

СТОЛКНОВЕНИЕ α -ЧАСТИЦ С ЛЕГКИМИ АТОМАМИ

Э. Резерфорд
Университет Манчестера
(Получено 1919 г.)

— — $\diamond \diamond \diamond$ — —

Русский перевод взят из сборника: Э. Резерфорд “Избранные научные труды,” стр. 286, отв. ред. акад. Г.Н. Флеров

— — $\diamond \diamond \diamond$ — —

IV. Аномальный эффект в азоте

В статье I¹ показано, что металлический источник, покрытый осадком радия С, всегда рождает большое число сцинтилляций на экране из сернистого цинка далеко за пределами пробега α -частиц. Быстрые атомы, вызывающие эти сцинтилляции, несут положительный заряд, отклоняются магнитным полем и имеют примерно те же пробег и энергию, что и быстрые Н-атомы, образующиеся при прохождении α -частиц через водород. Эти “естественные” сцинтилляции приписывались главным образом быстрым Н-атомам из радиоактивного источника. Трудно, однако, решить, выбрасываются ли они из самого радиоактивного источника, или обусловлены воздействием α -частиц на окклюдированный водород.

Для изучения этих “естественных” сцинтилляций был использован такой же прибор, как описанный в статье I. Интенсивный источник радия С устанавливался внутри металлического ящика примерно на расстоянии 3 см от стенки, отверстие в которое закрывалось серебряной пластинкой с тормозной способностью, равной около 6 см воздуха.

¹Э. Резерфорд, “Избранные научные труды” стр. 247.

Экран из сернистого цинка устанавливался вне ящика, примерно на расстоянии 1 мм от серебряной пластинки, чтобы можно было между ними вставлять поглощающую фольгу. Весь прибор помещался в сильное магнитное поле для отклонения β -лучей. Зависимость числа этих “естественных” сцинтилляций от поглощения, выраженного в сантиметрах воздуха, показана на рисунке (кривая А). В этом случае воздух из ящика откачивался и использовалась алюминиевая поглощающая фольга. Если в объем вводился сухой кислород или углекислый газ, то число сцинтилляций уменьшалось примерно до величины, ожидаемой исходя из тормозной способности слоя газа.

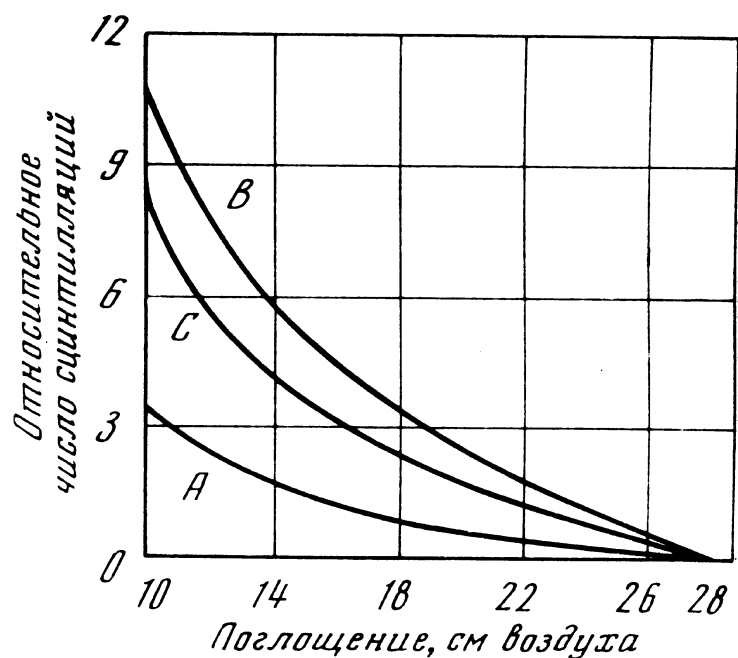


Рис. 1:

Неожиданный эффект, однако, был обнаружен, когда ввели сухой воздух. Вместо уменьшения число сцинтилляций возросло и для поглощения, соответствующего около 19 см воздуха, это число стало примерно вдвое больше, чем в вакууме. Из этого эксперимента было ясно, что α -частицы при прохождении через воздух дают начало длиннопробежным сцинтилляциям, яркость которых глазу кажется примерно такой же, как яркость Н-сцинтилляций. Для выяснения происхождения этих

