

1225/2-79



Объединенный
институт
ядерных
исследований
Дубна

2/iv 79

0-664

P7 - 12042

О.А.Орлова, А.А.Плеве, Г.М.Тер-Акопьян,
С.П.Третьякова, В.И.Чепигин, Е.А.Черепанов

ОПЫТЫ ПО СИНТЕЗУ 108-ГО ЭЛЕМЕНТА
В РЕАКЦИИ $^{208}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$

1979

P7 - 12042

О.А.Орлова, А.А.Плеве, Г.М.Тер-Акопьян,
С.П.Третьякова, В.И.Чепигин, Е.А.Черепанов

ОПЫТЫ ПО СИНТЕЗУ 108-ГО ЭЛЕМЕНТА
В РЕАКЦИИ $^{208}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$

Направлено в ЯФ

Орлова О.А. и др.

P7 - 12042

Опыты по синтезу 108-го элемента в реакции $^{208}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$

В работе описаны опыты, целью которых был синтез спонтанно делящихся изотопов 108-го элемента в реакции слияния ^{207}Pb и ^{208}Pb с ионами ^{58}Fe . В экспериментах не наблюдалось спонтанно делящихся продуктов реакции с временами жизни $> 0,1$ мс. Получены пределы поперечных сечений: для реакции $^{208}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$ $\sigma < 3 \cdot 10^{-35}$, для реакции $^{207}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$ $\sigma < 2,0 \cdot 10^{-35}$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Orlova O.A. et al.

P7 - 12042

Experiments of the Synthesis of Element 108 in the Reaction $^{208}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$

Some experiments on the synthesis of spontaneously fissioning isotopes of element 108 in the complete fusion reaction of ^{207}Pb and ^{208}Pb with ^{58}Fe bombarding ions are described. There were not observed spontaneously fissioning reaction products with half-life of more than 0.1 ms. The cross section limits for the $^{208}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$ ($\sigma < 3 \cdot 10^{-35}$), and for the $^{207}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe}$ ($\sigma < 2,0 \cdot 10^{-35}$) have been obtained.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

В настоящее время самым тяжелым трансурановым элементом, полученным в лабораторных условиях, является элемент с атомным номером 107¹. При его синтезе были использованы реакции типа $\text{Pb}(\text{H}, \text{xn})^{2-6/}$ приводящие к составным ядрам со сравнительно малой энергией возбуждения. В частности, изотопы 106-го и 107-го элементов были впервые синтезированы при облучениях мишеней из ^{208}Pb и ^{208}Bi ионами ^{54}Cr и ^{55}Mn ⁷⁽¹⁻³⁾. К настоящему времени при использовании дважды магических ядер ^{208}Pb в качестве мишени экспериментально наблюдались реакции слияния с ионами Ag , Ca , Ti , V , Cr , Mn .

Поперечные сечения исследовавшихся реакций $(\text{H}, 2n)$ и $(\text{H}, 3n)$ с четно-четными ядрами ^{40}Ar , ^{48}Ca , ^{50}Ti , ^{54}Cr имеют величину $10^{-31} - 10^{-32}$ см² сравнительно большую в масштабах сечений, обычных при синтезе трансфермиевых ядер. Не исключено, что использование реакций типа $\text{Pb}(\text{H}, \text{xn})$ может быть одним из наиболее эффективных методов синтеза ядер с $Z > 107$ в том случае, если величины барьеров деления /и соответственно времена жизни/ продуктов таких реакций достаточно велики.

Для изотопов 108-го элемента простая линейная экстраполяция $T_{1/2}^{\text{SF}}(Z)$ при $N=157$ дает /по грубой оценке/ для изотопа $^{265}\text{108}$ $T_{1/2}^{\text{SF}} = 1$ мс. Оценки с помощью более сложных теоретических расчетов приводят для изотопов 108-го элемента с числом нейтронов $N=155$, 156 и 157 к значениям $0,5$; $0,3$; и 30 мс соответственно⁷. При этом спонтанное деление должно быть основным видом распада, так как оценки $T_{1/2}^{\alpha}$ дают по крайней мере на порядок большие времена^{11/1/2}.

Мы предприняли попытку синтезировать изотопы $^{263,264,265}_{108}$ в реакции $^{208}_{82}\text{Pb} (^{58}_{26}\text{Fe}, xn)^{266-x}_{108}$.

