
ГЛАВА 11

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Едва ли что-либо другое так способствовало изменению представления об атоме, о котором говорилось в главе 10, как радиоактивность. Открыл ее в феврале 1896 г. Анри Беккерель (1852—1908) в связи с опубликованным в начале января 1896 г. открытием рентгеновских лучей (гл. 4).

Эти лучи исходили, при тогдашнем получении их в стеклянных трубках, из флюоресцирующих частей стенки сосуда; возникла мысль, что их причиной могут быть флюоресценция или фосфоресценция. Поэтому Беккерель испытывал ряд фосфоресцирующих тел под влиянием проникающего излучения, способного действовать на фотографическую пластинку. Он не имел никакого успеха, пока ему не попалась соль урана. Но тогда он должен был, конечно, вскоре признать, что найденное излучение не стоит ни в какой причинной связи с фосфоресценцией. То, что он наблюдал, как мы теперь знаем, было действием быстрых электронов. Беккерель обнаружил затем ионизацию воздуха лучами, исходившими из урановых соединений. Все это открыло путь для исследования огромной новой области. Многие сейчас же ринулись в нее, так как благодаря открытию Рентгена созрело время оценить по достоинству значение таких находок.

Среди них были также супруги Пьер Кюри (1859—1906) и Мария Кюри (1867—1934). Они подвергли систематическому исследованию все известные химические элементы в отношении радиоактивности (термин

«радиоактивность» впервые был введен ими). Они нашли ее также у тория (впрочем одновременно с Герардом Шмидтом), но в миллионы раз сильнее она оказалась у двух новых элементов: полония и радия. Аналитико-химическая методика, примененная супругами Кюри при исследованиях элементов на радиоактивность, привела в течение двух следующих десятилетий в руках многочисленных исследователей к открытию других «естественных» радиоактивных элементов. Особенно пополнил их список Отто Ган открытием радиотория (1905), мезотория (1906) и совместно с Лизой Мейтнер, протактиния (1918). Несколько отличались своим поведением радиоактивные газы, эманации, из которых первую — эманацию тория — открыл в 1900 г. Резерфорд.

Уже в 1897 г. этот великий исследователь различал по проникающей способности два вида радиоактивного излучения: легче поглощаемые α -лучи и более проникающие β -лучи. В то время как последние благодаря их легкой отклоняемости в электрическом и магнитном полях были вскоре отождествлены с электронами, над природой первых Резерфорду пришлось потрудиться более долгое время. Но в 1903 г. он нашел, наконец, посредством опытов с отклонением этих лучей, что отношение их заряда к массе по знаку и величине соответствует дважды ионизованным атомам гелия. Вильям Рамзай (1852—1916) и Фр. Содди установили в 1904 г. поразительное появление гелия в соединениях радия; единственным объяснением могло быть возникновение гелия из радия. Резерфорд и Т. Ройдс подтвердили в 1909 г. идентичность α -частиц и ионов гелия, так как они обнаружили в собранных нейтрализованных α -частицах характерную желтую линию спектра гелия. Так было доказано возникновение элемента гелия из других элементов. В то же самое время постепенно установили, что за небольшими исключениями радиоактивное тело посылает либо α -лучи, либо β -лучи;

обнаруженное в 1900 г. Паулем Виллардом неотклоняемое γ -излучение может быть связано с обоими.

Но открытие Резерфорда не было первым указанием на радиоактивное превращение атомов. Уже в 1903 г. П. Кюри и А. Лабурд произвели сенсацию, обнаружив, что кусок очищенной соли радия всегда имеет более высокую температуру, чем температура окружающей среды. Причиной этого явления считали постоянное порождение теплоты, равное в течение часа 100 малым калориям на 1 грамм радия. Этот удивительный факт позднее (в 1908 г.) подтвердили Резерфорд и Гейгер. Подсчитывая число α -частиц, испускаемых в 1 секунду, и измеряя энергию отдельной частицы методом магнитного отклонения, они получили то же количество энергии. Тотчас же возник вопрос: откуда берется эта постоянно освобождающаяся энергия? Уже в 1903 г. Резерфорд и Содди высказали взгляд, что всякий радиоактивный процесс есть превращение элементов. Потом стало ясно, что выделяющаяся при отдельном элементарном процессе энергия равна разности энергий нового и старого атомов. С тех пор говорят о радиоактивном распаде. Постепенно все «естественно» радиоактивные элементы распределили в три ряда распада, родоначальниками которых являются уран, протактиний и торий. Радий и полоний стоят в ряду урана. Упорядочение этих элементов в периодической системе привело в 1911—1913 гг. А. Ресселя, К. Фаянса и Фр. Содди к законам смещения, соответственно которым испускание одной α -частицы снижает порядковый номер на два, одной β -частицы — увеличивает его на единицу. Это находится в полном согласии с фактом тождественности порядкового номера и заряда ядра, окончательно установленным в 1913 г. посредством рентгеноскопии. Так пало старое воззрение о неразрушимости и несоздаваемости атомов.