сцинтилляций был предпринят ряд систематических наблюдений. Прежде всего, как мы видели, прохождение α -частиц через азот и кислород приводят к возникновению многочисленных ярких сцинтилляций, имеющих пробег в воздухе около 9 см. Эти сцинтилляции соответствуют примерно пробегу, которого следует ожидать, если они обусловлены быстрыми N- или O-атомами, несущими единичный заряд и образующимися при столкновении с α -частицами. Поэтому все эксперименты были проведены с поглощением, большим 9 см воздуха, чтобы эти атомы поглотились раньше, чем достигнут экрана из сернистого цинка.

Оказалось, что эти длиннопробежные сцинтилляции не могут быть связаны с присутствием в воздухе водяных паров, так как число их лишь не намного уменьшалось при применении совершенно сухого воздуха. Этого и следовало ожидать, так как в среднем число дополнительных сцинтилляций, обусловленных воздухом, было эквивалентно числу H-атомов, образующихся в смеси водорода с кислородом при давлении 6 см. Поскольку в среднем давление водяных паров в воздухе было не больше 1 см, полное осушение воздуха не должно было уменьшить число сцинтилляций больше, чем на 1/6. Даже если вместо сухого воздуха вводился кислород или двуокись углерода с насыщенным давлением водяных паров при 20° C, число сцинтилляций было намного меньше, чем с сухим воздухом.

Хорошо известно, что в атмосферном воздухе обычно содержание водорода или газов очень мало, причем это не зависит от того, брался ли воздух непосредственно из комнаты, вне стен лаборатории или же собирался несколько дней над водой. Возможно, что наблюдавшийся в воздухе эффект обусловлен освобождением H-атомов из частичек пыли в воздухе. Однако не было заметной разницы и тогда, когда сухой воздух фильтровался через длинную пробку из ваты или когда он для удаления пыли несколько дней накапливался над водой.

Аномальный эффект наблюдался в воздухе и не наблюдался в кислороде или двуокиси углерода, поэтому он должен быть вызван азотом или другим газом, присутствующим в атмосферном воздухе. Такая возможность, однако, исключена сравнением эффектов, получающихся в воздухе и химически приготовленном азоте. Азот получался по широко известному методу – добавлением хромистого аммония к нитрату натрия и последующим накоплением над водой. Перед введением в прибор азот тщательно высушивался. В чистом азоте число длиннопробежных сцинтилляций в тех же условиях превышало число сцинтилляций в воздухе. В результате тщательных экспериментов было найдено, что отношение эффектов равно 1.25, т.е. той величине, которую следовало и

ожидать, если сцинтилляции вызваны азотом.

Полученные до сего времени результаты показывают, что длинно-пробежные сцинтилляции, наблюдаемые в воздухе, должны быть приписаны азоту, однако важно также показать, что они возникают в результате столкновения α -частиц с атомами азота в объеме газа. Прежде всего было установлено, что число сцинтилляций изменяется с давлением воздуха так, как и следует ожидать, если они возникают в результате столкновения α -частиц с атомами азота при прохождении частиц через слой газа. Кроме того, при установке вплотную к источнику алюминиевого или золотого поглощающего экрана пробег частиц, вызывающих сцинтилляции, уменьшался так, как следовало бы ожидать, если бы пробег выбрасываемого атома был пропорционален пробегу бомбардирующих α -частиц. Из этих результатов ясно, что частицы, вызывающие сцинтилляции, возникают в объеме газа и не обязаны своим появлением каким-либо поверхностным эффектам в радиоактивном источнике.

Кривая А на рисунке отражает результаты типичного эксперимента и показывает зависимость числа естественных сцинтилляций от количества поглощающего вещества на их пути, выраженного в сантиметрах воздуха для α -частиц. В этих экспериментах в прибор вводился углекислый газ при таком давлении, чтобы он создавал то же поглощение α -частиц, что и обычный воздух. Кривая В соответствует случаю, когда вместо углекислого газа вводился воздух при нормальном давлении. Разностная кривая С показывает соответствующую зависимость числа сцинтилляций, возникающих в азоте воздуха. Обычно оказывалось, что отношение эффекта в азоте к естественному при поглощении, равном 19 см, было несколько больше, чем при поглощении, равном 12 см.

