

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

45x983

29/III-83

Д7-83-576

А.Г.Демин, С.П.Третьякова, В.К.Утенков,
И.В.Широковский

О СВОЙСТВАХ ИЗОТОПОВ 106-го ЭЛЕМЕНТА,
ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕАКЦИЯХ $Pb + {}^{54}Cr$

Направлено в журнал
"Zeitschrift für Physik A"

1983

В связи с экспериментами по синтезу 108-го элемента необходимы данные о свойствах изотопов с $Z = 106$, которые могут образовываться при α -распаде нуклидов с $Z = 108$. Устойчивость ядер 106-го элемента относительно спонтанного деления /времена жизни T_{SF} / представляет также самостоятельный интерес ввиду резкого изменения систематики T_{SF} при $Z = 104$. Для сопоставления с теорией наиболее информативны четно-четные изотопы с $Z \geq 104$ /в первую очередь с $Z = 106$ /, поскольку для них отсутствует неопределенный фактор замедления T_{SF} , обусловленный нечетностью.

Данные о T_{SF} изотопов 106-го элемента весьма ограничены и касаются лишь нечетных изотопов $^{259}106$ ^{1/} и $^{263}106$ ^{2/}. В проведенных нами в 1974 году экспериментах по поиску спонтанно делящихся изотопов с $Z = 106$ использовались реакции "холодного слияния" $Pb + ^{54}Cr$, наиболее эффективные вследствие малой энергии возбуждения составного ядра $E_{min}^* \approx 19$ МэВ/. При облучении изотопов свинца $^{206,207,208}Pb$ ионами ^{54}Cr в широком диапазоне энергий ионов /до 290 МэВ/ были обнаружены две активности спонтанного деления с резко отличающимся периодом полураспада: в миллисекундном /4-10 мс ^{1/} / и секундном /-1,5 с ^{3/} / диапазонах.

По совокупности контрольных экспериментов и перекрестных реакций было однозначно установлено, что обе активности обусловлены изотопами 106-го элемента. Долгоживущая активность была идентифицирована, как изотоп $^{255}104$ /вероятность спонтанного деления $b_{SF} \approx 50\%$, образующийся при α -распаде $^{259}106$, что позволило установить значительную вероятность α -распада этого изотопа 106-го элемента ^{3/}. Короткоживущая активность могла быть обусловлена изотопами $^{259}106$ или $^{260}106$. Однако ожидаемое согласно теоретическим расчетам ^{4/} время жизни $T_{SF}(^{260}106)$ должно быть примерно на два порядка меньше известного значения $T_{SF}(^{258}104)$ ^{5/}, т.е. составлять $\approx 0,1$ мс, что не могло наблюдаться в наших экспериментах. Известные в то время данные о вероятности эмиссии нейтронов в реакциях "холодного слияния" также указывали на наиболее вероятное значение $A = 259$ *

С пуском ускорителя У-400 интенсивность пучка ионов Ti , Cr , Mn и Fe возросла в десятки раз. Усовершенствовав экспериментальную методику с учетом возросшей интенсивности ионного пучка и располагая изотопами свинца с более высоким обогащением, мы вернулись к исследованию реакций $Pb + ^{54}Cr$ с целью более деталь-

* Впоследствии эти данные были существенным образом дополнены Мюнценбергом и др., показавшими большую вероятность канала с эмиссией всего одного нейтрона ^{6/}.

ного определения свойств как нечетных, так и четно-четных изотопов 106-го элемента. Постановка эксперимента была аналогична описанной ранее, что обеспечивало максимальную чувствительность регистрации спонтанно делящихся продуктов ^{1,3/}. При облучении мишеней из обогащенных изотопов $^{206,207,208}Pb$ ионами ^{54}Cr с энергией 290 МэВ исследовался широкий диапазон периодов полураспада: $10^{-3} \div 10^2$ с. В этих опытах мы снова наблюдали только две активности: с $T_{1/2} = 6_{-1}^{+2}$ мс и с $T_{1/2} = 1,5_{-0,2}^{+0,3}$ с. Величины периодов полураспада и выходов этих активностей согласуются с измеренными ранее ^{1,3/}.