Минимальная энергия возбуждения компаунд-ядер /при $E_{\text{ион}} = V_{\text{куд}}$ / составляет здесь всего 14 МэВ. Поэтому для реакций с испусканием 2, 3, а, возможно, и 1 нейтрона можно ожидать достаточно больших сечений. На рис. 1 показаны соответствующие функции возбуждения, рассчитанные методом Джексон - Сиккеланда⁸⁻¹⁰. Значения Γ_n / Γ_f , использованные в этих расчетах, получены путем экстраполяции известных экспериментальных данных¹⁰.

Из рис. 1 видно, что для реакций (2n) и (3n) сечения в максимумах функций возбуждения равны $6 \cdot 10^{-34} \text{ м}^2$ и $2 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$ соответственно.

Продуктом наиболее вероятной реакции (2n) является четно-четный изотоп $^{264}_{108}$. Чтобы иметь возможность

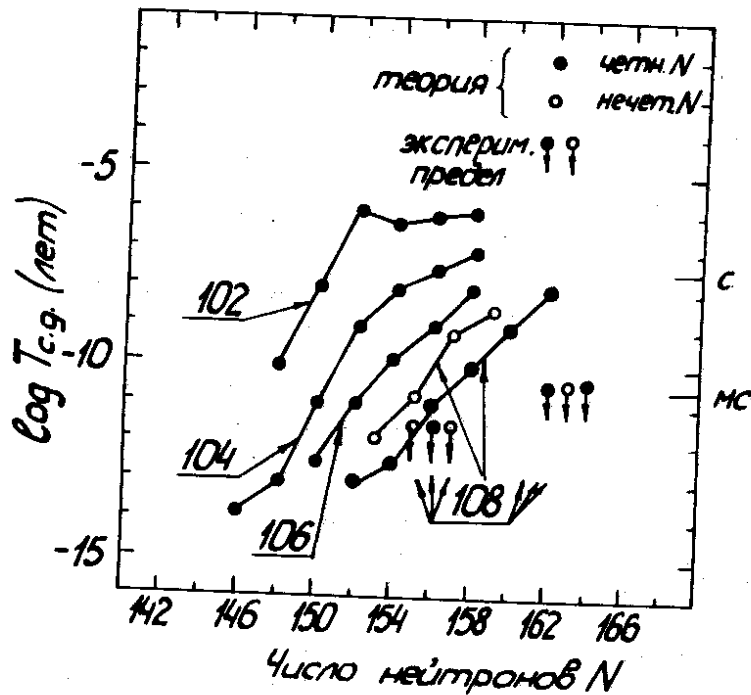


Рис. 1. Функции возбуждения реакций $^{208}_{82}\text{Pb} (^{58}_{26}\text{Fe}, xn)^{266-x}_{108}$, рассчитанные с использованием метода Джексон - Сиккеланда.

получить в реакции (2n) более долгоживущий нечетный изотоп, мы использовали в опытах также мишени из обогащенного изотопа $^{207}_{82}\text{Pb}$.

При создании экспериментальной установки главное внимание было обращено на достижение максимального быстродействия. Был использован вариант хорошо известного метода ядер отдачи: тонкая мишень в комбинации с вращающимся сборником, переносящим синтезированные ядра к детекторам осколков спонтанного деления /слюда/. Задача существенно осложнялась тем обстоятельством, что с целью максимального использования тока ионов $^{58}_{26}\text{Fe}$ эксперименты проводились на внутреннем пучке циклотрона У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Для того, чтобы уменьшить торможение и нагрев вихревыми токами узла, вращающегося в магнитном поле, размеры металлических деталей были максимально уменьшены. Материал вращающегося диска и материал сборника были подобраны в серии специальных испытаний. Таким образом, скорость вращения сборника была доведена до 11000 оборотов в минуту. При диаметре сборника 25 см это обеспечивало минимальное время переноса продуктов реакций от мишени к детекторам, равное 0,1 мс.

