

СИНТЕЗ НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ИЗОТОПОВ ФЕРМИЯ, КУРЧАТОВИЯ И ЭЛЕМЕНТА С АТОМНЫМ НОМЕРОМ 106

*Ю.Ц.Очакесиан, Ю.П.Третьяков, А.С.Ильинов,
А.Г.Демин, А.А.Плесе, С.П.Третьякова, В.М.Плотко,
М.П.Иванов, Н.А.Данилов, В.С.Короткин, Г.Н.Флеров*

С 1955 по 1970 г. в различных странах проводились эксперименты по синтезу элементов с порядковыми номерами $Z = 102, 103, 104, 105$, в которых мишени с максимальным атомным номером – ${}_{94}\text{Pu}$, ${}_{96}\text{Cm}$, и ${}_{98}\text{Cf}$ подвергались облучению ионами С, О и Ne [1].

В последнее время в различных лабораториях мира анализировались вопросы искусственного синтеза более тяжелых элементов с $Z \geq 106$. Эта задача представляется весьма важной не только в смысле открытия нового элемента и изучения его физических и химических свойств. На наш взгляд, принципиальное значение имело бы установление прямой связи между периодами спонтанного деления новых элементов и существованием новой области стабильности сверхтяжелых элементов.

Вместе с тем синтез 106 и более тяжелых элементов традиционным методом связан с большими трудностями в силу следующих обстоятельств. Образующиеся в реакции слияния ядра нового элемента обладают высокой энергией возбуждения E^* и лишь $10^{-9} - 10^{-10}$ их часть может перейти в основное состояние путем последовательного испускания нейтронов и γ -квантов. Поэтому образование нового элемента является весьма редким процессом и соответствует сечению 10^{-34} см^2 или меньше.

Однако, эта трудная ситуация может существенным образом измениться, если отойти от традиционного направления синтеза и использовать в качестве мишени вместо тяжелых изотопов Pu , Cm , Cf стабильные ядра Pb или Bi , которые облучаются пучком ионов с массой $A_1 \geq 40$ (предложение одного из авторов – Ю.Ц.О.).

Поскольку изотопы Рь являются "магическими", а синтезируемое ядро — деформированным, имеет место большой выигрыш в величине Q реакции, и составное ядро может оказаться слабо возбужденным. На рис. 1 в качестве примера представлены расчетные значения минимальной энергии возбуждения $E_{\text{мин}}$ составных ядер ^{248}Fm , ^{258}Ku и $^{262}\text{106}$ в зависимости от массы бомбардирующего иона A_1 . Видно, что с увеличением массы иона энергия возбуждения возрастает до величины $\sim 40 - 50$ Мэв при $A_1 \sim 20 - 30$, а затем уменьшается, достигая минимального значения в области $A_1 \sim 40 - 50$. Понижение энергии возбуждения составного ядра должно приводить к уменьшению числа испускаемых нейтронов, вследствие чего можно ожидать увеличения сечения образования ядер в основном состоянии.

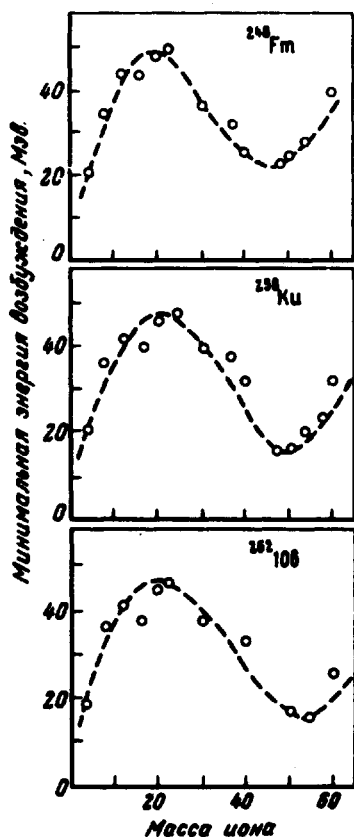


Рис. 1. Минимальная энергия возбуждения составных ядер ^{248}Fm , ^{258}Ku и $^{262}\text{106}$ в зависимости от массы иона. Точками показаны расчетные значения для разных комбинаций мишень-частица

Для проверки этого предположения нами были поставлены эксперименты по измерению сечений образования известных легких изотопов ^{244}Fm и ^{246}Fm в реакциях $^{200, 207, 208}\text{Rb} + ^{40}\text{Ar}$. Экспериментальные значения сечений реакции ($^{40}\text{Ar}, xn$) при $x = 1, 2, 3, 4$, представленные в первой части таблицы, свидетельствуют о том, что из составного ядра с наибольшей вероятностью испускается два или три нейтрона в отличие от того, что имело место в реакциях с ионами меньшей массы (рис. 2).

