захватывает электроны и обращается в нейтральный атом, но до настоящего времени у нас не было доказательства существования этого явления захвата электронов. Недавно Г. Гендерсон (Proc. Roy. Soc. A, *102*, p. 496, 1922) сделал большой шаг вперед в этой области, изучая отклонение α-лучей в магнитном поле при очень хорошем вакууме. Для успешности этих опытов необходимо, чтобы аппарат, в котором наблюдают отклонение, был откачан до очень низкого давления, соответствующего давлению воздуха в хорошей трубке для X-лучей. Причину этого мы увидим ниже. При отклонении узкого пучка α-лучей магнитным полем на фотографической пластинке наблюдались две полоски: главная полоска, соответствующая обыкновенным α-частицам, несущим два положительных заряда, и вторая полоска [1], которая, по предположению Гендерсона, соответствует частицам, захватившим один электрон, т.-е. атомам гелия, имеющим один положительный заряд. Далее, при малых скоростях ему удалось доказать существование нейтральных α-частиц, получающихся при захвате ядром гелия двух электронов. При этих опытах Гендерсон пользовался шумановскими пластинками, в которых пленка настолько тонка, что частицы при малых скоростях производят такой же или даже больший фотографический эффект, чем частицы с большими скоростями.

Я повторил эти опыты методом сцинцилляции и подтвердил выводы Гендерсона. При наблюдении отклонения средней полосы в электрическом и магнитном полях я нашел, что, несомненно, частицы, дающие ее, обладают массой 4 и зарядом 1, т.-е. они являются однозарядными атомами гелия, имеющими ту же самую скорость, как и частицы с двумя зарядами, образующие главную полосу.

Одновременно мною было проделано несколько опытов для выяснения условий, при которых летящие α-частицы могут захватить или потерять электрон. Общее расположение опыта показано на рис. 1 (стр. 190). Тонкая платиновая проволока покрывалась радием $B+C$ путем экспонирования в эманации; ею я пользовался в качестве почти однородного источника α-лучей, ибо α-частицы при этом излучались только атомами радия C, количество которых было настолько ничтожно, что они едва ли могли образовать на платине пленку толщиной в одну мо-

[1] Далее в тексте мы будем называть ее «средняя полоса».

лекулу. α-лучи из этого источника проходили сквозь узкую щель около 0,3 *мм* и падали на экран из сернистого цинка. Распределение α-частиц на экране определялось методом сцинцилляций в темной комнате с помощью микроскопа, помещенного вне ящика. Сосуд, содержащий источник и экран, совершенно откачивался при помощи диффузионного насоса Гедэ; в случае необходимости остающееся давление измерялось манометром Маклеода. Ящик располагался между плоскими полюсами большого электромагнита так, чтобы пучок α-лучей загибался в направлении, показанном на рис. 1. Обычно расстояние между источником и экраном было в 16 *см*, щель располагалась по-

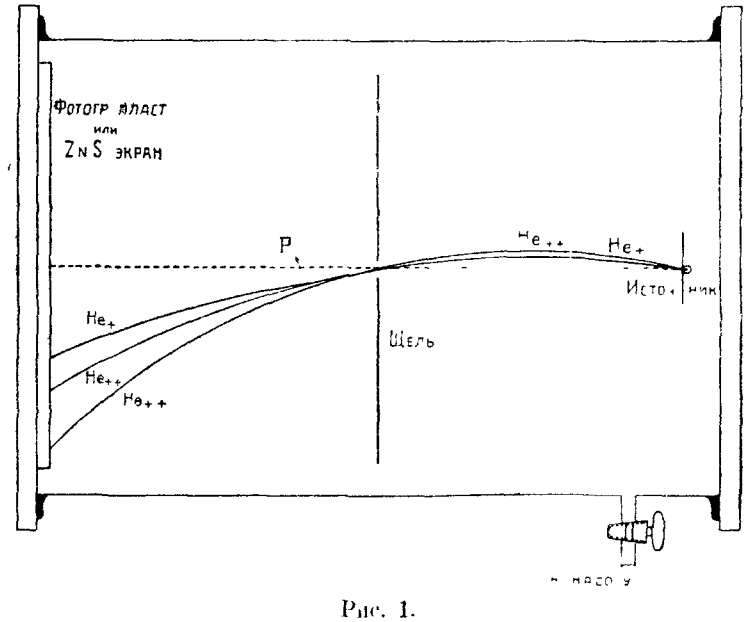

Рис. 1.

средине между ними. Весь путь лучи пробегали почти в однородном магнитном поле, и, таким образом, отклонение пучка лучей было пропорционально силе магнитного поля. При нормальных условиях опыта пучок α-лучей от покрытой радием С проволоки отклонялся на экране приблизительно на 15 *мм* от нулевого положения (т.-е. от положения в отсутствие поля). Поле зрения микроскопа было достаточным, чтобы видеть основание всего пучка α-лучей в отсутствие магнитного поля.