Мишень представляла собой металлический слой $^{208}_{82}\text{Pb}$ или $^{207}_{82}\text{Pb}$ толщиной 2 мг/см^2 нанесенный на металлическую никелевую подложку $/1,5 \text{ мг/см}^2/$. Для того, чтобы предохранить свинец от испарения во время облучения, были приняты специальные меры. Слой свинца был сверху покрыт тонким $/0,5 \text{ мг/см}^2/$ слоем металлического никеля, нанесенным методом термального разложения карбонида никеля. Кроме того, мишень была выполнена в виде кольца с внешним диаметром 10 см и во время облучения вращалась со скоростью 200 оборотов в минуту в атмосфере гелия при давлении 30 мм Hg. Толщина свинцового слоя контролировалась после облучения методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Собранная и налаженная установка была испытана в рабочих условиях на пучке ионов $^{54}_{24}\text{Cr}$. В качестве контрольной была выбрана реакция $^{208}_{82}\text{Pb} (^{54}_{24}\text{Cr}, 3n)^{259}_{108}$, где образуется спонтанно делящийся изотоп $^{259}_{108}$ с периодом полураспада 7 мс^{13} . При интегральном потоке ионов $^{54}_{24}\text{Cr}$, равном $4,8 \cdot 10^{16}$, наблюдалось 11 осколков спонтанного

ТАБЛИЦА

Реакция	Энергия ионов (МэВ)	Интегральный поток ионов	Число треков	Сечение реакции (см ²)
²⁰⁸ Pb(⁵⁴ Cr, 3n) ²⁵⁹ 106	278	4,8 · 10 ¹⁶	11	(2,5 ± 0,9) · 10 ⁻³⁴
²⁰⁷ Pb(⁵⁸ Fe, xn) ²⁶⁵ -x 108	306	6,5 · 10 ¹⁶	0	< 2,0 · 10 ⁻³⁵
²⁰⁸ Pb(⁵⁸ Fe, xn) ²⁶⁶ -x 108	306	2,4 · 10 ¹⁷	6	< 3,10 ⁻³⁵

деления, что соответствует поперечному сечению образования ²⁵⁹106/2,5 ± 0,9/10⁻³⁴ см². Таким образом, выход данной реакции в пределах экспериментальных ошибок соответствует измеренному ранее поперечному сечению^{13/}

Затем были проведены рабочие облучения мишеней ^{207,208}Pb ионами ⁵⁸Fe с энергией 306 МэВ. В опыте с мишенью ²⁰⁷Pb не было зарегистрировано ни одного осколка спонтанного деления при общем интегральном потоке ионов ⁵⁸Fe 6,5 · 10¹⁶. С мишенью ²⁰⁸Pb было проведено 4 опыта. В двух из них было зарегистрировано 6 осколков спонтанного деления при интегральном потоке 1,4 · 10¹⁷ ионов. В двух других с таким же практически интегральным потоком не было обнаружено ни одного трека осколка деления. Анализ пространственного и временного распределения 6 треков осколков деления на слюдяных детекторах приводит к выводу, что, по всей вероятности, их появление можно объяснить микропримесями урана в использовавшемся материале детекторов. Характеристики облучений и полученные результаты приведены в таблице.

Таким образом, проведенные эксперименты позволяют установить верхние границы сечений образования спонтанно делящихся изотопов с $T_{1/2}^{SF} \geq 0,1$ мс в реакции ²⁰⁷Pb + ⁵⁸Fe - 2 · 10⁻³⁵ см², и в реакции ²⁰⁸Pb + ⁵⁸Fe - 3 · 10⁻³⁵ см².

Отсутствие среди продуктов реакций ^{207,208}Pb + ⁵⁸Fe спонтанно делящихся нуклидов с $T_{1/2}^{SF} \geq 0,1$ мс, мы считаем, связано с тем, что в действительности времена жизни синтезируемых изотопов 108-го элемента меньше ожидаемой величины /см. рис. 2/. Нельзя, конечно, исключить, что при переходе от бомбардирующего иона ⁵⁴Cr к ⁵⁸Fe сечение образования составного ядра падает, хотя нам это представляется менее вероятным.

Нужно отметить, что наиболее долгоживущим изотопом, который можно было надеяться наблюдать в наших опытах, является изотоп ²⁶⁵108 с числом нейтронов 157 /рис. 2/. Согласно предварительным оценкам, он должен жить около 30 мс, то есть существенно дольше соседних четно-четных изотопов. Однако он может образоваться только в реакции ²⁰⁸Pb + ⁵⁸Fe с вылетом из составного ядра всего лишь одного нейтрона. Реакция