Экспериментальные результаты

Реакции	Макс. энергия ионов, Мэв	Кулоновский барьер реакции, Мэв	Интегральный поток ионов ($\times 10^{16}$ част)	Число зарегистрир. событий	Период полу-распада	Сечение реакции (нанобары)
$^{208}\text{Pb} (^{40}\text{Ar}, 4n) ^{244}\text{Fm}$	—	—	6	214	4 мсек	1,5
$^{207}\text{Pb} (^{40}\text{Ar}, 3n) ^{244}\text{Fm}$	—	—	2	111	4 мсек	5
$^{208}\text{Pb} (^{40}\text{Ar}, 2n) ^{246}\text{Fm}$	220	$187 \pm 1,5$	10	70	1 сек	7
$^{207}\text{Pb} (^{40}\text{Ar}, 1n) ^{246}\text{Fm}$	—	—	6	1	—	0,1
$^{209}\text{Pb} + ^{50}\text{Ti}$	—	—	1	70	5 мсек	6
$^{207}\text{Pb} + ^{50}\text{Ti}$	260	—	2	90	4 сек	3
$^{206}\text{Pb} + ^{50}\text{Ti}$	—	—	0,4	2	3 мсек	0,3
$^{208}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$	—	—	2	20	4 — 10 мсек	1
$^{207}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$	280	$254 \pm 1,5$	3	31	4 — 10 мсек	1
$^{206}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$	—	—	4	—	4 — 10 мсек	0,2

При использовании свинца в качестве мишени в данной постановке опытов практически исключается фон от спонтанного деления как тяжелых элементов, так и от спонтанно делящихся изомеров в области $U - Cf$. Поэтому для синтеза новых элементов этим методом может быть успешно применена высокочувствительная и экспрессная методика для обнаружения ядер по спонтанному делению.

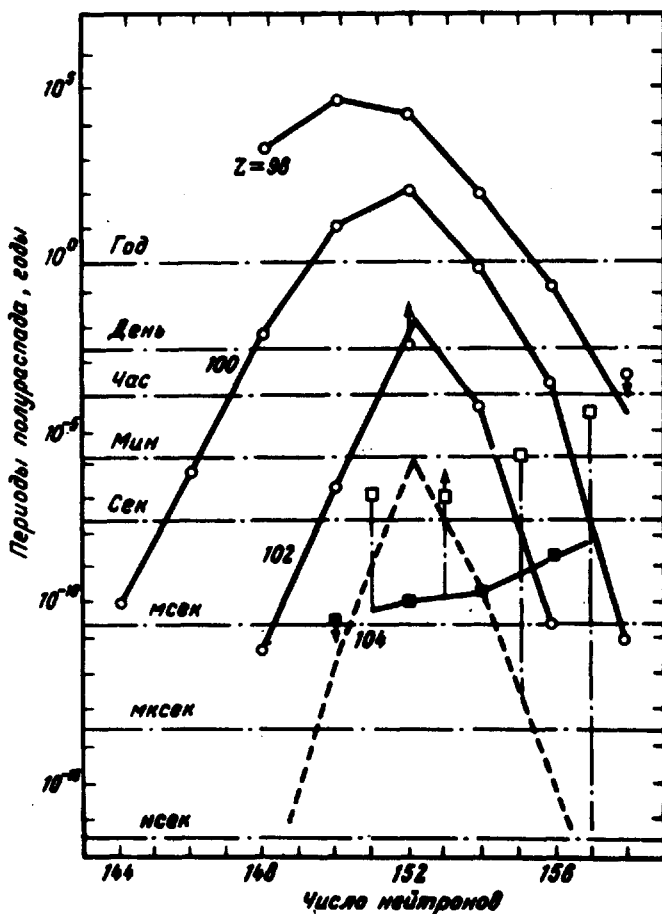


Рис. 2. Систематика периодов спонтанного деления для различных изотопов элементов с атомными номерами 98, 100, 102, 104. В систематику включены новые данные по периодом спонтанного деления изотопов $^{250}102$, $^{254}104$, $^{255}104$, $^{256}104$. Черные квадраты соответствуют четно-четным изотопам Кн, открытые – нечетным. Пунктирная кривая представляет периоды спонтанного деления по систематике Гиорго [2]