Вместе с тем, благодаря большей статистике /в общей сложности было зарегистрировано около 700 осколков спонтанного деления/, удалось более четко выявить корреляцию выходов этих активностей с массовыми числами мишеней. Активность с $T_{1/2} = 1,5$ с с примерно одинаковой вероятностью образуется в реакциях с мишенями $^{206,207}Pb$ и не наблюдается в реакции $^{208}Pb + ^{54}Cr$, в которой ее выход падает по меньшей мере в 15 раз. Активность с $T_{1/2} = 6$ мс столь же равновероятно образуется в реакциях с мишенями $^{207,208}Pb$, в то время как в реакции $^{206}Pb + ^{54}Cr$ ее выход уменьшается более чем в 5 раз /см. таблицу/. Отсюда следует, что наблюдаемые активности принадлежат различным изотопам 106-го элемента.

Таблица. Результаты экспериментов

Массовое число мишени Pb	Обогащение %	Число зарегистрированных треков осколков	Наблюдаемые активности			
			$T_{1/2} = 1,5$ с		$T_{1/2} = 6$ мс	
			W_{sf} выход $\times 10^{-16}$ ион	σ_{est}^* сечение образования $\times 10^{-34}$ см ²	W_{sf} выход $\times 10^{-16}$ ион	σ_{est}^* сечение образования $\times 10^{-34}$ см ²
206	96	165	5,6	4	$\leq 1,5$	$\leq 0,5$
207	93	125	6,0	4	8,8	3
208	98	416	$\leq 0,4$	$\leq 0,3$	12,5	4

* - σ_{est} - оценка сечения образования изотопов $^{259,260}106$ в максимуме функций возбуждения реакций $Pb(^{54}Cr, xn)$ при толщине эффективного слоя мишени, соответствующей потере энергии ионов 10 МэВ.

Активность с $T_{1/2} = 1,5$ с, как и ранее, должна быть приписана изотопу $^{256}_{104}$, продукту α -распада $^{259}_{106}$, который образуется, как и следует ожидать, с максимальным выходом в реакциях $^{208,207}\text{Pb} (^{54}\text{Cr}, 1,2n) ^{259}_{106}$. Падение выхода этой активности в реакции $^{208}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$ соответствует относительно малой вероятности канала с испусканием 3-х нейтронов, что уже наблюдалось в реакциях $\text{Pb} + ^{50}\text{Ti} /^{8}/$.

Активность с $T_{1/2} = 6$ мс следует отнести к изотопу $^{260}_{106}$, выход которого также максимален в реакциях $^{207,208}\text{Pb} (^{54}\text{Cr}, 1,2n) ^{260}_{106}$ и уменьшается в реакции радиационного захвата $^{208}\text{Pb} (^{54}\text{Cr}, \gamma) ^{260}_{106}$.

Такой вывод является, на наш взгляд, весьма нетривиальным, поскольку в этом случае $T_{\text{SF}}(^{260}_{106})$ оказывается практически сравнимым с $T_{\text{SF}}(^{258}_{104})$ и требует подробного рассмотрения.

Отметим прежде всего, что измеренный выход спонтанного деления с $T_{1/2} = 6$ мс соответствует ожидаемому выходу изотопа $^{260}_{106}$ в реакциях $^{207,208}\text{Pb} (^{54}\text{Cr}, 1,2n) ^{260}_{106}$. Это следует из сопоставления с аналогичными реакциями $\text{Pb} + ^{50}\text{Ti}$, приводящими к образованию известных изотопов $^{255}_{104}$ и $^{256}_{104} / b_{\text{SF}} = 100\%$. Так, например,

$$\frac{W[^{208}\text{Pb} (^{54}\text{Cr}, 2n) ^{260}_{106} (6 \text{ мс})]}{W[^{207}\text{Pb} (^{54}\text{Cr}, 2n) ^{259}_{106} (1,5 \text{ с})]} = \frac{W[^{208}\text{Pb} (^{50}\text{Ti}, 2n) ^{256}_{104}]}{W[^{207}\text{Pb} (^{50}\text{Ti}, 2n) ^{255}_{104}]} = 2,1 \pm 0,7.$$

Здесь W - выход изотопов, измеренный по наблюдаемому спонтанному делению. Отсутствие в реакции $^{208}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$ какой-либо активности, помимо 1,5-секундной в диапазоне $T_{1/2} = 2 \cdot 10^{-3} \pm 10$ с, показывает, что вероятность α -распада изотопа $^{259}_{106}$ близка к 100%. Таким образом, из приведенного соотношения следует соответствие выхода 6-миллисекундной активности полной величине выхода реакции $^{208}\text{Pb} (^{54}\text{Cr}, 2n) ^{260}_{106}$. На этом основании исключается предположение о том, что

$$T_{\text{SF}}(^{260}_{106}) \leq T_{\alpha} (^{260}_{106}) < 1 \text{ мс},$$

поскольку в этом случае значительное количество актов спонтанного деления $^{260}_{106}$ могло не наблюдаться в наших опытах.

