

Открытие искусственной радиоактивности *

Пьер Савель

Лаборатория ядерной физики, «Коллеж де Франс», Париж

30 лет тому назад, 15 января 1934 г., Ирен и Фредерик Жолио-Кюри представили в Парижскую Академию наук заметку под названием «Новый тип радиоактивности». Из этой заметки следовало, что существует возможность искусственно создавать новые радиоактивные элементы. Это сенсационное открытие принято называть искусственной радиоактивностью.

В чем состоит это открытие, как оно могло быть осуществлено? Мы постараемся объяснить это, вспоминая те отдельные этапы, которые позволили ученым нескольких стран постепенно подойти к этому великому результату, отмеченному в 1935 г. Нобелевской премией по химии.

Изучение строения материи, которое от античных времен до наших дней остается самым увлекательным вопросом науки, к концу XIX века сделало шаг вперед вследствие открытия радиоактивности Анри Беккерелем и радиоактивных элементов — Пьером и Марией Кюри.

До этого времени считалось, что атомы, образующие материю, неделимы и неизменны. Оказалось, что эта точка зрения ошибочна. Атомы, которые казались устойчивыми, превращались с течением времени в другие атомы с иными химическими свойствами. При этом наблюдалось радиоактивное излучение, приводившее к почернению фотопластинок.

Так, например, радий, который является металлом с ярко выраженными химическими и физическими свойствами, спонтанно превращается в газ (радон), такой же, какой в небольших количествах содержится в воздухе. Это превращение сопровождается эмиссией ядер атомов гелия (α -лучи), движущихся с большой скоростью. Происходящую реакцию, подтвержденную

* Статья написана по просьбе редакции профессором Пьером Савелем, одним из соратников Ирен и Фредерика Жолио-Кюри; публикация ее приурочена к проведению в Париже 2—8 июля 1964 г. Международного конгресса по ядерной физике, посвященного 30-летию открытия искусственной радиоактивности.

химическим и спектроскопическим анализами, можно записать в виде:



Для других элементов превращение сопровождается излучением очень быстрых отрицательных электронов (β -лучи). Эти два вида превращений могут также сопровождаться эмиссией проникающего излучения, имеющего ту же природу, что и свет (γ -лучи).

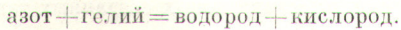
Радиоактивный распад подчиняется определенному закону, причем ход процесса мы даже сейчас не можем изменить. Мы констатируем, что некоторый радиоактивный элемент превращается в другой, но все попытки активизировать, задержать или остановить это превращение оказались совершенно бесплодными.

Обнаружение радиоактивных превращений позволило вернуться к идее преобразования веществ, к этому времени более или менее заброшенной. Действительно, поскольку преобразование естественного радиоактивного элемента является следствием спонтанной эмиссии частицы с большой энергией, такая частица должна иметь возможность, столкнувшись с ядром атома, вызвать катастрофу, преобразовать его в ядро другого атома.

Уже в 1914 г. Марсден показал, что α -лучи, проходя через слой вещества, содержащего водород (парафин-целлофан), могут выбивать ядра водорода. Затем в 1919 г. Эрнест Резерфорд обнаружил первое искусственное превращение.

Бомбардируя очень чистый азот α -частицами, испускаемыми естественным радиоактивным элементом, Резерфорд обнаружил излучение, которое он идентифицировал как поток протонов или ядер атомов водорода. Откуда берется этот водород? Альфа-частица является ядром атома гелия, а мишень — азот. Из чисто физических соображений оказалось возможным заключить, что при ударе α -частицы о мишень она захватывается ядром азота и при этом происходит выбивание ядра атома водорода. Оставшееся ядро оказывается ядром атома кислорода. Таким образом, ядро, полу-

чившееся в результате реакции, отличается от исходного ядра. Обнаружено превращение, которое можно записать в виде:



