

## НОВЫЙ РАДИОАКТИВНЫЙ РЯД

Как известно, в природе имеется три радиоактивных семейства (урано-радиевое, ториевое и актиниевое), для которых массовые числа выражаются соответственно формулами  $4n + 2$ ,  $4n$ ,  $4n + 3$ . Четвёртое семейство с массовыми числами, выражающимися формулой  $4n + 1$ , было получено искусственно (семейство нептуния). Время от времени к этим четырём семействам добавлялись отдельные искусственно полученные изотопы. Штудиру и Гайду\*) удалось получить и отождествить целую цепочку из пяти изотопов, начинающуюся с изотопа протактиния  $\text{Pa}^{230}$  и являющуюся побочной ветвью «протактиниевого» ряда в урано-радиевом семействе.

При бомбардировке ториевых мишеней (диски диаметром 8 см и толщиной 5 мм) в 60-дюймовом циклотроне Калифорнийского университета дейтеронами с энергией 19 MeV (100 микроампер-часов) или  $\alpha$ -частицами с энергией 38 MeV (39 микроампер-часов) среди прочих осуществлялись также реакции ( $d, 4n$ ) и ( $\alpha, p5n$ ), приводящие к образованию протактиния.

Однако бомбардировка приводит также к целому ряду других реакций расщепления. Кроме того, имеет место также индуцированное деление  $\text{Th}^{232}$ . Всё это осложняет определение схемы распада и отождествление полученных элементов. Для определения изотопов протактиниевого ряда с той части ториевой мишени, которая подверглась бомбардировке, снимался верхний слой (около 15 г тория), растворялся, и протактиниевая и урановая фракции отделялись химическим путём от других продуктов расщепления и деления ядер. Дальнейшие исследования проводились над этими двумя фракциями.

### 1. Уран.

Исследование урановой фракции показало её распад с периодом около трёх недель. Такой период может быть приписан лишь изотопам урана

---

\*) M. H. Studier and E. K. Hyde, Phys. Rev. 74, 591 (1948).

с атомным номером 231 и меньше. Поскольку урановая фракция с такими свойствами получается, в частности, при бомбардировке тория дейтеронами массовое число 231 следует исключить.

Точное определение периода полураспада урана производилось по урану, извлекаемому из протактиниевой фракции. Наличие  $Ra^{233}$  и  $Ra^{231}$  не сказывалось на измерениях, так как первый из перечисленных изотопов дает долго живущий  $U^{233}$ , а второй сам является долго живущим. Чтобы исключить влияние изотопа  $Ra^{233}$  (период полураспада 1,33 дня; в результате распада образуется  $U^{232}$  с периодом 70 лет), протактиниевая фракция выдерживалась в течение 16 дней, в результате чего количество  $Ra^{233}$  уменьшалось в 1000 раз. После этого отделялся образующийся уран, помещался в счетчик и исследовалась его радиоактивность. По кривой  $\alpha$ -распада был найден период полураспада, равный 0,8 дня.

## 2. Торий.

Исследование изменения величины активности урана со временем вскоре после его отделения показало, что в течение четырех часов она практически достигает максимума, увеличиваясь при этом в пять раз. Это значит, что уран имеет четыре быстро распадающихся дочерних изотопа, испускающих  $\alpha$ -частицы. По кривой нарастания активности был определен период полураспада в 30

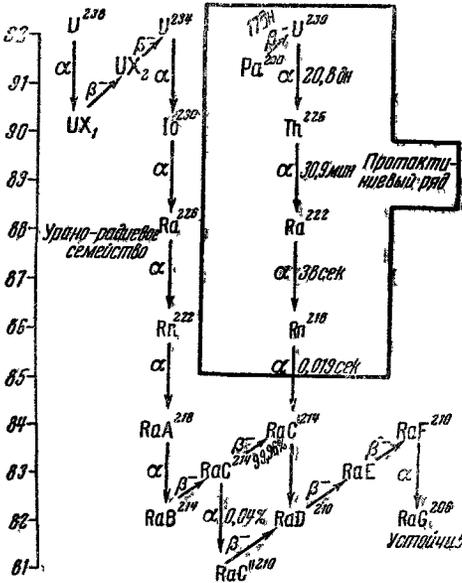


Рис. 1.