Чтобы можно было оценить величину эффекта, пространство между источником и экраном заполнялось углекислым газом при уменьшенном давлении, а затем добавлялся водород при известном давлении. Давление углекислого газа и водорода подбиралось так, чтобы полное поглощение α -частиц в смеси газов было равно поглощению в воздухе. Таким способом было обнаружено, что кривая поглощения возникающих в этих условиях Н-атомов идет несколько круче, чем кривая С на рисунке. Следовательно, количество смешиваемого с углекислым газом водорода, требующееся для получения того же числа сцинтилляций, что и в воздухе, возрастает с увеличением поглощения. Так, при поглощении, соответствующем 12 см, эффект в воздухе равен примерно эффекту в водороде при давлении 4 см, а при поглощении, равном 19 см, – эффекту в водороде при давлении около 8 см. Для средней величины поглощения эффект в воздухе равен примерно эффекту в водороде при давлении 6 см.

Это увеличенное поглощение Н-атомов в тех же условиях можно объяснить двояко: 1) быстрые атомы из воздуха имеют немного больший пробег, чем Н-атомы, или 2) атомы из воздуха еще в большей степени выбрасываются в направлении пролета α -частиц.

Хотя максимальный пробег, соответствующий сцинтилляциям в воздухе, когда в качестве источника α -лучей служил радий С, по-видимому, примерно тот же (28 см), что и для Н-атомов, образующихся в водороде, фиксировать точно конец пробега трудно вследствие малого числа сцинтилляций и их слабости. Были проведены специальные эксперименты с целью проверки, не могут ли наблюдаться при благоприятных условиях какие-либо сцинтилляции, обусловленные азотом, за пределами поглощения 28 см воздуха. Для этого на расстоянии 2.5 см от экрана из сернистого цинка устанавливался сильный источник (активностью около 60 мг радия), а пространство между ними заполнялось сухим воздухом. При еще меньшем расстоянии экран становился слишком ярким, чтобы можно было обнаружить очень слабые сцинтилляции. За пробегом 28 см никаких определенных признаков сцинтилляций не найдено. Поэтому, видимо, наиболее вероятно второе объяснение.

В статье III² мы видели, что число быстрых атомов азота или кислорода, образующихся на единице пути за счет столкновения с α -частицами, примерно равно соответствующему числу Н-атомов в водороде. Поскольку число длиннопробежных сцинтилляций в воздухе эквивалентно образующемуся в тех же условиях в слое водорода при давлении 6 см, то мы отсюда можем сделать вывод, что только один длиннопробежный атом образуется при каждых 12 таких столкновениях, дающих начало быстрым атомам азота с максимальным пробегом 9 см.

Интересно привести данные о числе длиннопробежных сцинтилляций, образующихся в определенных условиях в азоте длиной 3.3 см при полном поглощении, соответствующем в воздухе расстоянию 19 см от источника, число сцинтилляций в азоте на 1 мг активности равно 0.6 в минуту на экране площадью 3.14 мм².

Длиннопробежные атомы в азоте как по своему пробегу, так и по яркости сцинтилляций чрезвычайно похожи на Н-атомы и, по всей вероятности представляют собой атомы водорода. Однако, чтобы установить этот важный факт однозначно, необходимо определить отклонение этих атомов в магнитном поле. Несколько предварительных экспериментов было сделано методом, подобным применявшемуся при измере-

²Э. Резерфорд, "Избранные научные труды" стр. 277.

