

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ**ЭЛЕМЕНТЫ С АТОМНЫМИ НОМЕРАМИ 97
(БЕРКЛИЙ, Bk) И 98 (КАЛИФОРНИЙ, Cf)**

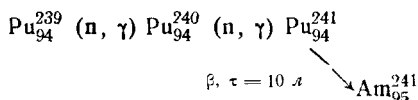
Некоторое время назад были получены два новых трансурановых элемента с атомными номерами 97 и 98. Первому было присвоено название «берклий» (Bk), второму — «калифорний» (Cf). Ниже описываются основные свойства этих элементов, а также методы их получения.

Изучение химических и физических свойств америция и кюрия, полученных в 1944 г.¹, подтвердило предположение о том, что подобно лантанидам радиоактивные элементы, начиная с актиния, должны быть объединены в одну переходную группу, поскольку у них заполняется 5f оболочка. На основании этого стало возможным предсказание химических свойств для ещё несуществующих транскюриевых элементов². Знание этих свойств необходимо для отделения новых элементов при их синтезе от элементов мишени, поскольку они химически почти неотличимы и пока могут получаться лишь в ультрамикроскопических количествах. (Количество атомов изотопа калифорния, полученного при нескольких бомбардировках, было меньше 10 тысяч!)

На пути получения новых трансурановых элементов³ ожидалась очень большие технические трудности, связанные с коротким периодом их жизни и с утомительными процедурами отделения их от лантанидов и от остальных элементов актиниевой серии, которые к тому же необходимо проводить очень быстро, что требовало не только конструирования и развития новой техники, но и необходимости громадного фактора разделения их от атомов мишени (10^6 для берклия) при большом проценте выхода.

Возможны были три пути получения транскюриевых элементов: 1) Облучение первых трансурановых элементов, имеющихся в больших количествах, пучком ионов с ядерным зарядом, большим 2. Хотя этот метод — наиболее обещающий, но он отпал, так как авторы реферируемых работ не располагали интенсивными пучками больших энергий. 2) Облучение Am_{95}^{241} ионами гелия или Sm_{96}^{242} дейтеронами для получения 97 элемента и облучение Sm_{96}^{242} ионами гелия для получения изотопа 98 элемента. Этот путь был использован для получения обоих элементов. 3) Облучение Sm_{96}^{242} нейтронами для получения промежуточных ядер, нестабильных к β -распаду и переходящих в 97 и 98 элементы. Этот метод был использован лишь в некоторых опытах для получения только 97 элемента, так как невозможно было предсказать даже порядок величины сечения образования 98 элемента — получалась неопределённость времени облучения в несколько лет.

Исходным материалом для получения 97 элемента был Am_{95}^{241} , получаемый из Pu_{94}^{239} облучением быстрыми нейтронами по реакции:



Степень чистоты полученного таким образом Am_{95}^{241} для мишени (в количестве нескольких миллиграммов) составляла около 97% (главными загрязнениями были Na—1,5%; Zn—1,0%; Ti—0,2%; Ca—0,2%; Al—0,5%). Облучение мишени производилось в специальной установке, служащей для охлаждения мишени водой и для предотвращения рассеяния в окружающую среду. Облучение 30- и 35-Мэв ионами гелия производилось обычно около 6 часов. Интенсивность пучка, измеряемая по заряду, накапливаемому на изолированной мишени и фольгах, служащих окошками

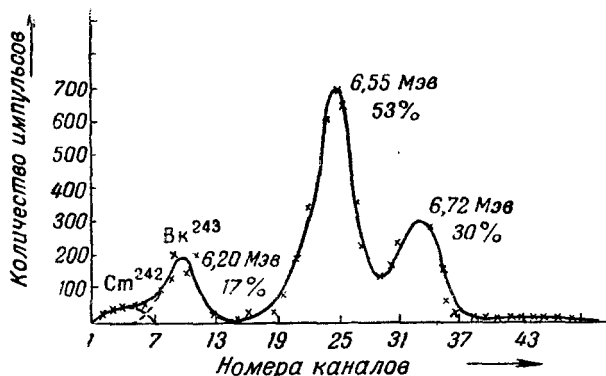


Рис. 1.

