

0-361

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



1223/2-79

2/11-79

\* P7 - 12054

Ю.Ц.Оганесян, Г.М.Тер-Акопьян, А.А.Плеве,  
В.И.Чепигин, О.А.Орлова, В.Зайдель, Ю.А.Селицкий,  
В.Б.Фунштейн, Х.Брухертзайфер, О.Константинеску,  
М.Шварценберг, К.А.Гаврилов, С.С.Коваленко,  
К.А.Петржак

ОПЫТЫ ПО СИНТЕЗУ 108 ЭЛЕМЕНТА  
В РЕАКЦИИ  $^{226}\text{Ra} + ^{48}\text{Ca}$

1978

P7 - 12054

Ю.Ц.Оганесян, Г.М.Тер-Акопьян, А.А.Плеве,  
В.И.Чепигин, О.А.Орлова, В.Зайдель, Ю.А.Селицкий,  
В.Б.Фушштейн, Х.Брухертзайфер, О.Константинеску,  
М.Шварценберг, К.А.Гаврилов, С.С.Коваленко,  
К.А.Петржак

ОПЫТЫ ПО СИНТЕЗУ 108 ЭЛЕМЕНТА  
В РЕАКЦИИ  $^{226}\text{Ra} + ^{48}\text{Ca}$

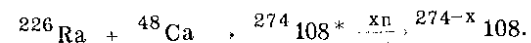
*Направлено в ЯФ*

<p>Оганесян Ю.Ц. и др. P7 - 12054</p> <p>Опыты по синтезу 108 элемента в реакции <math>^{226}\text{Ra} + ^{48}\text{Ca}</math></p> <p>Проведены эксперименты по синтезу изотопов 108 элемента в реакции <math>^{226}\text{Ra}(^{48}\text{Ca}, xn)^{274-x}108</math>.</p> <p>Получены верхние пределы сечений образования и периодов полураспада:</p> <p><math>^{271}108 - 3 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2, 1 \text{ мс (спонт. дел.)};</math>  <math>^{271}108 - 1 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2, (\alpha\text{-распад});</math>  <math>^{270,272}108 - 3 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2, 1 \text{ мс (спонт. дел.)}.</math></p> <p>Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.</p> <p>Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978</p>	<p>Oganessian Yu.Ts. et al. P7 - 12054</p> <p>Experiments on the Synthesis of Element 108 in the <math>^{226}\text{Ra} + ^{48}\text{Ca}</math> Reaction</p> <p>The experiments on the synthesis of element 108 in the <math>^{226}\text{Ra}(^{48}\text{Ca}, xn)^{274-x}108</math> reaction have been performed. The upper limits for production cross sections and half-lives have been obtained:</p> <p><math>^{271}108 - 3 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2, 1 \text{ ms (spont. fission)};</math>  <math>^{271}108 - 1 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2, (\alpha\text{-decay});</math>  <math>^{270,272}108 - 3 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2, 1 \text{ ms (spont. fission)}.</math></p> <p>The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.</p> <p>Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

© 1978 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Наряду с традиционным методом синтеза трансурановых элементов нами <sup>/1-5/</sup> была показана возможность использования реакций  $\text{Pb}(\text{HI}, xn)$ , что позволило синтезировать ряд новых изотопов 102-107 элементов <sup>/2-6/</sup>. Большие возможности для синтеза новых ядер дают, в частности, ионы  $^{48}\text{Ca}$ , что было показано на примере образования изотопов 102 элемента в реакциях типа  $\text{Pb} + ^{48}\text{Ca}$  <sup>/2/</sup>.

Вместе с тем, попытки синтезировать с помощью ионов  $^{48}\text{Ca}$  сверхтяжелые ядра в области  $Z = 110-116, N = 165-177$  при облучении мишеней от Th до Cm до сих пор не дали положительных результатов, несмотря на высокую чувствительность опытов  $\sigma_{\text{пред.}} \leq 10^{-33} - 10^{-35} \text{ см}^2$  <sup>/8-11/</sup>. Здесь возможны два объяснения: либо периоды полураспада синтезируемых ядер много меньше минимального времени регистрации, либо сечения реакций типа  $(\text{HI}, xn)$  в области сверхтяжелых ядер меньше, чем  $10^{-35} \text{ см}^2$ . 108 элемент занимает промежуточное положение между областью сверхтяжелых ядер и уже известных ( $Z \leq 107$ ). Поэтому мы предприняли попытку синтезировать его в реакции:



На рис. 1 показаны функции возбуждения для этого случая, рассчитанные по модели Джексона-Сиккеланда <sup>/12/</sup>. В этих расчетах были использованы значения  $\Gamma_n / \Gamma_f$ , полученные путем экстраполяции экспериментальных данных для более легких ядер.