По систематике парциальный период полураспада $T_{\alpha} (^{260}_{106})$ составляет ~ 3 мс ^{/7/}, а значение $T_{1/2} = 6$ мс практически не отличается от периода полураспада изотопа $^{256}_{104}$, дочернего продукта α -распада $^{260}_{106} / 5,2^{+1,8}_{-1,2}$ мс по нашим данным, $8,1^{+1,6}_{-1,1}$ мс по данным Мюнценберга и др. ^{/8/}. Таким образом, вероятность α -распада у изотопа $^{260}_{106}$ может оказаться доминирующей*. В этом

* Вероятность бета-распада /электронного захвата/ у изотопов $^{258-262}_{106}$ пренебрежимо мала ^{/7/}.

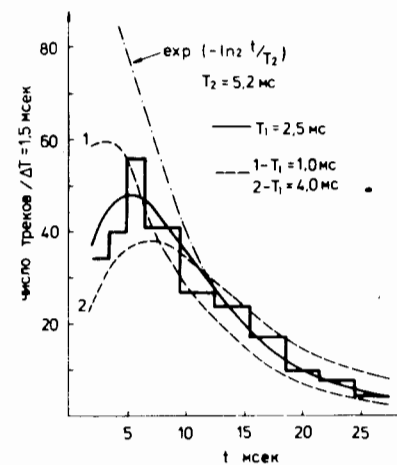


Рис.1. Временное распределение осколков спонтанного деления, зарегистрированных в реакции $^{208}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$. Кривые - расчетные распределения при образовании изотопа $^{260}_{106} (T_{1/2} = T_2)$ в результате α -распада $^{260}_{106} (T_{1/2} = T_1)$.

случае временное распределение осколков спонтанного деления при получении изотопа $^{260}_{106}$ должно иметь характерный вид кривой с накоплением активности.

Мы провели эксперименты с целью проверки этой гипотезы в различных временных режимах, используя реакцию $^{208}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$, в которой выход долгоживущей активности минимален. На рис.1 представлено суммарное временное распределение треков, зарегистрированных в этих опытах. Начальный участок этого распределения имеет некоторое отклонение от однокомпонентной кривой распада, выходящее за пределы статистической погрешности.

Анализ этого распределения в предположении двухкомпонентной кривой "накопление-распад" показывает, что при вероятности α -распада изотопа $^{260}_{106} b_{\alpha} > 80\%$ его период полураспада $T_{1/2} (^{260}_{106}) = 2,5 \pm 1,5$ мс.

Можно, по-видимому, оптимальным образом подобрать временной режим наблюдения и уточнить полученные данные, увеличив статистику. Однако независимо от точных значений $T_{1/2} (^{260}_{106})$ и соотношения основных типов распада этого изотопа его период полураспада относительно спонтанного деления $T_{\text{SF}} \geq 5$ мс.

Можно также сделать некоторые заключения о T_{SF} нечетных изотопов $^{259,261}_{106}$. Парциальные времена жизни T_{α} этих изотопов по систематике составляют 0,2 и 0,08 с соответственно ^{/7/}. Отсутствие заметного эффекта спонтанного деления, которое могло бы быть приписано этим изотопам в реакциях $^{208}\text{Pb} (^{54}\text{Cr}, n) ^{259}_{106}$ и $^{208}\text{Pb} (^{54}\text{Cr}, n) ^{261}_{106}$, позволяет установить, что $T_{\text{SF}} (^{259}_{106}) > 0,1$ с, а $T_{\text{SF}} (^{261}_{106}) > 0,4$ с.

На рис.2 полученные данные сопоставлены с теоретическими расчетами T_{SF} для четно-четных ядер ^{/4,8/}. Следует отметить согласие наших данных для $^{260}_{106}$ с результатами Барана и др. ^{/8/}, которые, однако, дают при этом завышенное значение $T_{\text{SF}} (^{258}_{104})$. Сохраняется ли наблюдаемое при $Z = 106$ и $N = 154$ относительное повышение устойчивости по спонтанному делению для более широкого круга ядер с $Z \geq 106$? Для ответа на этот вопрос необходимы, по-видимому, сведения о других четно-четных изотопах 106-го и 108-го элементов.