нии скорости Н-атома (см. статью II)³ Основная трудность заключается в получении достаточно большого отклонения потока атомов, а также достаточного для счета числа сцинтилляций в минуту. Испущенные источником α -лучи проходили через сухой воздух между двумя параллельными горизонтальными пластинами длиной 3 см, отстоящими одна от другой на расстоянии 1.6 мм; при этом наблюдалось число сцинтилляций на расположенном вблизи конца пластины экране при различных напряженностях магнитного поля. В этих условиях, когда сцинтилляции возникают по всей длине воздушного столба между пластинами, наибольшее достижимое магнитное поле уменьшало число сцинтилляций всего на 30%. Примерно такое же уменьшение наблюдалось и в том случае, когда воздух заменялся смесью углекислого газа с водородом с той же тормозной способностью по α -лучам. Насколько можно судить по экспериментам, этот факт указывает, что сцинтилляции обусловлены Н-атомами; однако действительное число сцинтилляций и степень их уменьшения были слишком малы, чтобы можно было с уверенностью полагаться на полученные результаты. Чтобы решить этот вопрос однозначно, по-видимому, необходимо применить в качестве источника твердые азотные соединения, свободные от водорода, и использовать более сильные источники α -лучей. В такого рода экспериментах важно будет различать отклонения, обусловленные Н-атомами и возможными атомами с атомным весом 2. Из приведенных в статье III расчетов видно, что столкновение α -частицы со свободным атомом с массой 2 должно привести к появлению атома с пробегом в воздухе около 32 см и с начальной энергией около 0.89 от начальной энергии Н-атома, образующегося в тех же условиях. Отклонение пучка таких лучей в магнитном поле должно быть около 0.6 отклонения, наблюдаемого у соответствующего Н-атома.

Обсуждение результатов

На основе полученных результатов трудно удержаться от заключения, что длиннопробежные атомы, возникающие при столкновениях α -частиц с азотом, это не атомы азота, а, по-видимому, атомы водорода или атомы с массой 2. Если это действительно так, то мы должны сделать вывод, что атом азота распадается под действием громадных сил, раз-

³Э. Резерфорд, "Избранные научные труды" стр. 268.

вивающихся при близком столкновении с α -частицей, и что освобождающийся атом водорода образует составную часть ядра азота. В статье III мы уже обращали внимание на весьма удивительный факт, что пробег атомов азота в воздухе примерно такой же, как и у атомов кислорода, тогда как следовало ожидать разницу около 19%. Если при столкновениях, которые приводят к возникновению быстрых атомов азота, в то же время отщепляется водород, такая разница может быть отнесена за счет распределения энергии между двумя системами.

Интересно отметить, что, в то время как большинство легких атомов, как это хорошо известно, имеют атомные веса, выражаемые формулой $4n$ или $4n + 3$, где n – целое число, атом азота – это единственный атом, атомный вес которого выражается формулой $4n + 2$. На основе радиоактивных данных можно предположить, что ядро азота состоит из трех ядер гелия, масса каждого из которых равна 4, и еще двух ядер водорода или одного с массой 2. Если бы Н-ядра были спутниками главной системы с массой 12, то число близких столкновений с такими связанными Н-ядрами оказалось бы меньше, чем со свободными, так как α -частица при столкновении попадает в комбинированное поле Н-ядра и центральной массы. При таких условиях следует ожидать, что α -частица может только случайно приблизиться к Н-ядру настолько близко, чтобы сообщить ему максимальную скорость, хотя во многих случаях она может придать ему энергию, достаточную для разрыва его связи с центральной массой. Такая точка зрения могла бы объяснить, почему число быстрых атомов водорода из азота меньше соответствующего их числа в свободном водороде, а также меньше числа быстрых атомов азота. Основные результаты указывают, что освобождающиеся Н-ядра находятся от центра основной массы на расстоянии, равном примерно двум диаметрам электрона ($7 \cdot 10^{-13}$ см). Без знания законов сил на столь малых расстояниях трудно оценить энергию, необходимую для освобождения Н-ядра, или рассчитать максимальную скорость, которая может быть сообщена высвобождающемуся Н-атому. Нельзя ожидать а priori, что скорость или пробег высвобождающегося из атома азота Н-атома будут теми же, что и у Н-атома, образующегося при столкновении в свободном водороде.

Если принять во внимание громадную энергию движения α -частицы, испускаемой радием С, то близкое столкновение такой α -частицы с легким атомом представляется наиболее подходящим средством разрушения ядра. Возникающие в ядре при столь близких столкновениях силы, по-видимому, наибольшие из всех, которые могут быть получены в настоящее время доступными способами. Если учесть огромные развиваю-

щиеся здесь силы, то не столь удивительно, что распадается атом азота, сколько то, что сама α -частица избегает разрушения на свои компоненты. В целом результаты указывают, что если экспериментально станет возможным получать α -частицы или подобные им снаряды еще большей энергии, то мы могли бы, вероятно, разрушить ядерные структуры многих легких атомов.

Я хочу выразить благодарность Вильяму Кэю за неоценимую помощь при счете сцинтилляций.

Манчестерский университет, апрель 1919 г.