

электрона, то

$$1 \text{ рентген} = \frac{34}{4,8 \cdot 10^{-10}} \approx 71\,000 \text{ Мэв/см}^2 = 0,113 \text{ эрг/см}^2.$$

Для оценки биологического действия облучения важна, однако, плотность ионизации в тканях организма, а не в воздухе. Считают, что ионизация в 1 г ткани приблизительно такая же, как в 1 г воздуха. Поскольку 1 рентген = 0,113 эрг/см², а 1 г воздуха при нормальных условиях занимает объем $\frac{10^3}{1,29} \text{ см}^3$, то

$$1 \text{ рентген}^1) \approx 92 \text{ эрг/г (ткани);}$$

$$\text{число пар ионов в 1 г ткани} \approx 1,7 \cdot 10^{12}.$$

Мощность излучения, поглощаемую 1 г ткани организма, характеризуют дозой, полученной в единицу времени (числом рентген в час, сутки, неделю).

Наибольшее действие γ -лучи оказывают на лимфатические ткани и клетки костного мозга. Большие дозы облучения (порядка 100 рентген) приводят к патологическому уменьшению в крови числа эритроцитов и лимфоцитов.

Облучение всего человеческого тела дозой в 200—800 рентген (полученных в течение нескольких часов) вызывает тяжелую «лучевую болезнь», которая часто имеет смертельный исход.

Допустимая доза общего облучения тела (при условии длительного отдыха тканей после облучения) составляет 20—30 рентген за сутки. При облучении небольших участков тела многократно увеличенные дозы в большинстве случаев не представляют опасности. Для лечения злокачественных опухолей применяют узко локализованное облучение с дозами 3000—7000 рентген.

§ 90. Искусственное расщепление ядер. Открытие нейтрона

До начала 30-х годов были известны только два рода элементарных частиц: электроны и протоны. За последние десятилетия наши знания об элементарных частицах обогатились открытием нейтронов, позитронов, антипротонов, антинейтронов, мезонов, гиперонов, а также обнаружением процессов взаимопревращений ряда частиц друг в друга и взаимопревращения жестких γ -фотонов и электронно-позитронных пар. Все эти открытия были сделаны при изучении соударений частиц и при исследовании космических лучей. Методы и результаты этих исследований изложены в последующих главах; здесь мы коснемся их только в той мере, в какой это необходимо для пояснения фактов, доказавших существование нейтронов и позитронов.

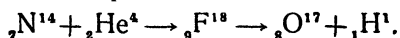
¹⁾ Плотность облучения в 100 эрг/г наряду с рентгеном применяют в качестве единицы дозы (ее называют *рад*).

Классические опыты Резерфорда (§ 55) уже в 1919 г. показали, что можно искусственно разрушать ядра атомов и осуществлять таким образом древнюю мечту алхимиков о превращении элементов.

Резерфорд, подвергая ядра атомов различных веществ бомбардировке α -частицами, установил, что некоторые α -частицы *выбивают из ядер протоны*. О происходящих здесь процессах судят по фотографиям траекторий α -частиц и по характеру сцинтилляций, наблюдаемых за пределами пробега α -частиц (пробег выбиваемых из ядер протонов значительно превышает пробег α -частиц).

В одной из своих статей Резерфорд следующим образом рассказывает о результатах своих опытов, в которых впервые были осуществлены *ядерные реакции*.

«При лобовом соударении с ядром атома азота α -частица проникает в ядро азота, и *на одно мгновение образуется ядро фтора* с массой 18 и зарядом 9. Это ядро в естественной обстановке в природе не существует, является *чрезвычайно неустойчивым* и сразу же распадается, выбрасывая протон и превращаясь в устойчивое ядро кислорода с массой 17. Фазы процесса показаны ниже в виде соотношения, аналогичного химическому уравнению. Два числа у каждого символа обозначают: верхнее—массу, нижнее—заряд ядра данного элемента. Как видно из уравнения, общий заряд ядер при превращении сохраняется так же, как и их масса, если только учесть пропорциональность массы и энергии (с этой целью можно в правую часть уравнения ввести массу, пропорциональную сумме кинетических энергий протона и кислородного ядра, за вычетом первоначальной энергии α -частицы):



Превращение происходит в ничтожных масштабах, ибо всего лишь одна α -частица из 50 тысяч приближается к ядру достаточно близко, чтобы быть им захваченной.

Превращение аналогичного типа происходит с целым рядом легких элементов при бомбардировке их α -частицами, причем во всех случаях освобождается быстрый протон... Оказалось, что *испускаемые протоны состоят из двух или большего числа групп, каждая из которых обладает определенной скоростью*». Последнее обстоятельство доказывает наличие в ядре определенных квантовых уровней энергии.

Ярче всего явление, открытое Резерфордом, наблюдается у алюминия, так как в этом случае пробег выбитых из ядер протонов достигает 90 см.

Вплоть до очень малых расстояний между ядром и налетающей α -частицей действуют кулоновские силы отталкивания, препятствующие проникновению α -частицы в ядро; только с того момента, *когда расстояние α -частицы от центра ядра становится меньше, чем*

(примерно) $4 \cdot 10^{-13}$ см, — так приблизиться к ядру удастся очень немногим α -частицам — отталкивание заменяется силой ядерного притяжения.