Особые предосторожности принимались для устранения загрязнения экрана активным веществом, выделяемым из проволоки при низких давлениях. Следует иметь в виду, что источник такого типа всегда создает некоторую неоднородность в пучке α-лучей. Такую неоднородность создают α-частицы, освобождающиеся с задней стороны проволоки, которые, проходя через вещество проволоки, уменьшают свою скорость. Это явление ясно обнаруживается при отклонении

пучка α-лучей магнитным полем: наряду с главной полосой α-лучей всегда имеются частицы, распределяющиеся вне главного пучка. Но интенсивность этих неоднородностей пучка обыкновенно меньше одного процента интенсивности главного пучка и наличность их серьезно не влияет на точность выводов, сообщаемых в этой лекции.

Рис. 2 и 3 показывают распределение одно- и двухзарядных α-частиц на экране из сернистого цинка. Рис. 2 показывает результат, который получается, когда перед источником расположена слюда толщиной, соответствующей задерживающей способности слоя воздуха в 3,5 *см*. Главная полоса, соответствующая частицам He_{++}, резко отграничена со стороны больших скоростей, но она же

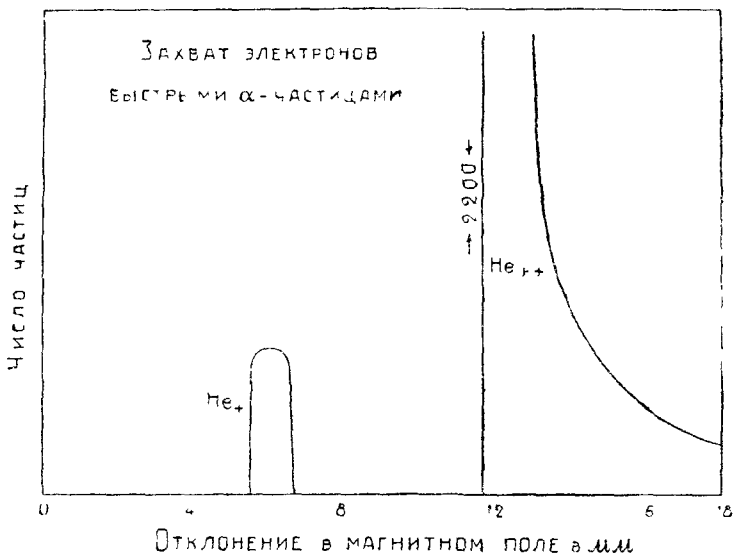

Рис. 2.

свидетельствует о некоторой неоднородности пучка, получающейся при прохождении его сквозь слюду. Как мы и ожидали, средняя полоса (частицы He_{+}), действительно, точно ложится между нулем и главной полосой и содержит приблизительно $^1/_{55}$ частиц главного пучка. Рис. 3 дает распределение при увеличении толщины слоя слюды до величины, соответствующей задерживающей способности воздуха в 6 *см*. Теперь обе—главная и средняя—полосы не обозначаются уже так резко, как в первом случае, но каждая из них образована частицами с различнейшими скоростями. Относительное число частиц He_{+} и He_{++} равно приблизительно $^1/_8$ для быстрых частиц, но это отношение увеличивается с уменьшением скорости. Средняя полоса расширяется и сходится с главной полосой, где последняя уже не может наблюдаться. Яркость сцинцилляций, соответствующих частицам He_{+}, уменьшается непрерывно от A до B. В этом случае возни-

кают также и нейтральные частицы. На это указывает полоса He_0, не отклоняемая в магнитном поле, но интенсивность ее мала по сравнению со средней полосой. Кроме того, между нейтральной и средней полосой встречается небольшое число слабых сцинцилляций, по всей вероятности, принадлежащих частью рассеянным краями щели α-частицам, частью атомам кислорода или других элементов, входящих в состав слюды. Распределение заряженных и нейтральных частиц гелия при значительно меньших скоростях видно на кривых *A* и *B* (рис. 4), разбор которых пока отложим. Ясно, что отношение числа частиц He_+ к He_{++} здесь увеличилось, точно так же относительное число нейтральных частиц гораздо больше.

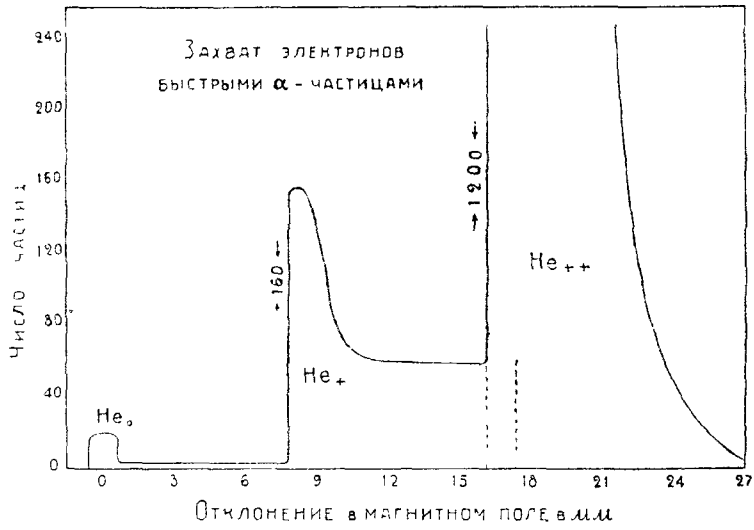

Рис. 3.