вакуумной камеры, была 2 мка на см^2 мишени. Химические процедуры разделения^{6, 7}, производимые тотчас же после облучения Am_{95}^{241} , проведённые согласно ожидаемым химическим свойствам 97 элемента, выделили активность в экатербиевом положении, т. е. соответствующем положению 97 элемента. Ионный обмен проводился при высокой температуре со смолой Dowex-50³. Как и ожидалось, поведение этой активности с различными носителями и окисляющими агентами показало, что она имела III и IV состояния окисления; процесс разделения ионным обменом показал, что в III состоянии окисления выделенная активность имела большое сходство с кюрием, аналогично сходству тербия с гадолинием (см. рис. 4), а ход ионного радиуса актинидов претерпевал нарушения в выделенного элемента так же, как нарушался ход радиуса ионов лантановой группы у тербия. Выделенный таким образом осадок радиохимически чистой фракции, приписываемый 97 элементу, исследовался на α -, β -, γ -активности на дифференциальном импульсном анализаторе¹⁰, на выходе которого стояли 48 механических регистраторов с большим числом счёта. Все импульсы α -частиц, создаваемые исследуемым образцом в ионизационной камере, дифференцировались по энергиям. Было обнаружено 3 группы α -частиц с энергиями 6,72 Мэв — 30%; 6,55 Мэв — 53% и 6,20 Мэв — 17% (рис. 1). Энергия этих групп α -частиц измерялась методом сравнения

с α -частицами известных энергий. Высокая энергия α -частиц является признаком, который указывает, что атомный номер этого элемента должен быть несомненно больше 94. Это же подтверждается измерениями энергии рентгеновского L -излучения. Скорость распада для каждой группы α -частиц, измеряемая по величине площади каждого пика в определённые моменты времени, оставалась для всех трёх групп неизменной и была равна $4,6 \pm 0,2$ часа. Таким образом все три группы α -частиц следовало приписать одному изотопу. Это же было подтверждено тем, что изменение энергии гелиевых ионов не влияло на отношение интенсивностей этих трёх групп α -частиц. Этот результат был несколько неожиданным: вначале предполагалось (ввиду наличия трёх групп α -частиц), что было получено несколько изотопов. Наличие трёх групп α -частиц со сравнимыми интенсивностями указывает, что переход в основное состояние

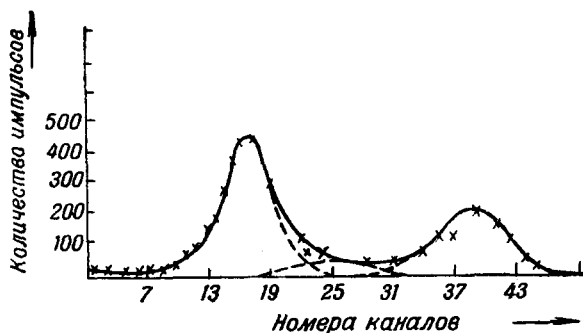


Рис. 2.

сильно запрещён (с фактором 10^3 — 10^8), по причине чего переходы в возбуждённые состояния возможны со сравнимыми вероятностями. Измерение γ - и β -излучения производилось гайгеровскими счётчиками со слюдяным окошком толщиной в 3 мг/см^2 , наполненного для повышения эффективности счёта рентгеновского излучения амилациетатом до $0,8 \text{ см}$ и ксеноном до 11 см рт. ст. Для отличия импульсов, создаваемых рентгеновскими лучами и электронами конверсии, между активностью и счётчиком помещались различные фильтры. Исследованное γ -излучение, типичное для β -захвата, имело энергию от 2 до 10 кэв (серия L) и 70 кэв (серия K). Энергия электронов конверсии (5% от всего β -захвата) была $\sim 0,5 \text{ Мэв}$. Исследование существования более жёстких γ -лучей не производилось. Измерение полупериода β -захвата производилось по рентгеновскому L -излучению и дало значение $4,6 \pm 0,2$ часа. Согласно полученным результатам разветвление α -распада составляет $0,1\%$ от β -распада, откуда полупериод собственно α -распада — около 1 года. Сечение образования изотопа берклия 35 Мэв ионами гелия равно 10^{-26} см^2 ; для 30 Мэв ионов оно примерно в два раза меньше. Исследование дочерних продуктов изотопа берклия было произведено после его полного распада, т. е. через 27 часов (остаток берклия был $\sim 2\%$); были обнаружены две группы α -частиц с энергиями $5,89 \text{ Мэв}$ — 15% и $5,79 \text{ Мэв}$ — 85% . (В связи с неполным первоначальным разделением во фракции берклия присутствовало малое количество изотопа кюрия Cm^{242} — см. рис. 1 и 2). Химическое разделение продуктов распада берклия показало присутствие Am (распадающегося β -захватом) — продукта α -распада берклия и изотопа Cm (α -излучатель) — продукта β -захвата берклия. Результаты исследования дочер-