Вследствие малой вероятности проникновения α -частицы в ядро, а следовательно, и ядерной реакции экспериментаторы (Резерфорд, Чадвик и др.), применявшие визуальную регистрацию сцинтилляций выбитых протонов, были принуждены проводить наблюдения с поистине героической настойчивостью. Блеккет и

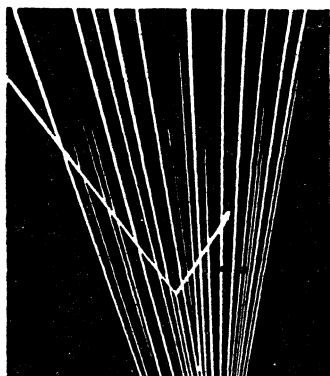


Рис. 349. Распад ядра атома азота.

Гаркинсон первые создали установку с камерой Вильсона, в которой фотографирование следов α -частиц производилось автоматически через короткие промежутки времени. Этими исследователями было получено 23 000 фотографий, на которых запечатлено около 400 000 следов α -частиц в азоте. Среди них оказалось только восемь траекторий, заканчивающихся теми особым видом вилок, которые свидетельствуют о происшедшем разрушении ядра азота, вызванного попавшей в него α -частицей. Эти вилки двойные: одна их ветвь, тонкая и длинная, представляет собой след выбитого из ядра протона; другая ветвь, более короткая и относительно толстая, — след ядра возникшего атома

кислорода (рис. 349). Действительно, третья ветви, которая представляла бы собой след α -частицы после ее столкновения с ядром, ни на одной из этих фотографий нет; это означает, что α -частица, проникая в ядро, перестает существовать, а вместо нее вылетает протон.

В конце 1930 г. Боте и Беккер обнаружили весьма проникающие лучи, испускаемые некоторыми элементами (фтором, алюминием и др.) при бомбардировке их α -частицами, и особенно интенсивные при бомбардировке бериллия, вследствие чего эти лучи, проникающая способность которых значительно превышает проникающую способность γ -лучей, были названы вначале *бериллиевыми лучами*. Оказалось, что бериллиевые лучи способны вырывать из ядер протоны, имеющие скорости вплоть до 0,1 скорости света.

В 1932 г. Чадвик доказал, что бериллиевые лучи представляют собой поток частиц, лишенных заряда и имеющих массу, близкую к массе протона; эти частицы были названы *нейтронами*. Впоследствии было установлено, что масса нейтрона

$$m_{\text{нейтр}} = 1,008985 \text{ яд. ед. массы,}$$

тогда как

$$m_{\text{прот}} = 1,007596 \text{ яд. ед. массы.}$$

Об исключительно большой проникающей способности нейтронов Чадвик пишет: «Проходя сквозь вещество, нейтроны теряют энергию только вследствие столкновений с атомными ядрами, а не с электронами. Такое поведение сильно отличается от поведения заряженной частицы... Протон, летящий со скоростью 0,1 с, имеет пробег в воздухе около 30 см, в то время как нейтрон при той же скорости испытывает в среднем только одно столкновение с ядром азота на протяжении 300—400 м. При близкой встрече с ядром нейтрон отклоняется от своего пути, а отброшенное ядро приобретает скорость, достаточную, чтобы вызвать ионизацию. Вследствие этого ядра, подвергнувшиеся столкновениям с нейтронами, могут быть обнаружены по следам, появляющимся в камере Вильсона».

К концу 30-х годов было получено множество фотографий, иллюстрирующих процесс соударения нейтрона с ядрами различных элементов. По величине отброса атомов, претерпевших соударение с нейтроном, а также по уравнениям ядерных реакций и была вычислена масса нейтрона.

§ 91. Открытие позитрона. Взаимопреращение фотонов определенной энергии и электронно-позитронных пар

Позитроны были открыты при исследовании *космических лучей*. Космические лучи впервые были обнаружены в 1910 г. Гокелем, позже Гессом и с полной определенностью в 1921 г. Миллиkenом.

Уже давно было известно, что всякий электромметр, даже изолированный весьма тщательно, не может удерживать сообщенный ему заряд в течение длительного времени. Вначале считали, что спадание листочков электромметра вызывается ионизацией воздуха, возникающей из-за присутствия радиоактивных элементов в земной коре, облучения рентгеновыми лучами и пр. Однако ионизирующее действие этих источников может быть устранено применением соответствующей защиты, например толстой (в несколько сантиметров) свинцовой брони, через которую не проникает ни рентгеново, ни радиоактивное излучение.

Опыты, сделанные с чувствительными электромметрами, показали, что даже весьма толстая броня, окружающая электромметр, полностью не предохраняет его от разряда. Экспериментаторы опускали электромметры в глубоководные озера (приборы автоматически регистрировали показание электромметра, находящегося на большой глубине под водой). Оказалось, что скорость разряда убывает с увеличением глубины очень медленно. Даже на глубине 200 м спадение заряда было еще заметно (для получения такого же защитного действия эквивалентная свинцовая броня должна была