Мы можем теперь обратиться к объяснению всех этих наблюдений. Ясно, что частицы, выходящие из слюды, будут с двумя, с одним зарядами или же совершенно нейтральными, но относительное число этих трех типов частиц заметно изменяется в зависимости от задерживающей способности слюдяных пластинок. Мы можем предположить, что α-частица, при прохождении ее через внешнюю электронную структуру атома, на своем пути случайно выталкивает электрон и захватывает его. Этот электрон, попадая на устойчивую орбиту вокруг ядра гелия с двойным зарядом, движется вместе с ним.

Однако этот атом с одним зарядом обладает непродолжительной жизнью: при прохождении через другие атомы электрон сбивается, и α-частица с одним зарядом опять возвращается к типу частиц с двумя зарядами. Этот процесс потери электрона аналогичен обыкновенному явлению ионизации, где электрон выбрасывается из атома при столкновении его с α-частицей. Точно так же частица с одним зарядом

(He_+) может захватить электрон у другого атома, и, наоборот, она может случайно потерять свой спутник-электрон. Таким образом, мы должны различать два противоположных процесса, один, заключающийся в захвате электрона, и другой, ведущий к выбрасыванию его. Из данных, которые мы приведем ниже, будет видно, что этот процесс захвата и потери может повториться более тысячи раз в течение полета α-частицы, так что средний путь, пробегаемый α-частицей перед захватом электрона или перед потерей захваченного электрона, мал по сравнению со всем расстоянием, пробегаемым α-частицей до остановки. Из этого ясно, что при данной скорости α-частицы должно существовать равновесие между числом частиц He_+ и He_{++}, т.-е.

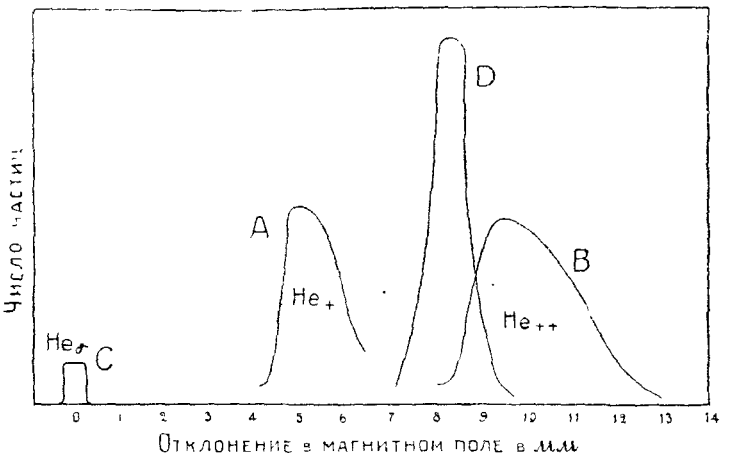

Рис. 4.

в среднем число захваченных электронов на данном малом расстоянии должно равняться числу потерянных.

Очень удобно предположить, что при данной скорости каждая частица He_{++} имеет некоторый средний свободный путь λ_1 *см* в веществе прежде, чем она захватит какой-либо электрон, и что средний свободный путь частицы He_+ перед потерей электрона будет λ_2 *см*. Без сомнения, отдельные частицы пробегают большие или меньшие расстояния, чем эти средние расстояния перед захватом или потери электрона, но, принимая во внимание большое число частиц, мы можем полагать, что существует среднее расстояние, пробегаемое перед захватом или потерей электрона, которое мы можем называть средним свободным путем.

Если N_1 суть число частиц He_{++}, пробегающих небольшое расстояние dx в веществе, то число их, захватывающее электрон, будет $N_1 dx/\lambda_1$. Если так же N_2—число частиц He_+, то число их, теряющее один электрон, равно $N_2 dx/\lambda_2$. Но мы уже видели, что когда наступает равновесие, то число захватов электронов на данном расстоянии должно

быть равно числу потерь их. Из сравнения этих двух выражений видно, что $N_2/N_1 = \lambda_2/\lambda_1$, или, другими словами, относительное число частиц He_+ и He_{++} пропорционально отношению средних свободных путей потерь и захватов. Так как методом сцинцилляций отношение N_2/N_1 можно измерить для любых скоростей, пользуясь для этого поглощателями различной толщины, то мы можем, таким образом, для некоторой скорости определить отношение средних свободных путей перед захватом и потерей электрона.

Истинная величина среднего свободного пути λ_2 частицы He_+ перед потерей ею электрона может быть непосредственно определена на опыте. Предположим, что микроскоп сфокусирован на среднюю полосу (см. рис. 2), и мы подсчитали число сцинцилляций в одну минуту при хорошем вакууме. Если внезапно остановить насос и начать вводить в сосуд воздух или другой газ, то, большими порциями как было найдено, число сцинцилляций уменьшается с увеличением давления до тех пор, пока полоска совершенно не исчезнет. Это имеет место уже при достаточно низком давлении, для воздуха, например, при давлении около $^1/_4$ *мм*.