Это открытие, явившееся важным этапом на пути к открытию, которому посвящена настоящая статья, получило большой отклик в кругах физиков. Для широкой публики этот успех не был очень заметен, так как изготовление кислорода из азота не представляло большого интереса и было очень далеко от знаменитой мечты алхимиков о превращении свинца в золото. Кроме того, количественный выход в этой реакции очень мал по следующим двум причинам. Во-первых, снаряд (ядро атома гелия) и мишень (ядро атома азота) имеют очень малые размеры, а расстояние между мишенями очень велико и поэтому мало шансов, чтобы снаряд столкнулся с мишенями. Во-вторых, рассматриваемые ядра, мишени и снаряды, заряжены положительно. Эти два заряда должны отталкиваться и тем самым уменьшать шансы столкновения. Все происходит так, как будто мишень защищена барьером, который называют потенциальным энергетическим барьером, и этот барьер тем выше, чем тяжелее ядро мишени. Только те α -частицы, которые могут преодолеть этот барьер, получают возможность вызвать реакцию.

Пользуясь этим методом, физики смогли вызвать превращения почти всех легких элементов вплоть до натрия. Потенциальный барьер более тяжелых ядер оказался непреодолимым для α -частиц естественных радиоактивных элементов. После открытия радиоактивности и открытия первого искусственного превращения в 1930 г. был достигнут третий этап, который еще более приближает нас к нашей цели.

В том году два немецких ученых Боте и Беккер обнаружили существование сильно проникающего излучения, которое возникало при бомбардировке легких элементов типа бериллия и бора α -частицами. Это излучение, проникавшее без заметного ослабления сквозь несколько сантиметров свинца, вело себя не так, как α -лучи, испускаемые радиоактивными элементами, и его происхождение оставалось непонятным.

Воспользовавшись очень интенсивным полониевым источником α -частиц, Ирен и Фредерик Жолио-Кюри взялись к концу 1931 г. за исследование нового типа излучения. Для этого они применили ионизационную камеру, связанную с очень чувствительным электрометром. Для изучения сильно проникающего излучения логично было бы применить ионизационную камеру, полностью закрытую толстыми стенками, сконструировать которую было бы весьма легко. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри, наоборот, выбрали камеру, закрытую очень тонким слоем алюминия толщиной 0,005 мм. Эта маленькая деталь, которая кажется

несущественной, является главной причиной открытия нейтрона.

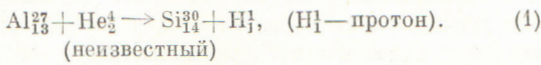
Действительно, самые первые опыты, состоявшие в облучении бериллия α -частицами, обнаружили существование проникающего излучения, открытого Боте и Беккером. Чтобы исследовать это излучение, Ирен и Фредерик Жолио-Кюри помещали между источником и ионизационной камерой различные экраны. Когда они установили целлофановый экран, то обнаружили, что ионизационный ток увеличивался, а не уменьшался, как это было с другими экранами. Из этого они заключили, что проникающее излучение способно при прохождении через вещество, содержащее водород, типа целлофана или парафина, выбивать ядра водорода. Английскому ученому Чадвику принадлежит заслуга интерпретации этого нового явления как появления новой частицы — нейтрона.

Для истории науки полезно вспомнить фразы, написанные Фредериком Жолио по случаю этого последнего исследования: «Может казаться парадоксальным для изучения обнаруженного Боте и Беккером излучения, способного пройти через толщину свинца в 10 см почти без ослабления, закрыть ионизационную камеру тоненьким листиком алюминия в несколько миллиграммов на квадратный сантиметр. Это было сделано потому, что мы не знали, каковы вторичные эффекты, возникающие при таком излучении, и мы думали, что некоторые из них могут вызвать излучение, очень слабо проникающее. При наличии значительно более толстой стенки эффект выбивания ядер, вероятнее всего, не был бы нами замечен. Если я особо подчеркиваю эти факты, то потому, что я всегда придавал очень большое значение тому, как проводится опыт. Конечно, нужно исходить из некоторых заранее продуманных идей, но каждый раз, когда это только возможно, опыт должен быть проведен так, чтобы было оставлено как можно больше путей для открытия непредвиденного». Кому дано многое, может без стеснения настаивать на малом.