них продуктов не только подтвердили факт получения изотопа 97 элемента, но и позволили определить его массовое число. Малые количества Am, выделенного из фракции берклия, затрудняют точное определение полупериода его распада, поэтому полученное значение в 15 час. нужно считать хорошо совпадающим с полупериодом в 12 час. для известного изотопа Am^{239}_{95} . Исходя из этого, изотопу берклия следует приписать массовое число 243. Данные по анализу изотопа Cm, выделенного из той же фракции берклия (см. рис. 2), не находятся в противоречии с этим. Для периода полураспада дочернего Cm получено значение 100 лет (энергия α -частиц 5,89 и 5,79 Мэв). Поэтому отождествить его с известным изотопом Cm^{242}_{96} нельзя *) из-за несовпадения всех параметров распада. Изотопу берклия также нельзя приписать массовое число, мень-

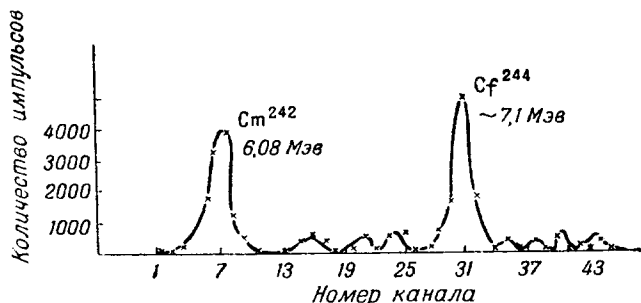


Рис. 3.

шее 242, так как это не согласуется с реакцией образования его из америция: $\text{Am}^{241}_{95}(\alpha, n)\text{Bk}$ при энергии ионов гелия в 30 Мэв. Для этой реакции порог выше 30 Мэв. Сопоставление с эмпирическими закономерностями систематизации α -активности^{4, 5} даёт наилучшие совпадения, если дочернему изотопу кюрия приписать массу 243. Других изотопов берклия, существовавших в значительных количествах, не обнаружено.

После окончания работ с берклием удалось преодолеть целый ряд трудностей. Накопление эмпирических данных в области тяжёлых ядер позволило более точно предсказывать параметры распада ещё не полученных элементов. Были усовершенствованы также методы химического разделения^{6, 7}. Как упоминалось, синтез элемента с атомным номером 98 мог быть произведён только облучением Cm^{242}_{96} ионами гелия. При этом было возможно предсказать количество получаемых атомов 98 элемента, что было необходимым для знания оптимального времени облучения мишени. В процессе облучения могли возникнуть только следующие изотопы: 98^{243} , 98^{244} , 98^{245} . Из них только для 98^{244} ожидался период распада больше 30 минут (от 30 до 60 мин.). Ожидаемая энергия для α -частиц составляла 7,0—7,3 Мэв. Наличие α -частиц такой большой энергии при очень малом количестве получаемых атомов 98 элемента было очень удачным: их обнаружение могло служить достаточным доказательством получения 98 элемента, поскольку известные излучатели α -частиц такой энергии — C'-продукты и Th — не могли получаться при облучении Cm^{242}_{96} ионами гелия с энергией, меньшей 40 Мэв, из-за слиш-

*) α -излучатель с энергией α -частиц — 6,08 Мэв и периодом 10 лет.

ком малой массы¹². Для дальнейшего повышения чувствительности измерений необходимо было ограничить полную α -активность исследуемого образца до величины, меньшей 10^4 импульсов в минуту, что наложило ещё более жёсткие (чем для берклия) требования на фактор разделения 98 элемента (до 107). Мишень из Sm_{96}^{242} облучалась 33 Мэв ионами гелия от 2 до 3 час. Интенсивность пучка ионов была 3 мка на 1 см² мишени (площадь мишени была $\sim 0,5$ см²). Для облегчения отделения очень малых количеств изотопа калифорния и для возможности сравнения его поло-

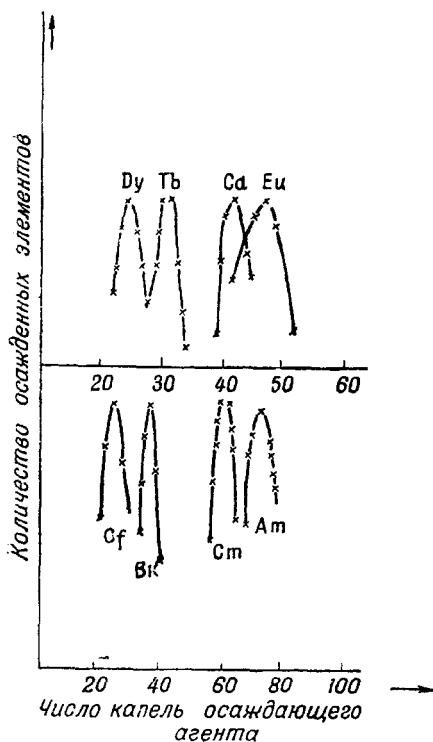


Рис. 4.