Объяснение этого результата совершенно ясно. Частичка He_+, вылетая из слюды, случайно сталкивается с атомом газа, встретившимся на ее пути, и при этом отдает электрон, ею захваченный при полете через слюду. Таким образом, частичка He_+ снова обращается в частицу He_{++}, а последняя в магнитном поле отклоняется в два раза легче, чем частица He_+. Предположим, что столкновение произошло в точке P (рис. 1). Тогда частица после отдачи электрона пойдет по новому пути, показанному на рис. 1, и уже не ударится больше в часть экрана, видимую в микроскоп. Было установлено, что число сцинцилляций, видимых в микроскоп, при повышении давления убывает по экспоненциальному закону. Этот результат не был неожиданным, и из данных опыта можно было достаточно просто подсчитать среднее расстояние, пробегаемое частицей He_+, прежде чем она потеряет захваченный ею электрон. Конечно, некоторые необходимые поправки надо внести при подсчете окончательной ширины полосы сцинцилляций, видимой в микроскоп, но мы не будем входить в детали этого опыта. Очень удобно выражать средний свободный путь λ_2 в воздухе частицы He_+ не средней длиной пути, пробегаемого в разреженном газе перед потерей электрона, а расстоянием, пробегаемым ею в том же газе при нормальных давлении и температуре. Например, в одном из опытов средний свободный путь в воздухе для частицы был найден равным 12 *см* при давлении 0,040 *мм*; это соответствует среднему свободному пути в 0,0063 *мм* при нормальных давлении и температуре.

Таким образом, был измерен при различных скоростях средний свободный путь в воздухе перед потерей электрона, и было найдено, что средний свободный путь меняется с изменением скорости α-частицы

стицы, так, что с уменьшением скорости α-частицы средний свободный путь ее становится короче. Так как потерю электрона частицей, несущей один заряд, мы можем рассматривать как результат явления ионизации, то, несомненно, что если мы примем во внимание прочную связь отдельного электрона с ядром He_{++}, средний свободный путь перед потерей электрона будет того же порядка, как и вычисленный из расчета числа ионов, получающихся на 1 *см* при полете α-частицы в воздухе или в каком-нибудь другом газе. При этом были сравнены средние свободные пути для воздуха с путями в водороде и гелии. Эта величина в водороде от 4 до 5 раз длиннее, чем в воздухе, и она в 5 раз длиннее, чем в гелии.

Теперь, зная среднюю длину пути λ_2, мы можем вычислить λ_1 (перед захватом электрона), если нам также будет известно отношение N_2/N_1. Однако здесь возникает затруднение, ибо для измерения отношения N_2/N_1 необходимо, чтобы активный источник был покрыт слюдой или каким-нибудь другим твердым телом. Газ для этой цели не удобен. Однако было установлено, что отношение N_2/N_1 остается одинаковым в пределах ошибок наблюдений независимо от того, будем ли мы скорость α-частиц уменьшать целлулоидом, слюдой, алюминием или серебром. При этом мы пользовались одной и той же пластинкой слюды, покрывая ее каждый раз очень тонким слоем исследуемого вещества. Толщина слоя была достаточна для установления нового равновесия между частицами, несущими один и два заряда, но недостаточна для существенного изменения скорости ионизующих лучей.

Так как величина отношения N_2/N_1 не дает учитываемых изменений для поглощателей со столь различными атомными весами, то мы можем совершенно спокойно заключить, что это отношение для гипотетического слоя твердого воздуха будет тем же, что и для данного слоя слюды.

Итак, мы имеем теперь все данные, необходимые для определения величин λ_1 и λ_2, относящихся к α-частицам при различных скоростях. Результаты даны в следующей таблице для трех различных скоростей. Средний свободный путь выражен в числе *мм* воздуха при нормальных давлении и температуре. Максимальная скорость V_0 α-частиц радия C равна $1{,}9 \times 10^9$ *см сек.*

Скорость V в долях V_0.	$\lambda_2/\lambda_1 = N_2/N_1$ для слюды.	Средний свободный путь перед потерей электрона в воздухе	Средний свободный путь λ_1 перед захватом электрона в воздухе.
0,94	$^1/_{100}$	0,011 *мм*	2,2 *мм*
0,76	$^1/_{67}$	0,0078 „	0,52 „
0,47	$^1/_{25}$	0,0050 „	0,037

Из таблицы видно, что средний свободный путь перед потерей электрона изменяется параллельно скорости, при чем он изменяется приблизительно в отношении 1 к 2, в пределах изменения скорости данных в таблице. С другой стороны, отношение λ_2/λ_1 увеличивается, очень быстро с уменьшением скорости, изменяясь приблизительно пропорционально V^{-5}. Отсюда следует, что λ_1 изменяется пропорционально V^6, уменьшаясь в 60 или более раз в то время, когда скорость уменьшилась наполовину.