минут для первого продукта распада урана, т. е. для  $Th^{230}$ . Химическое отделение тория подтвердило наличие периода в 31 минуту в выделенной ториевой фракции.

Более точное определение периода производилось по изменению активности ядер отдачи, остающихся в счетчике после удаления образца урана. Период оказался равным 30,9 минуты. Следует заметить, что при этом была замечена также дополнительная активность с периодом  $\sim 0,5$  минуты. Как будет видно ниже, её следует приписать  $Ra^{233}$ .

## 3. Радий.

В химически отделенном радии  $\alpha$ -радиоактивность не обнаруживалась. Отсюда следует, что период полураспада  $Ra^{232}$  не больше одной минуты. Отмеченное выше наличие активности ядер отдачи с периодом  $\sim 0,5$  минуты следует приписать именно  $Ra^{233}$ , так как последующие продукты распада  $Rn^{218}$  и  $RaC'$  обладают значительно меньшими периодами.

Выделяя  $Th^{236}$ , внося его в счетчик и затем удаляя его, удалось найти по изменению активности ядер отдачи период полураспада  $Ra^{233}$ . Он оказался равным 38,0 сек.

## 4. Радон.

Верхний предел для периода полураспада радона был установлен следующим образом. Газ, выходящий из кипящего раствора  $U^{230}$ , быстро подавался непосредственно в  $\alpha$ -счетчик. Тем не менее никакой активности не

было обнаружено. Это указывает на то, что период полураспада  $Rn^{218}$  не более одной секунды.

Для его точного определения была сконструирована простая электронная схема, служащая для измерения интервала времени между двумя последовательными испусканиями  $\alpha$ -частиц (рис. 2). Среднее значение интервала между распадами  $Ra^{223}$  и  $Rn^{218}$  даёт среднее время жизни  $Rn^{218}$ , откуда умножением на 0,693 находится период полураспада. Импульс от  $\alpha$ -счётчика запирает лампу  $T$  (см. рис. 2), конденсатор  $C$  заряжается и пятно на осциллографе отклоняется в сторону до тех пор, пока следующий импульс от  $\alpha$ -счётчика не отпрёт лампу, после чего пятно осциллографа возвращается обратно. Время отклонения пятна осциллографа и является временем между двумя  $\alpha$ -распадами. Хотя число случайных совпадений можно

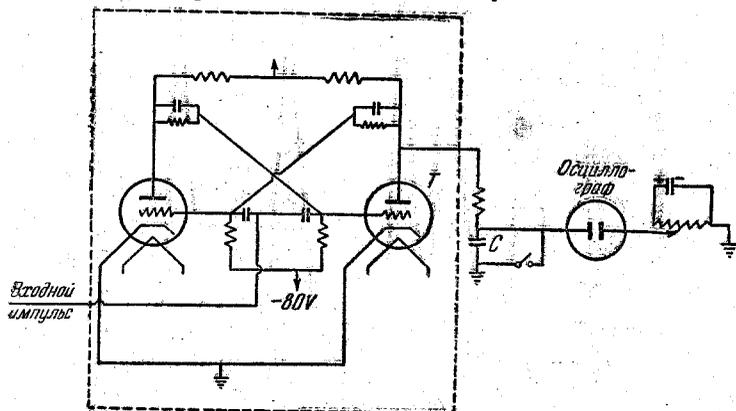


Рис. 2.