γ -излучение непосредственно не связано с превращением элементов. Оно возникает только тогда, когда образуется возбужденное, в смысле квантовой теории, ядро, которое переходит потом, после испускания

γ -кванта, в первоначальное состояние. В 1926 г. Лиза Мейтнер экспериментально доказала, что γ -излучение обнаруживается только после радиоактивного превращения.

Очень скоро заметили, что уменьшение радиоактивности препарата со временем происходит у различных тел с различной скоростью. Закон радиоактивного распада открыли в 1899 г. Юлиус Эльстер (1854—1920) и Ганс Фридрих Гейтель (1855—1923): число испускаемых в секунду частиц уменьшается со временем экспоненциально. Постоянной этого закона является характерное для каждого элемента время полураспада, т. е. время, в течение которого это число уменьшается наполовину. Оно колеблется в очень широких границах — от $1,6 \cdot 10^{10}$ лет у тория до 10^{-4} сек. у радия и даже до еще меньших значений. Согласно установленному в 1912 г. Гансом Гейгером (1881—1945) и Дж. М. Нэттолом правилу, это число связано в случае α -лучей с энергией и вследствие этого также с пробегом испускаемых частиц, так что для каждого ряда радиоактивного распада энергия тем больше, чем меньше время полураспада. Объяснение этого правила на основе волновой механики дал Г. Гамов в 1928 г. (гл. 14).

Большим достижением было данное в 1905 г. Э. Швейдлером объяснение эмпирического закона распада: вероятность распада для каждого атома независима от времени и тем больше, чем меньше время распада. Физика столкнулась здесь впервые с процессом, который не поддается причинному объяснению. До сегодняшнего дня мы не знаем, почему данный радиоактивный атом распадается именно в этот, а не в другой момент времени. Невозможность изменить распад какими-либо физическими влияниями как бы набрасывает завесу на ядро. Правильность вероятностной теории распада подтвердили в 1906—1908 гг. наблюдения Кольрауша, Эдгара Мейера и Э. Регенера, а также Г. Гейгера над требуемыми теорией флюктуациями числа частиц, испускаемых в единицу времени.

Значение теории Швейдлера ясно проявилось позднее, когда физика изучила многие другие атомные явления, для описания которых очень хорошо подходит понятие вероятности при невозможности причинно определить момент времени их наступления. Ко всем таким явлениям применимы вероятностные рассуждения Швейдлера.

Открытие радиоактивного распада атомов оживило алхимическую идею превращения одного элемента в другой. До 1930 г. в течение десятилетий проводились многочисленные опыты этого рода, особенно посредством вольтовой дуги. Но эти мнимые превращения не устояли перед критикой. Превращение достигается, как мы теперь знаем, только методом концентрации необходимого количества энергии на отдельном атоме при бомбардировке его другими атомами или γ -квантами. Но и в этих экспериментах вначале (1907) были ошибочные результаты. Первое действительное искусственное превращение атомов удалось в 1919 г. Резерфорду. Он облучал азот α -частицами и получил при этом протоны с большой длиной пробега. Фотографии этого явления в камере Вильсона, сделанные в 1925 г. П. М. С. Блэккетом, ясно показали, наряду с длинным следом протона, короткий след возникшего кроме него изотопа кислорода с атомным весом 17. В период от 1921 до 1924 г. Резерфорд и Чадвик смогли доказать существование этой реакции — поглощения α -частицы и испускания протона — также у всех элементов от бора (порядковое число 5) до калия (порядковое число 19), за исключением углерода и кислорода. Кроме протона в этих реакциях постоянно возникает элемент, следующий по порядку в периодической системе.

Важным годом для развития этой области был 1930 г. Прежде всего Боте и Беккер наблюдали проникающее γ -излучение при обстреле легких элементов, особенно бериллия, α -частицами. Как показал в 1935 г. К. Шнецлер, атомное ядро при столкновении

с α -частицами приходит в возбужденное состояние, а после испускания γ -кванта возвращается в первоначальное состояние. Это явление происходит только при условии, что нижний предел энергии α -частицы равен $2,3 \cdot 10^6$ электрон-вольт. И. Кюри и Ф. Жолио подтвердили основные наблюдения Боте и Беккера, но пришли при помощи измененной аппаратуры к другим результатам относительно поглощения возникающего излучения. Они показали с помощью камеры Вильсона, что это излучение приводит более легкие атомы в такое быстрое движение, которое невозможно, согласно теории столкновений, приписать действию γ -лучей. Отсюда потом Чадвик заключил, что здесь возникает, кроме γ -лучей, корпускула, которая имеет пулевой заряд и почти ту же самую массу, что и протон, т. е. нейтрон, существование которого давно предполагалось Резерфордом. Действительно, как доказал позднее Шнецлер, при возбуждении ядер бериллия может происходить улавливание ими частицы с последующим выделением нейтрона при условии, что энергия α -частицы равна по крайней мере $4,76 \cdot 10^6$ электрон-вольт. Остающееся ядро является ядром углерода.