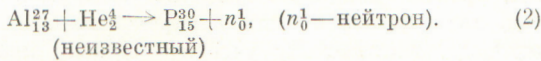
После открытия нейтрона в области ядерной физики были сделаны большие успехи, и в этом большая заслуга супругов Жолио. Они показали прежде всего, что свинец под действием проникающего излучения Боте и Беккера становится источником положительных электронов (эти положительные электроны были только что открыты в космических лучах) и что эта эмиссия вызывалась γ -лучами, а не нейтронами. Они показали затем, что γ -квант большой энергии может превратиться в два электрона с противоположными знаками. Это явление «материализации» или «образования пар» за 30 лет до своего открытия было предсказано Эйнштейном. Наконец, они показали, что некоторые легкие элементы при бомбардировке α -частицами, кроме уже обнаруженных нейтронов, излучали положительные электроны.

Так, например, листок алюминия, подвергнутый бомбардировке α -частицами, оказывался источником частиц трех типов: протонов, нейтронов и положительных электронов.

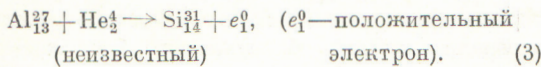
Превращение алюминия, сопровождающееся испусканием протона, приводит к образованию устойчивого атома кремния:



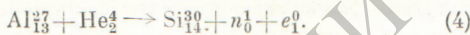
При испускании нейтрона образуется не встречающийся в природе атом фосфора:



Наконец, в случае испускания положительного электрона получается не встречающийся в природе атом кремния:



В то время было очень трудно строго интерпретировать результаты, и в попытке решить эту проблему Фредерик и Ирен Жюлио высказали гипотезу, что превращение алюминия могло происходить иногда с испусканием протона (реакция 1), иногда с одновременным испусканием нейтрона и положительного электрона. Тогда в обоих случаях должен был образоваться один и тот же известный устойчивый атом Si_{14}^{30} . Согласно этой гипотезе, реакции 2 и 3 могли быть записаны в виде одной реакции:



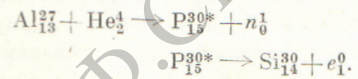
Чтобы оправдать эту интерпретацию, надо было доказать, что испускание нейтронов и положительных электронов происходило всегда одновременно, независимо от энергии бомбардирующих α -частиц. Между тем, уменьшая постепенно энергию α -частиц, они обнаружили, что при некоторой минимальной скорости α -частиц испускание нейтронов прекращалось, в то время как испускание положительных электронов продолжалось еще в течение некоторого времени даже после снятия источника α -частиц. Гипотеза оказалась, таким образом, *неправильной, но великое открытие приближалось.*

Они повторили опыт, упростив его. Подвергли листок алюминия действию α -частиц в течение нескольких минут, затем перенесли облученный таким образом листок к счетчику Гейгера — Мюллера. Счетчик регистрировал импульсы, число которых уменьшалось со временем согласно тому же закону, по которому происходит распад естественных радиоактивных элементов. Искусственная радиоактивность была создана, листок алюминия стал радиоактивным.

Заметка, помещенная в «Докладах Парижской Академии наук» 15 января 1934 г., замечательна по строгости и ясности высказанных утверждений. В дальнейшем периоды распада новых созданных таким образом радиоактивных элементов были несколько изменены, но объяснение обнаруженного явления оказалось совершенно точным.

В случае алюминия α -частица захватывается ядром атома алюминия, а затем в результате испускания нейтрона образуется ядро неизвестного атома фосфора; этот неизвестный фосфор оказывается радиоактивным и распадается, испуская положительный электрон с течением времени, и образует ядро известного атома кремния.

Реакция (4) получает следующий вид:



С 1919 г. в лабораториях могли производить превращения ядер, но хотя факт превращения считался доказанным физиками, все же оставалось некоторое сомнение, особенно у химиков, которые хотели бы иметь неоспоримое доказательство этого. Между тем перед открытием 1934 г. то незначительное количество превращений, которое можно было осуществить, приводило к образованию стабильных атомов в таких малых количествах, что никакой классический метод анализа не мог их обнаружить. С получением радиоактивных элементов положение полностью изменилось. Действительно, вследствие излучения, испускаемого этими новыми атомами, их оказывается легко обнаружить методом радиоактивного анализа, даже если число атомов очень мало.

5 февраля 1934 г. Ирен и Фредерик Жюлио опубликовали в «Докладах Парижской Академии наук» заметку «О химическом разделении новых радиоактивных элементов, излучающих положительные электроны». Они экспериментировали на боре и алюминии и в первый раз было дано химическое доказательство факта превращения.