уменьшить, производя измерения на малых интенсивностях и пользуясь счётчиками с низким фоном, всё же совершенно избавиться от них нельзя. Поэтому влияние случайных совпадений специально рассчитывалось и исключалось из полученных результатов. Для измерения периода полураспада  $Rn^{218}$  в счётчик помещался образец  $U^{230}$ . Поскольку измерялись интервалы времени до 0,2 сек., период полураспада  $RaC'$  не мог регистрироваться, как слишком малый, а период  $Ra^{223}$  — как слишком большой. По результатам измерений был двумя способами найден период полураспада  $Rn^{218}$ , оказавшийся равным 0,019 сек.

#### 5. Протактиний.

Исследование  $Ra^{230}$  затрудняется наличием изотопа  $Ra^{226}$ , для которого период равен 27,4 дня, что близко к периоду  $Ra^{230}$ . Поэтому применялись косвенные методы определения периода полураспада. Грубая оценка (~ 2 недели) получалась по измерению активности урановых фракций, отделяемых от  $Ra$  через равные промежутки времени. Для более точного определения образец  $Ra^{230}$  наносился на платиновый диск и исследовался ход  $\alpha$ -активности образца. Зная найденный из опыта период полураспада для  $U^{230}$ , можно вычислить по графику изменения  $\alpha$ -активности период полураспада  $Ra^{230}$ . Он оказался равным 17 дням.

#### 6. Энергия $\alpha$ -частиц.

Определение энергии испускаемых  $\alpha$ -частиц производилось с помощью 48-канального дифференциального импульсного анализатора, каждый канал которого регистрирует импульсы от  $\alpha$ -частиц, энергия которых лежит в определённых узких пределах. Зависимость числа импульсов от номера

канала показана на рис. 3 (энергия растёт с увеличением номера канала). На рисунке ясно видно пять групп  $\alpha$ -частиц, соответствующих энергиям 5,85 MeV, 6,30 MeV, 6,51 MeV, 7,12 MeV и 7,7 MeV. Последняя группа  $\alpha$ -частиц отождествляется с  $\alpha$ -частицами от RaC'. Обнаружение  $\alpha$ -частиц RaC', являющегося конечным изотопом протактиниевой ветви урано-радиевого семейства, подтверждает правильность отождествления предшествовавших изотопов. Первая группа (5,85 MeV) соответствует  $\alpha$ -частицам от U<sup>230</sup>. Это показано двумя способами: 1) анализ спектра  $\alpha$ -частиц от образца U<sup>230</sup>, в котором ещё не успели образоваться дочерние изотопы, показывает

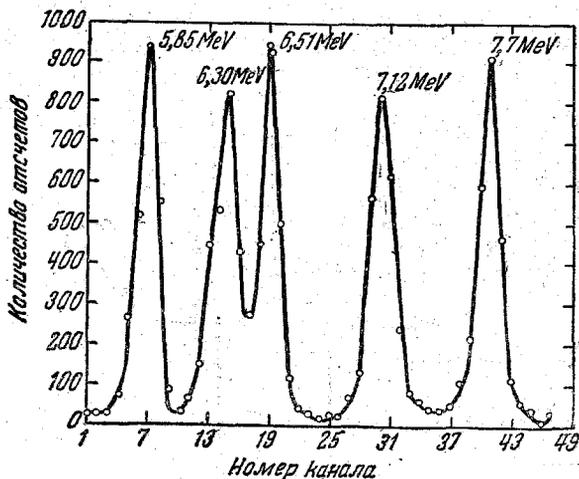


Рис. 3.

наличие большого пика для энергии 5,85 MeV; 2) анализ активности ядер отдачи от U<sup>230</sup> показывает наличие  $\alpha$ -частиц всех перечисленных выше энергий, кроме 5,85 MeV.

Отождествление остальных трёх значений энергии затрудняется короткими периодами полураспада изотопов. Если считать, что энергия  $\alpha$ -частиц растёт с уменьшением периода полураспада, то Th<sup>230</sup> следует приписать энергии 6,30 MeV, Ra<sup>223</sup> — 6,51 MeV и Rn<sup>218</sup> — 7,12 MeV.

Э. Буриштейн