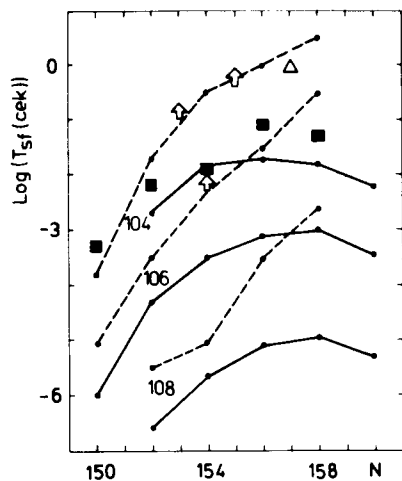


Рис.2. Времена жизни T_{SF} четно-четных $Z = 104, 106, 108$ и нечетных $Z = 106$ ядер. — — — расчеты Рандрупа и др.^{/4/}, - - - - - расчеты Барана и др.^{/8/}, ■ - известные экспериментальные данные для $Z = 104$, Δ - $^{283}106$ ^{/2/}, \uparrow - настоящая работа.

Авторы благодарны академику Г.Н.Флерову и профессору Ю.Ц.Оганесяну за интерес к данной работе и поддержку на всех ее этапах.

Авторы признательны также коллективу отдела ускорителей, который под руководством Г.Г.Гульбекяна обеспечивал эффективную работу У-400, и И.В.Колесову, В.М.Плотко, Г.Н.Иванову за помощь при проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оганесян Ю.Ц. и др. Письма в ЖЭТФ, 1974, 20, с.580.
2. Друин В.А. и др. ОИЯИ, Р7-12056, Дубна, 1978; ЯФ, 1979, 29, с.1149.
3. Оганесян Ю.Ц. Международная школа-семинар по взаимодействию тяжелых ионов с ядрами и синтезу новых элементов. ОИЯИ, Д7-9734, Дубна, 1976, с.9.
4. Randrup J. et al. Nucl.Phys., 1973, A217, p.221; Phys.Rev., 1976, C13, p.229.
5. Ghiorso A. et al. Phys.Rev.Lett., 1969, 22, p.1317.
6. Münzenberg G. et al. "Actinides-1981" Conf. Pacific Grove, 1982, p.223.
7. Колесников Н.Н., Демин А.Г. ОИЯИ, Р6-9421, Дубна, 1975.
8. Baran A. et al. 3rd Int.Conf.on Nuclei Far from Stability, Cargese, 1976, p.537.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 августа 1983 года.

Демин А.Г. и др.

Д7-83-576

О свойствах изотопов 106-го элемента, образующихся в реакциях $Pb + ^{54}Cr$

При облучении мишеней из обогащенных изотопов свинца ионами ^{54}Cr исследовалась вероятность спонтанного деления изотопов 106-го элемента, образующихся в реакциях $Pb(^{54}Cr, 1,2n)106$. Показано, что период полураспада четно-четного изотопа $^{280}106$ относительно спонтанного деления $T_{SF} \geq 5$ мс. Получены также оценки для соседних нечетных изотопов: $T_{SF}(^{289}106) \geq 0,1$ с, $T_{SF}(^{281}106) \geq 0,4$ с. Результаты экспериментов обсуждаются в сопоставлении с последними данными теоретических расчетов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Demin A.G. et al.

D7-83-576

On the Properties of the Element 106 Isotopes Produced in the Reactions $Pb + ^{54}Cr$

In ^{54}Cr ion bombardments of targets prepared from enriched lead isotopes the spontaneous fission probability for the isotopes of element 106 formed in the reactions $Pb(^{54}Cr, 1,2n)106$ was investigated. The spontaneous fission half-life of the double-even isotope $^{280}106$ has been shown to be $T_{SF} \geq 5$ ms. The half-lives of neighbouring odd-mass isotopes have also been estimated: $T_{SF}(^{289}106) \geq 0.1$ s and $T_{SF}(^{281}106) \geq 0.4$ s. The results of the experiments are discussed in comparison with the latest theoretical calculations.

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

Preprint of the

Перевод автор