Из этих данных и соотношений можно легко подсчитать, что средний свободный путь перед захватом электрона должен быть равен пути перед потерей его при скорости, равной $0,3\ V_0$, и что при этой скорости число частиц He_- и He_{++} должно быть равным. Особый опыт показал, что действительная величина скорости, когда количества обоего рода частиц одинаковы, равна $0,29\ V_0$, т.-е. очень хорошо согласуется с вычисленной величиной. Чрезвычайно трудно определять величины λ_1 и λ_2 для скоростей, меньших $0,3\ V_0$, не только из-за того, что сцинцилляции слабы по интенсивности и трудно поддаются точному подсчету, но и потому, что возникающие лучи очень неоднородны и не дают резко очерченного края со стороны большой скорости. Однако было замечено, что при скоростях, меньших $0,3\ V_0$, отношение N_2/N_1 быстро увеличивается.

До сих пор мы изучали равновесие между частицами He_+ и He_{++}. Ясно, что при малых скоростях α-частиц рассуждения, подобные вышеуказанным, применимы к равновесию между частицами нейтрального гелия и частицами, несущими один заряд. Было обнаружено, что нейтральные частицы особенно бросаются в глаза при прохождении лучей через сюду в 6 *см* задерживающей способности, но, без сомнения, они могут быть обнаружены при гораздо меньшей задерживающей способности. Эти нейтральные частички вызывают сцинцилляции, по интенсивности соответствующие α-частицам малой скорости. По всей вероятности, эти нейтральные частицы, прежде чем удариться в сернистый цинк или какое-либо другое поглощающее вещество, много раз теряют и захватывают электрон. Это явление было показано при впускании газа при низком давлении в аппарат, при чем сцинцилляции, вызываемые нейтральными частицами, постепенно убывали в числе и, наконец, совершенно исчезали. Это явление объясняется так же, как и исчезновение полоски He_+: нейтральные частички случайно теряют электрон при прохождении их через газ, и вследствие этого магнитное поле отклоняет их из нулевого положения.

Подсчет показывает, что средний свободный путь в воздухе между превращением нейтральной частицы гелия в однозарядную равен приблизительно $^1/_{600}$ *мм*. Но, конечно, эта величина является средней для частиц с различнейшими скоростями, попадающими в данный момент в нейтральную полосу.

Для больших скоростей мы имеем подвижное равновесие $He_{++} \rightleftarrows He_{+}$. Для скоростей, меньших 0,5 V_0 $He_{+} \rightleftarrows He_0$; по всей вероятности, то же мы имеем и для скоростей, меньших 0,3 V_0. Как показал Гендерсон, при чрезвычайно малых скоростях большинство He_{++}-частиц разрушается, и преобладают частицы He_{+} и He_0.

При таких малых скоростях подсчет сцинцилляции чрезвычайно труден и ненадежен, и предпочтительнее в этом случае фотографический метод, которым пользовался Гендерсон. Представляется очень интересным посмотреть, не изменяется ли относительное число частиц трех типов, когда α-частицы медленно движутся сквозь различные вещества. Эта часть работы производится Гендерсоном в университете в Саскачеване (Saskatchewan).

Здесь необходимо отметить одно очень интересное обстоятельство. Уже было показано, что одно- и двухзарядные α-частицы появляются всегда после прохождения α-лучей сквозь слюду или другие поглощающие вещества, но не появляются ли однозарядные частицы, когда α-частички вылетают из проволоки, покрытой бесконечно тонким слоем активного вещества? Такое явление на самом деле было обнаружено для платиновой проволоки, покрытой налетом радия $B+C$, полученными экспозицией в эманации радия, и при этом было установлено, что однозарядные атомы гелия получаются приблизительно в равновесном отношении для данной скорости. Это наблюдение было совершенно неожиданным. Первоначально мы объяснили его тем, что частицы радия B, возникающие из радия A вследствие отдачи проникают на некоторую глубину в материал проволоки. При этих условиях многие из α-частиц, излучаемых радием C, проходят сквозь малый, но учитываемой толщины, слой вещества, прежде чем вылететь из проволоки, и на пути могут захватить электрон. Однако это объяснение кажется невероятным потому, что среднее расстояние, на которое проникает атом, получающийся при отдаче, представляет собою маленькую часть среднего свободного пути перед захватом электрона для α-частицы при таких больших скоростях. Опыт был повторен с никкелевой проволокой, на поверхности которой осадок радия C получался хорошо известным способом: погружением проволоки в горячий раствор радия C. В этом случае явления отдачи отсутствуют, но число однозарядных частиц было тем же, что и в первом опыте.

Очень важно, что относительное число однозарядных и двухзарядных частиц приблизительно равно равновесному отношению, получающемуся, когда проволока, после активации, покрывается учитываемой толщины слоем меди или какого-нибудь другого вещества. Вряд ли можно думать, что однозарядные частицы, наравне с двухзарядными действительно освобождаются из радиоактивного ядра; даже, если полагать, что α-частица выбрасывается со спутником-электроном, то электрон может быть потерян при прохождении ее

через очень сильное электрическое поле вблизи ядра. По всей вероятности, α-частица с двойным зарядом при прохождении ее через густо распределенные электроны, окружающие радиоактивное ядро, случайно захватывает электрон, и, таким образом, процесс захвата и потери электрона идет на всем протяжении во время вылета α-частицы из радиоактивного атома. На первый взгляд такое объяснение кажется менее правдоподобным, если мы учтем относительно большее число атомов, проходимых обычно α-частицей, прежде чем установится равновесие между захватами и потерями электронов, но, с другой стороны, хорошо известно, что шансы на электронные столкновения в общем гораздо больше для заряженных частиц, выбрасываемых из центрального ядра, чем для частиц извне, проходящих через электронную атмосферу атома. Возможно, что те электроны, орбитальное движение которых вокруг ядра сравнимо со скоростью α-частицы, играют особую роль в случаях захвата или потери.