Это представление впоследствии полностью подтвердилось; было открыто множество ядерных реакций, в которых захват α -частицы или дейтерия вел к испусканию нейтрона. Особенно обильный источник нейтронов был получен при столкновении быстрых дейтронов друг с другом М. Л. Е. Олифантом, П. Гартеком и Резерфордом в 1934 г., что дало возможность проводить многочисленные опыты с нейтронами.

В 1934 г. И. Кюри и Ф. Жолио натолкнулись в этих опытах на ядерные реакции, при которых вновь возникшее ядро оказывается нестабильным; при отщеплении одного позитрона оно подвергается дальнейшему радиоактивному распаду. В случае этих «искусственно» радиоактивных атомов сохраняется также закон распада Швейдлера. Позднее стали известны случаи, в которых вместо позитрона появляется электрон, а также, при определенных обстоятельствах, наряду с ним

и γ -излучение. С 1934 г. Э. Ферми стал применять нейтроны для бомбардировки атомов. С тех пор количество устойчивых или радиоактивных ядер, полученных путем искусственного превращения, возросло до многих сотен, и почти все места периодической системы заполнились изотопами (гл. 10).

Атомы, возникающие во всех этих ядерных реакциях, занимали в периодической системе то же место, что и бомбардированный атом, или соседние места. Поэтому произвело большую сенсацию доказательство Ганом и Штрассманом в 1938 г. того, что при обстреле нейтронами последнего элемента периодической системы — урана — происходит распад на элементы, которые стоят в средних частях периодической системы. Здесь выступают различные виды распада. Возникающие атомы в большинстве своем неустойчивы и тотчас же распадаются дальше; у некоторых время полураспада измеряется секундами, так что Ган должен был применить аналитический метод Кюри для продления такого быстрого процесса. Важно отметить, что стоящие перед ураном элементы, протактиний и торий, также обнаруживают подобный распад под действием нейтронов, хотя для того, чтобы распад начался, требуется более высокая энергия нейтронов, чем в случае урана. Наряду с этим в 1940 г. Г. Н. Флеров и К. А. Петржак обнаружили спонтанное расщепление уранового ядра с самым большим из известных до тех пор периодом полураспада: около $2 \cdot 10^{15}$ лет; этот факт становится явным благодаря освобождающимся при этом нейтронам. Так явилась возможность понять, почему «естественная» периодическая система заканчивается тремя названными элементами. Теперь стали известны трансурановые элементы, но они настолько неустойчивы, что быстро распадаются.

Расщепление урана посредством нейтронов дает теперь возможность того использования атомной энергии, которое уже многим мерещилось, как «мечта Жюль Верна», но которое еще Резерфорд объявил иллюзией.

При расщеплении нейтронами изотопа урана с атомным весом 235 освобождаются в одном элементарном акте при применении одного нейтрона в среднем два нейтрона, как это показали еще в 1939 г. Ф. Жолио, Л. Коварский и Г. Халбан. Поскольку распад этого изотопа урана может быть произведен посредством нейтронов с очень малой энергией, при известных условиях становится возможной цепная реакция, которая ведет к дальнейшему расщеплению ядер, так что процесс протекает сам собой во все возрастающем темпе. Вторая мировая война, разразившаяся через 8 месяцев после опубликования открытия Гана, привела к тому, что первым применением этого открытия было создание нового страшного оружия. Большое деловое сотрудничество американских и английских ученых, опирающееся на огромные государственные средства, создало в течение этой войны атомную бомбу, которая взорвалась 16 июля 1945 г. в Новой Мексике, 6 августа над Хиросимой и вскоре после этого над Нагасаки. Подробное изложение этого развития выходит за рамки этой книги *). С точки зрения физики здесь занимают величайшим экспериментом, который когда-либо ставили люди. Это — блестящее подтверждение смелого научного предвидения, основанного на убеждении в объективной истинности физики.

Как глубоко эти результаты внутренне и внешне преобразят человечество, пока еще трудно оценить. Возможно, что позднее написанная история будет рассматривать вышеупомянутые открытия как важнейшие во всей исторической эпохе, поскольку замедленное течение цепной реакции, приводящей ко взрыву бомбы, дает возможность использования энергии атомного ядра для мирных, созидательных целей.

*) См. H. D. Smyth, Atomic energy for military purposes, Princeton University Press, 1945; русский перевод: Смит, Атомная энергия для военных целей, М., 1948.