урановых элементов, то отсюда следует, что α -излучение должно быть доминирующим видом распада. Вопрос о массовом числе из этих опытов не может быть окончательно решён. Ориентировочно, из указанных соображений, ему приписывается значение 244.

Б. Шуляк

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. G. T. Seaborg, The Transuranium Elements: Research Papers (1949).
2. G. T. Seaborg, Nucleoniks **5**, 16 (1949).
3. S. G. Thompson, Phys. Rev. **80**, 781, 790 (1950).
4. Perlman, Phys. Rev. **77**, 26 (1950).

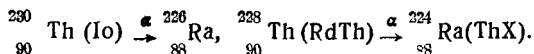
жения по отношению к другим актинидам при ионном обмене в мишень в некоторых опытах добавляли Am_{95}^{241} , дающий при облучении Bk_{97}^{243} ; для этой же цели в пучок ионов добавляли небольшое количество дейтронов.

Химическими методами разделения, основанными на предсказаниях ожидаемых свойств, была выделена активность в экадиспрозиевом положении (см. рис. 4), т. е. соответствующая 98 элементу. Её положение в выделяемых при ионном обмене фракциях по отношению к актинидам находилось в таком же соответствии, как положение диспрозия по отношению к лантанидам. Измерение энергии α -излучения этой фракции дало величину 7,1 Мэв (рис. 3). Период распада оказался равным 45 мин. Существование этой активности наблюдалось в четырёх экспериментах. Исследование дочерних продуктов в его фракциях не производилось из-за малых количеств полученного элемента. Приблизительное значение сечения генерации калифорния 33 Мэв ионами гелия, основанное на измерениях эмиссии только α -частиц, равно $3 \cdot 10^{-27}$ см². Поскольку эта величина сечения реакции на 30—40 Мэв ионах гелия типична и для других транс-

5. S. G. Thompson, Phys. Rev. **76**, 319 (1949).
6. Asprey, J. Am. Chem. Soc. **72**, 1425 (1950).
7. K. Street, J. Am. Chem. Soc. **72**, 2790 (1950).
8. S. G. Thompson, Phys. Rev. **77**, 838 (1950).
9. Kirkwood, Phys. Rev. **74**, 497 (1948).
10. Ghiorso, National Nuclear Energy Series, см. ссылку ¹ Paper № 16, 7.
11. S. G. Thompson, Phys. Rev. **78**, 298 (1950).
12. G. T. Seaborg, Rev. Mod. Phys. **20**, 585 (1948).

О СХЕМЕ РАСПАДА ИОНИЯ И РАДИОТОРИЯ

Ионий и радиоторий являются изотопами тория и имеют чётно-чётные ядра. В результате α -распада эти ядра превращаются в ядра чётно-чётных изотопов радия



Чётно-чётные ядра обладают нулевым моментом количества движения. Поэтому α -переход такого ядра, приводящий к основному состоянию

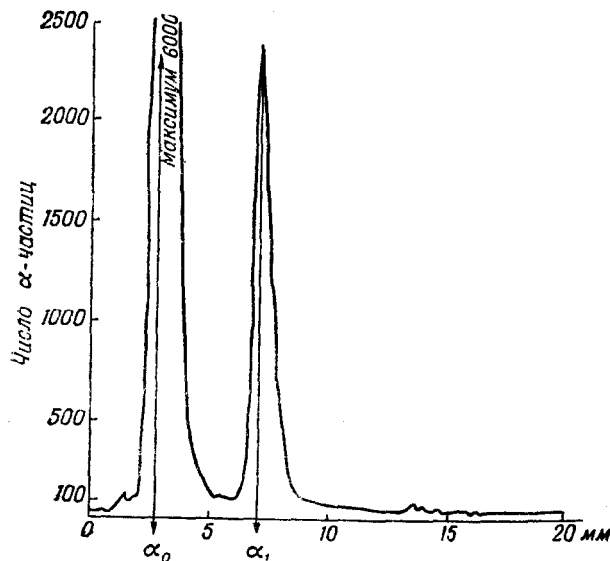


Рис. 1.

ядра-продукта, будет происходить без изменения момента количества движения ($\Delta I = 0$), а α -переход, в результате которого образуется ядро в возбуждённом состоянии, связан с изменением момента количества движения ($\Delta I \neq 0$). Вероятность α -распада уменьшается с увеличением ΔI и существенно зависит от энергии α -перехода. В силу этого чётно-чётные ядра в соответствии с теорией α -распада, как правило, не