До сих пор мы имели дело, главным образом, с распределением частиц в магнитном поле в вакууме после освобождения их из поверхности слюды. Несколько очень интересных фактов выяснилось при исследовании распределения в присутствии достаточного количества газа, который обусловливал быструю смену захватов и потерь электронов вдоль пути α-частицы. Это очень хорошо иллюстрируется диаграммой рис. 4, на которой нанесены результаты для α-частиц, вылетающих из слюды с максимальным остаточным пробегом около 4 или 5 *мм* в воздухе. Кривые A и B дают приблизительное распределение частиц He_{+} и He_{++} в пустоте, тогда как C — относительное число нейтральных частиц при данных условиях опыта. Предположим теперь, что в сосуд введен воздух, в количестве, достаточном для того, чтобы вызвать многочисленные захваты электронов при полете α-частиц в газе, но еще недостаточном для заметного уменьшения скорости α-частиц. Тогда прежде всего бросается в глаза замечательный факт, именно, что распределение по A, B, C исчезает и остается только распределение частиц приблизительно посредине между A и B (кривая D). Эта полоса по сравнению с A и C уже, а в максимуме выше. Это указывает на то, что частицы собираются в полоску, более узкую, чем это имеет место при нормальном распределении в кривой B.

Это есть как раз то, что мы можем ожидать. В самом деле, быстрые частички по сравнению с медленными испытывают меньшее число захватов; следовательно, средний заряд быстрых α-частиц в газе будет меньше $2e$, и их отклонение меньше, чем отклонение более быстрых частиц, показанное на кривой B. С другой стороны, средний заряд медленных α-частиц ближе к $1e$, чем к $2e$, и, стало быть, их относительное отклонение будет меньше, чем у быстрых частиц. Таким образом ясно, что суммарное распределение частиц в воздухе внутри сосуда будет концентрироваться на более узкой полосе, чем главная

полоска частиц He_{++}. Из вычислений, основанных на законах захвата и потери, ширина полосы при условиях опыта может быть подсчитана и, в действительности, найдена в прекрасном согласии с опытом. Заметим, что подобные результаты получены и для водорода при соответствующих условиях.

ОБЩЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Наше внимание теперь должно быть обращено на разбор полученных результатов и возможное объяснение их с современной точки зрения. На первом месте стоит поразительно большое число захватов и потерь электрона, происходящих при полете α-частицы радия C. В то время как средний свободный путь α-частицы радия C с пробегом в 7 *см* в воздухе равен приблизительно 3 *мм*, с уменьшением скорости α-частицы эта величина быстро падает, и, по всей вероятности, при скорости 0,3 V_0 она равна 0,0015 *мм*. Не трудно подсчитать, что заряд частицы при ее полете в воздухе изменяется около тысячи раз, пока скорость ее от V_0 изменится до 0.3 V_0. Несмотря на то, что данные, полученные до сих пор, не позволяют нам подсчитать число изменений заряда, происходящих при уменьшении скорости от 0,3 V_0 до 0, нам все-таки представляется вероятным, что это число значительно больше тысячи. Мы уже раньше заметили, что при малых скоростях преобладают изменения $He_+ \rightleftarrows He_0$. Если мы учтем быстроту перемен зарядов α-частицей при средних скоростях, то ясно, что мы не можем надеяться наблюдать учитываемую разницу в способности проникновения между пучками лучей данной скорости, в зависимости от того, состояли ли они вначале из однозарядных или двухзарядных частиц. Совершенно ясно, что однозарядная частичка, проникнув на небольшое расстояние в вещество, обращается в двухзарядную, и наоборот; и ясно, что эффекты, производимые двумя пучками, не могут быть различимы. Гендерсон, пользуясь фотографическим методом, пробует производить такие опыты над абсорбцией частиц, но пока он не получил определенных результатов.

Когда α-частица захватывает электрон, последний, вероятно, попадает на ту же самую орбиту вокруг ядра гелия, которая характеризует ионизованный атом гелия, т.-е. атом, потерявший один электрон. Когда α-частица с ее спутником-электроном быстро пролетает на своем пути сквозь атомы газа, она не только ионизирует газ, но может ионизироваться и сама, т.-е. потерять свой спутник—электрон. Если мы примем во внимание сильную связь первого электрона с ядром гелия — ионизационный потенциал около 54 вольт, — то средняя длина свободного пути перед потерей захваченного электрона в воздухе по величине будет того же порядка, как и вычисленная из предположения ионизации α-частицей на единицу пути в воздухе. В то время как

няется на очень большой угол вследствие тесного соударения с ядром. Я также опустил еще более редкий случай, когда происходит разложение атомного ядра, как это имеет место у азота или алюминия. Таким образом, мы видим, что α-частица имеет интересную историю. Обычно она удерживается в радиоактивном ядре как составная часть его в течение промежутков времени больших тысячи миллионов лет. Но внезапно происходит катастрофа: α-частица получает свободу и живет независимой жизнью около одной стомиллионной доли секунды, в продолжение которой происходит с ней все то, что описано в этой лекции.