Это открытие, которое можно рассматривать как одно из самых важных открытий века, нуждается в нескольких замечаниях, которые нам кажутся интересными для истории научных исследований.

Во-первых, аппаратура, использованная супругами Жюлио, была весьма примитивна. Счетчик Гейгера — Мюллера имел плато (т. е. рабочую область) очень ограниченное, всего в несколько вольт, в то время как уже через несколько лет счетчик, у которого плато было меньше 100 в, считался устаревшим. Усилитель, необходимый для преобразования электрического импульса, возникающего при прохождении электрона через счетчик, в сигнал, способный привести в движение механический счетчик, был изготовлен из

усилителя низкой частоты, в свое время сконструированного Фредериком Жолио-Кюри. Счетчик и усилитель питались батареями и аккумуляторами и с такой аппаратурой трудно было зарегистрировать более 100 *имп/мин*.

Фредерик Жолио любил напоминать молодым исследователям, что можно выполнить великолепную работу с аппаратурой, которая не дает гарантии хорошей работы. «Надо всегда, — говорил он, — постараться провести эксперимент, который кажется возможным, даже если аппаратура, которой мы располагаем, несовершенна. С другой стороны, никогда не надо слишком долго работать с такой аппаратурой, если встречаются трудности, вызываемые этим несовершенством. Пытаясь улучшить аппаратуру или отыскивая новый путь для наблюдений, можно всегда выиграть время».

Второе замечание, которое было сделано Фредериком Жолио, относится к большой роли богатств, скрытых в старых лабораториях с давними традициями. Далее он говорил: «Идеи, которые когда-то были высказаны нашими учителями, живыми или умершими, многократно повторявшиеся, потом забытые, проникают сознательно или бессознательно в мысли тех, кто посещает эти старые лаборатории, и время от времени дают плоды — это и есть открытие». Фредерик Жолио-Кюри находил, например, совершенно естественным и правильным, что нейтрон был обнаружен в старой лаборатории Кавендиша, где работал Чадвик. Это слово «нейтрон» было однажды произнесено в 1923 г. Резерфордом и, несмотря на истекшие годы, идея о его существовании не забылась полностью.

С другой стороны, Фредерик Жолио считал более вероятным, чтобы открытие искусственной радиоактивности было осуществлено в лаборатории Кюри в Радиовом институте: «Все там способствовало работам и интерпретации результатов: существование интенсивных полониевых источников, знание естественных радиоактивных элементов, открытых нашим великим учи-

телем». Третье замечание относится к формуле Фредерика Жолио-Кюри: «Открыть как можно более окон в неизвестное».

Опыт рассчитан, подготовлен и начат с определенной целью. Но осторожно, с заранее predeterminedными идеями. Сам Резерфорд говорил, что он мог в своем знаменитом эксперименте 1919 г. открыть искусственную радиоактивность, которую он искал в течение большей части своей деятельности, но он думал, как, кстати, думали все его коллеги, что настоящая радиоактивность должна сопровождаться испусканием тяжелых частиц типа α -частиц или протонов.

Если бы на месте его экрана из сернистого цинка и его микроскопа был установлен детектор электронов, то этого, может быть, было бы достаточно, чтобы на 15 лет раньше осуществить открытие, сделанное Ирен и Фредериком Жолио-Кюри.

Создание «атомной артиллерии» — ускорителей частиц различных типов, а также урановых реакторов — открыло в настоящее время почти неограниченные возможности получения искусственных радиоактивных элементов. В наши дни каждой клеточке таблицы Менделеева соответствуют, наряду с небольшим числом стабильных ядер (иногда одно), несколько радиоактивных ядер. Огромное количество сведений, получаемых в результате их экспериментального исследования, приводит к гигантскому прогрессу ядерной физики.

Применение радиоактивных элементов в медицине, биологии, химии, металлургии и т. д. позволило в большинстве случаев решить быстрым и изящным способом ряд проблем, считавшихся до сих пор неразрешимыми.

Наконец, и это не наименее важное следствие, именно исследование искусственных радиоактивных элементов, образующихся в уране под действием нейтронов, привело к открытию в 1939 г. явления распада урана и тем самым к освобождению ядерной энергии.