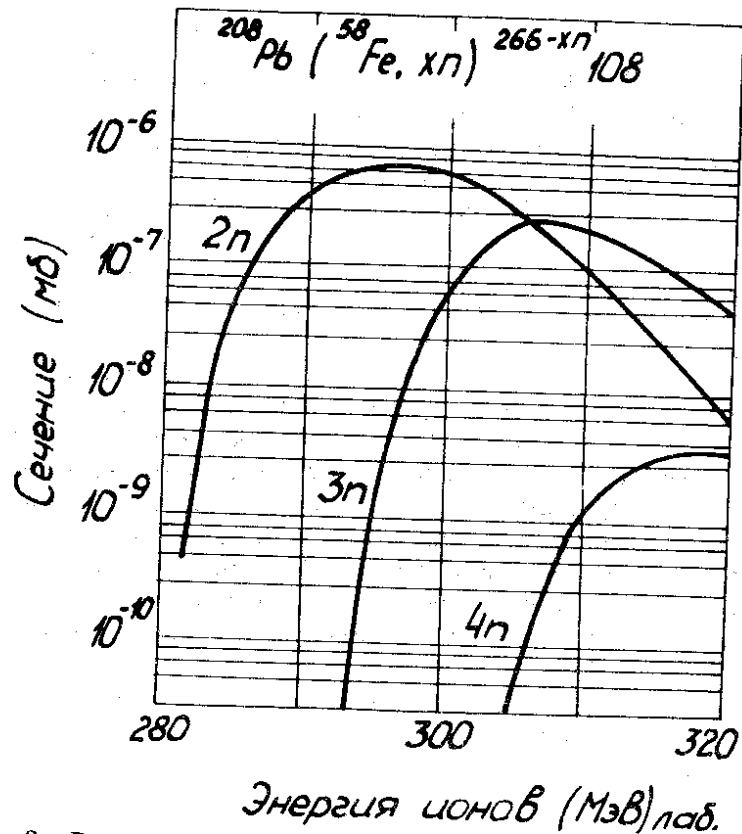


Рис.2. Результаты теоретических оценок значений $T_{1/2}^{SF}$ для изотопов 102-108 элементов ⁷⁷ и экспериментальные пределы времен жизни, полученные /а/ в данной работе и /б/ в опытах по изучению реакции $^{226}\text{Ra} + ^{48}\text{Ca}$.

такого типа в области трансурановых ядер $\text{Tl}(^{48}\text{Ca}, \text{In})$ наблюдалась с сечением $3,5 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$. Однако следует отметить, что максимум функции возбуждения такой реакции должен находиться при энергии, близкой к кулоновскому барьеру, а возможно, и ниже. При этом небольшие изменения высоты барьера могут приводить к весьма резким изменениям сечения. Поэтому не исключено, что изотоп $^{256}_{108}$ не наблюдался из-за малой величины поперечного сечения реакции с испусканием одного нейтрона.

В будущем мы хотели бы провести аналогичные опыты методикой с более высокими временными характеристиками и, по возможности, с большей чувствительностью.

Авторы весьма признательны Государственному комитету по использованию атомной энергии СССР и Госфонду стабильных изотопов за предоставленную возможность работать с обогащенными изотопами железа и свинца.

Мы искренне признательны академику Г.Н.Флерову и профессору Ю.Ц.Оганесяну за большое внимание к этой работе, ценные советы и критические замечания. Мы благодарны Б.В.Щитову за помощь в проведении экспериментов, Т.И.Рыбаковой и К.И.Меркиной за большой труд по обработке детекторов осколков деления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Oganessian Yu.Ts., et al. Nucl.Phys., 1976, A273, p. 505.
2. Oganessian Yu.Ts. et al. Nucl.Phys., 1975, A239, p.353.
3. Оганесян Ю.Ц. и др. Письма в ЖЭТФ, 1974, т. 20, вып. 8, с. 580.
4. Ter-Akopian G.M. et al. Nucl.Phys., 1975, A255, p.509.
5. Oganessian Yu.Ts. et al. Nucl.Phys., 1975, A239, p. 157.
6. Flerov G.N. et al. Nucl.Phys., 1976, A267, p. 359.
7. Pomorsky K. Nukleonika, 1973 23, part 2, p. 125.
8. Jackson J.D. Canad. J. Phys., 1956, 34, p. 767.
9. Sikkeland T., Ghirso A., Nurmi M. Phys.Rev., 1968, 172, No. 4, p. 1232.
10. Ильинов А.С., Черепанов Е.А. Препринт ИЯИАН СССР II-0090, М., 1978.
11. Колесников Н.Н., Демин А.Г. ОИЯИ, Р6-9421, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 ноября 1978 года.