Если мы имеем дело с плотными и прочными минералами урана или тория, то α-частица после приобретения двух электронов и превращения в нейтральный атом гелия задерживается в минерале так долго, сколько будет существовать данный минерал. Окклюдированный гелий может быть получен из минерала при действии высокой температуры и после удаления всех других газов; его присутствие можно обнаружить по характерному яркому свечению под влиянием электрического разряда. При таких опытах выделяется малое количество гелия. Однако, огромные количества гелия, достаточные для наполнения больших воздушных кораблей, получаются из естественных газов, выделяющихся свободно из земли в различных частях Канады и Соединенных Штатов Америки. И замечательно, что, по всей вероятности, каждый отдельный атом этого вещества имел историю жизни, описанную здесь.

ПРИБАВЛЕНИЕ[1]).

Представляется интересным дать здесь краткий обзор еще некоторых фактов, относящихся к α-частице. Уже давно было известно, что α-частицы, хотя и излучаются из источника с одной и той же скоростью, но пролетают в газе разные расстояния. Например, наибольшее расстояние, пробегаемое α-частицами радия *C* в воздухе при 760 *мм* давления и 15° С, равно 7,04 *см*, наименьшее — около 6,4 *см*, отсюда среднее будет около 6,8 *см*. Некоторое «продольное рассеяние» α-частиц можно предвидеть на общих основаниях. Действительно, α-частица теряет свою энергию, главным образом, при освобождении электронов из атомов вещества, встречающихся на ее пути. Между тем, по законам вероятности, одна из α-частиц может встретить большее число атомов и освободить больше электронов, чем какая-нибудь другая частица, и таким образом первая теряет энергию быстрее чем вторая. Однако наблюдаемое продольное рассеяние гораздо больше, чем может дать подсчет, произведенный в таком предположении, и надо

[1]) Это прибавление не является частью лекции, прочитанной в Королевском Институте, но оно может быть полезным дополнением к некоторым пунктам в этой лекции

заметить, что большие отклонения α-частиц, соответствующие соударениям с ядром, за исключением конца пробега, так редки, что они не могут серьезно влиять на окончательное распределение α-частиц.

Гендерсон предположил, что свойство α-частицы захватывать и терять электроны надо рассматривать как новый фактор продольного рассеяния. Без сомнения, это явление имеет место, но наблюдаемое отношение захвата и потерь электронов представляется слишком большим, чтобы относить его всецело на расхождение между теорией и опытом. Другое интересное предположение относительно величины этого рассеяния сделано П. Л. Капицей. Из опытов Чадвика и Билера над соударением между α-частицами и ядрами водорода было ясно, что α-частица или ядро гелия обладает несимметричным полем сил. Эта асимметрия электрического поля может быть уже мала на расстояниях орбит электронов в нейтральном атоме, но она может быть достаточна для фиксации плоскости орбиты электрона относительно оси ядра гелия.

Предположим, что α-частицы, освобождающиеся из радиоактивного источника, обладают осями, ориентированными в пространстве, и что направление осей каждой отдельной частички остается неизменным во время движения ее. Например, в одних случаях захваченный электрон описывает орбиту, плоскость которой близка к направлению движения, в других — почти перпендикулярна к нему. Однако надо ожидать, что шансы на потерю захваченного электрона при столкновении в одном случае будут больше, чем в другом; или, другими словами, средний свободный путь α-частицы, несущей один заряд, перед потерей электрона будет неодинаков в обоих случаях.

С этой точки зрения можно предполагать, что одна часть α-частиц будет терять энергию скорее, чем другая, и пробег их точно так же будет различен. Чтобы проверить существует ли действительно такое различие между α-частицами, предсказываемое теорией, Капица в Кавендишевской лаборатории сфотографировал пути большого числа α-частиц, пользуясь методом Вильсона и сильным магнитным полем, приблизительно в 70000 гауссов, производимым моментальным током большой силы. Магнитное поле было достаточно сильно, чтобы вызвать заметное искривление пути α-частицы. Было установлено, что кривизна путей на одинаковых расстояниях от конца их показывает заметное различие. Прежде чем сделать какое-либо определенное заключение, надо получить большое число путей, тщательно промерить и отделить внезапные отклонения, вызываемые соударениями ядра с атомами азота или кислорода. Частота таких отклонений вблизи конца пробега усложняет интерпретацию кривизны, подвергаемой измерению. Опыты, находящиеся еще в ходу, чрезвычайно трудны и требуют колоссальной технической ловкости; они представят большой интерес, если тем или другим методом установят определенную асимметрию для орбит в однозарядных α-частицах.