Это обстоятельство было использовано для синтеза нейтронодефицитных изотопов Кн в реакции $Pb + {}^{50}Ti$.

Для ускорения ионов ${}^{50}Ti$ в ЛЯР ОИЯИ создан специальный ионный источник, с помощью которого на 310 см циклотроне получен

пучок этих ионов с интенсивностью $2 \cdot 10^{11}$ ионов/сек. Экспериментальная методика позволяла обнаружить спонтанно делящиеся излучатели, если их время жизни превышало $T_{1/2} \geq 3$ мсек.

Результаты экспериментов представлены во второй части таблицы. В опытах с ^{50}Ti обнаружено два спонтанно делящихся излучателя с существенно отличающимися периодами полураспада: около 5 мсек и несколько сек. Из анализа экспериментальных данных было установлено, что излучатель с $T_{1/2} \sim 5$ мсек является изотопом ^{256}Ku , который образуется в реакции $^{208}\text{Pb} (^{50}\text{Ti}, 2n) ^{256}\text{Ku}$.

Долгоживущий спонтанно делящийся излучатель, который образуется с максимальным сечением в реакции $^{207}\text{Pb} + ^{50}\text{Ti}$ является, по нашему мнению, нечетным изотопом ^{255}Ku . Отсутствие эффекта при облучении ^{206}Pb ионами ^{50}Ti может означать, что время жизни следующего изотопа ^{254}Ku меньше 3 мсек.

Полученные результаты существенным образом меняют представление о стабильности тяжелых ядер относительно спонтанного деления. Если для четных изотопов Cf, Fm и 102 элемента имеет место значительное повышение стабильности (в $10^6 - 10^{12}$ раз) вблизи $N = 152$, то для четных изотопов Ku такой эффект практически отсутствует, и периоды спонтанного деления плавно возрастают (не более чем в 100 раз) при переходе от $N = 152$ к $N = 156$. При этом нет необходимости предполагать громадные запреты для нечетных изотопов Ku, как следовало из старых представлений [2]: величина запрета для нечетных ядер составляет $10^3 - 10^4$.

После экспериментов по получению нейтронодефицитных изотопов Fm и Ku естественно было попытаться синтезировать предложенным методом следующий четный элемент с атомным номером 106. Расчеты, проведенные на основе полученных выше экспериментальных данных, показали, что для этих целей наиболее подходящей является комбинация $\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$. Результаты этих экспериментов представлены в третьей части таблицы.

В реакциях $^{207}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$ и $^{208}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$ наблюдалось образование спонтанно делящихся ядер с периодом полураспада несколько мсек.

В дальнейшем было проведено большое количество контрольных экспериментов, где облучались различные изотопы Pb и Bi ионами ^{51}V и ^{52}Cr и исследовались реакции типа p, xn и α, xn , которые могут привести к образованию изотопов с $Z < 106$. Было найдено, что в указанном диапазоне энергий вклад этих реакций пренебрежимо мал. Поэтому мы склонны думать, что наблюдаемые в экспериментах 50 событий обусловлены спонтанным делением ядер с $Z = 106$. Из соотношения выходов этого излучателя в экспериментах с различными изотопами Pb, а также основываясь на новых представлениях о систематике спонтанного деления, можно предполагать, что спонтанное деление испытывает нечетный изотоп $^{259}106$, который образуется в реакциях с испусканием двух и трех нейтронов.

Литература

- [1] Г.Н.Флеров, И.Звара. Сообщение ОИЯИ Д7-6013, Дубна, 1971.
- [2] A.Chiorso, Proc. P.A.Welch Found. Conf. on chem. Res., X 111 The Transuranium Elements – The Mendeleev Centennial Nov. 17 – 19, 1969, H.ouston. Texas, p. 107.
-