

с тем чтобы определить, является ли 13-минутный элемент протактинием. Поскольку вновь обнаруженный продукт реакции не оказался ни протактинием, ни ураном, ни актинием, ни торием, они заключили, что вновь обнаруженный элемент является трансурановым 93-м элементом. Никакие другие возможности ими тогда не рассматривались. С открытием нейтрона и использованием искусственных источников радиации действительно наблюдалось огромное количество необычных реакций, однако продуктами этих реакций всегда являлись либо изотопы облучаемых веществ, либо элементы, отстоящие на одну или, в крайнем случае, на две позиции от облучаемых элементов. Возможность развала тяжелого ядра на легкие тогда просто не существовала.

Независимо от этих опытов, Кюри и Савич описали в 1937–38 годах так называемый 3,5-часовой изотоп, который возникал при облучении урана нейтронами. Его свойства напоминали пятьдесят седьмой элемент лантан. В то же время в экспериментах Гана и Штрассмана по облучению урана нейтронами был получен еще более странный результат: наряду с предполагаемыми трансурановыми элементами возникали, путем последовательного излучения  $\alpha$ -частиц, три искусственно  $\beta$ -активных изотопа радия с различными временами жизни, которые, в свою очередь, превращались в  $\beta$ -активные изотопы актиния. Вывод о том, что в эксперименте наблюдались именно изотопы радия, основывался на том, что, согласно законам химии, это могли быть только барий или радий, однако появление пятьдесят шестого элемента бария по существовавшему тогда представлениям считалось невозможным. Станным в этих опытах было то, что  $\alpha$ -распад не сопровождался появлением медленных нейтронов, однако сразу же появлялось много различных изотопов. Чтобы получить максимально обогащенный искусственным радием образец, экспериментаторы попытались выделить его, используя в качестве носителя хлорид бария, но все попытки завершились неудачей. В то же время контрольные опыты с действительно изотопами радия всегда оказывались успешными – первый осадок всегда был богаче радиоактивным элементом.

В этой драматической ситуации Ган и Штрассман предприняли контрольный «показательный» опыт. Они смешали чистый натуральный радий с искусственным радием и провели разделение изотопов. Оказалось, что естественный радий, как всегда, выделяется хорошо, а искусственный отделить от бария невозможно. Далее, при  $\beta$ -распаде радия образуется актиний, а при  $\beta$ -распаде бария – лантан. Смесь естественного и искусственного радия давала и тот, и другой элемент.

Ган вынужден был признать, что наблюдавшийся им искусственный радий был на самом деле барием. В первом сообщении от 6 января 1939 года об опытах, которые «противоречили всем явлениям, наблюдавшимся до сих пор в ядерной физике», Ган высказал предположение, что второй продукт распада должен иметь атомную массу порядка 100, так чтобы суммарная масса вновь образуемых элементов совпала с массой урана. Во втором сообщении от 10 февраля 1939 года Ган и Штрассман описали расщепление тория, продуктами распада которого были инертный газ и щелочной металл.

Сразу вслед за этими сообщениями появилась статья Лизе Мейтнер и ее племянника Отто Фриша, в которой расщеплению ядра урана на два более легких ядра было дано теоретическое обоснование. Они же показали, что деление ядер урана должно сопровождаться громадным выходом энергии. Уран, порядковый номер которого 92, превращается в барий с номером 56 и криптон с номером 36. Хотя условие сохранения заряда в этой реакции выполняется, оба получающихся в ней искусственных изотопа имеют слишком большую массу. Они, следовательно, должны превратиться в другие, более стабильные изотопы. Так, наивысший стабильный изотоп криптона имеет массу 86, а в процессе деления ядер урана возникает нестабильный криптон с массой 88. За реакции с тепловыми, т.е. медленными, нейтронами ответствен  ${}_{92}^{235}\text{U}$ . Если бы не было других продуктов распада, искусственный изотоп бария должен был бы иметь массу  $(235 + 1) - 88 = 148$ . В то же время самый тяжелый стабильный изотоп бария имеет массу лишь 138. Учитывая это обстоятельство, в своем сообщении Ган и Штрассман предполо-

жили, что в результате реакции деления тяжелых ядер наряду с легкими ядрами появляются также нейтроны. (Экспериментально это впервые показал Фредерик Жолио-Кюри.) Высвобождающиеся в ходе этой реакции нейтроны способны инициировать дальнейшие реакции распада тяжелых ядер, что при достаточном запасе «горючего» приводит к цепной реакции.

Итак, что же происходит в уране? Уран в основном состоит из двух изотопов  ${}_{92}^{235}\text{U}$  и  ${}_{92}^{238}\text{U}$ , причем их количества в природном уране находятся в соотношении 1 : 140. За счет медленных нейтронов идет цепная реакция деления лишь U-235, а с U-238 происходит следующее. При захвате им нейтрона образуется короткоживущий изотоп U-239, самопроизвольно излучающий электрон. В результате образуется элемент с номером 93, т.е. нептуний. Изотоп нептуния  ${}_{93}^{239}\text{Np}$  – тоже радиоактивен, его период полураспада составляет 2,3 дня. Нептуний также излучает электрон, в результате чего образуется элемент с номером 94, т.е. плутоний. Период полураспада  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  около 24000 лет. (Имена этим элементам американский физик Гленн Сиборг дал по названиям планет: Уран – Нептун – Плутон.) Кроме указанных ядерных реакций, при облучении урана-238 нейтронами рождается еще один изотоп, когда нейтрон не захватывается, а, наоборот, сам выбивает еще один нейтрон из ядра. В результате  $\beta$ -излучающий изотоп урана с массой 237 превращается в  ${}_{93}^{237}\text{Np}$  с периодом полураспада в миллионы лет. В дополнение ко всему, в уране-238 также происходят естественные реакции деления, образующие около 200 изотопов с номерами от 30 до 64. Таким образом, наличие  ${}_{92}^{238}\text{U}$  в природной смеси урана выводит нейтроны из цепной реакции с  ${}_{92}^{235}\text{U}$ , однако в этих же процессах идет накопление плутония, а с  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  также возможна цепная реакция.

В заключение – несколько строк о человеке, которому принадлежит честь открытия расщепления тяжелых ядер. Отто Ган родился почти через сто лет после открытия Клапротом урана – 8 марта 1879 года во Франкфурте-на-Майне. Химическое образование он получил в Мюнхене

(Окончание см. на с. 30)