няется на очень большой угол вследствие тесного соударения с ядром. Я также опустил еще более редкий случай, когда происходит разложение атомного ядра, как это имеет место у азота или алюминия. Таким образом, мы видим, что α-частица имеет интересную историю. Обычно она удерживается в радиоактивном ядре как составная часть его в течение промежутков времени больших тысячи миллионов лет. Но внезапно происходит катастрофа: α-частица получает свободу и живет независимой жизнью около одной стомиллионной доли секунды, в продолжение которой происходит с ней все то, что описано в этой лекции.

Если мы имеем дело с плотными и прочными минералами урана или тория, то α-частица после приобретения двух электронов и превращения в нейтральный атом гелия задерживается в минерале так долго, сколько будет существовать данный минерал. Окклюдированный гелий может быть получен из минерала при действии высокой температуры и после удаления всех других газов; его присутствие можно обнаружить по характерному яркому свечению под влиянием электрического разряда. При таких опытах выделяется малое количество гелия. Однако, огромные количества гелия, достаточные для наполнения больших воздушных кораблей, получаются из естественных газов, выделяющихся свободно из земли в различных частях Канады и Соединенных Штатов Америки. И замечательно, что, по всей вероятности, каждый отдельный атом этого вещества имел историю жизни, описанную здесь.

ПРИБАВЛЕНИЕ[1]).

Представляется интересным дать здесь краткий обзор еще некоторых фактов, относящихся к α-частице. Уже давно было известно, что α-частицы, хотя и излучаются из источника с одной и той же скоростью, но пролетают в газе разные расстояния. Например, наибольшее расстояние, пробегаемое α-частицами радия C в воздухе при 760 *мм* давления и 15° С, равно 7.04 *см*, наименьшее — около 6,4 *см*, отсюда среднее будет около 6,8 *см*. Некоторое «продольное рассеяние» α-частиц можно предвидеть на общих основаниях. Действительно, α-частица теряет свою энергию, главным образом, при освобождении электронов из атомов вещества, встречающихся на ее пути. Между тем, по законам вероятности, одна из α-частиц может встретить большее число атомов и освободить больше электронов, чем какая-нибудь другая частица, и таким образом первая теряет энергию быстрее чем вторая. Однако наблюдаемое продольное рассеяние гораздо больше, чем может дать подсчет, произведенный в таком предположении, и надо

[1]) Это прибавление не является частью лекции, прочитанной в Королевском Институте, но оно может быть полезным дополнением к некоторым пунктам в этой лекции

заметить, что большие отклонения α-частиц, соответствующие соударениям с ядром, за исключением конца пробега, так редки, что они не могут серьезно влиять на окончательное распределение α-частиц.

Гендерсон предположил, что свойство α-частицы захватывать и терять электроны надо рассматривать как новый фактор продольного рассеяния. Без сомнения, это явление имеет место, но наблюдаемое отношение захвата и потерь электронов представляется слишком большим, чтобы относить его всецело на расхождение между теорией и опытом. Другое интересное предположение относительно величины этого рассеяния сделано П. Л. Капицей. Из опытов Чадвика и Билера над соударением между α-частицами и ядрами водорода было ясно, что α-частица или ядро гелия обладает несимметричным полем сил. Эта асимметрия электрического поля может быть уже мала на расстояниях орбит электронов в нейтральном атоме, но она может быть достаточна для фиксации плоскости орбиты электрона относительно оси ядра гелия.

Предположим, что α-частицы, освобождающиеся из радиоактивного источника, обладают осями, ориентированными в пространстве, и что направление осей каждой отдельной частички остается неизменным во время движения ее. Например, в одних случаях захваченный электрон описывает орбиту, плоскость которой близка к направлению движения, в других — почти перпендикулярна к нему. Однако надо ожидать, что шансы на потерю захваченного электрона при столкновении в одном случае будут больше, чем в другом; или, другими словами, средний свободный путь α-частицы, несущей один заряд, перед потерей электрона будет неодинаков в обоих случаях.

С этой точки зрения можно предполагать, что одна часть α-частиц будет терять энергию скорее, чем другая, и пробег их точно так же будет различен. Чтобы проверить существует ли действительно такое различие между α-частицами, предсказываемое теорией, Капица в Кавендишевской лаборатории сфотографировал пути большого числа α-частиц, пользуясь методом Вильсона и сильным магнитным полем, приблизительно в 70000 гауссов, производимым моментальным током большой силы. Магнитное поле было достаточно сильно, чтобы вызвать заметное искривление пути α-частицы. Было установлено, что кривизна путей на одинаковых расстояниях от конца их показывает заметное различие. Прежде чем сделать какое-либо определенное заключение, надо получить большое число путей, тщательно промерить и отделить внезапные отклонения, вызываемые соударениями ядра с атомами азота или кислорода. Частота таких отклонений вблизи конца пробега усложняет интерпретацию кривизны, подвергаемой измерению. Опыты, находящиеся еще в ходу, чрезвычайно трудны и требуют колоссальной технической ловкости; они представят большой интерес, если тем или другим методом установят определенную асимметрию для орбит в однозарядных α-частицах.