Видно, что наибольшее сечение предсказывается для реакции  $(3n): \sigma_{3n}^{\text{max}} = 3 \cdot 10^{-33} \text{ см}^2$ . При этом образуется нечетный изотоп  $^{271}108$ , который должен быть более устойчивым по отношению к спонтанному делению из основного состояния, чем соседние чётно-чётные изотопы.

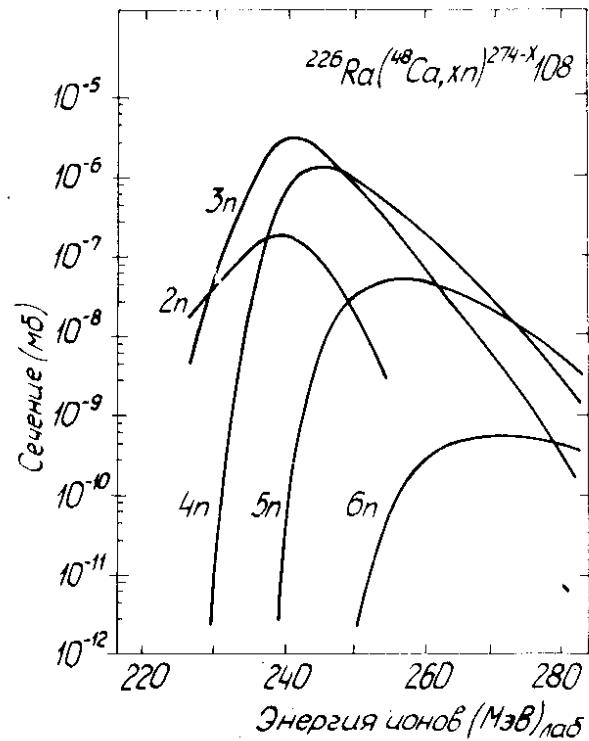


Рис. 1. Рассчитанные функции возбуждения для реакций  $^{226}\text{Ra} (^{48}\text{Ca}, xn)^{274-x}\text{108}$ .

Можно получить приближенную оценку свойств изотопа  $^{271}\text{108}$ , используя результаты теоретических расчетов в наиболее близкой области (Z, A). Согласно работам К.Поморского<sup>13/</sup> и А.Барана и др.<sup>14/</sup> следует ожидать, что  $T_{\text{S.F.}}$  этого изотопа имеет величину порядка 10 с. В то же время расчеты И.Рандрупа и др.<sup>15/</sup> дают значения  $T_{\text{S.F.}}$  для области  $Z = 104 \div 106$  на 2-3 порядка ниже.

Время жизни по отношению к  $\alpha$ -распаду ( $T_{\alpha}$ ) предсказывается с большей точностью. Мы воспользовались полуэмпирической формулой для  $T_{\alpha}$ <sup>16/</sup> и массовой формулой<sup>17/</sup> для расчета энергий  $\alpha$ -распада. Полученные таким образом значения  $T_{\alpha}$  для изотопа  $^{271}\text{108}$  и возможных продуктов его  $\alpha$ -распада показаны на рис. 2. Видно, что для этого изотопа предсказывается  $T_{\alpha} < T_{\text{S.F.}}$ .

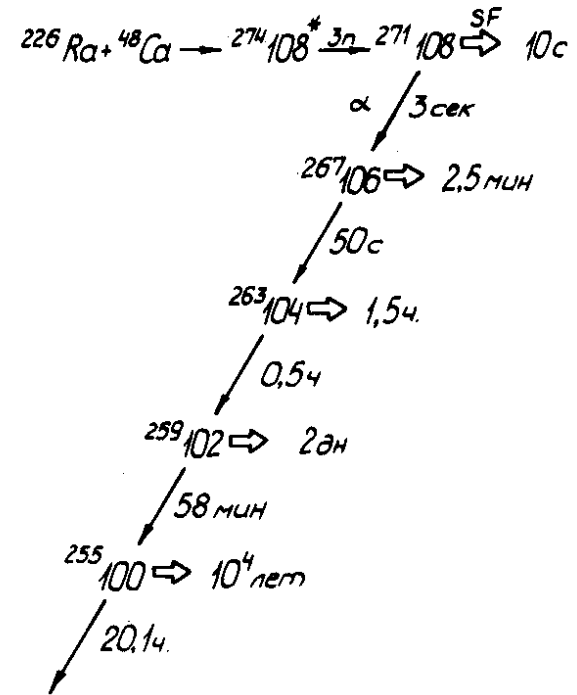


Рис. 2. Схема образования и распада изотопа  $^{271}\text{108}$ .

Изотопы  $^{255}\text{Fm}$  и  $^{259}\text{102}$  хорошо известны, и для них приведены экспериментальные значения периодов полураспада. Оценки  $T_{\text{S.F.}}$  для неизвестных промежуточных нуклидов цепочки  $^{267}\text{106}$  и  $^{263}\text{104}$  получены путем экстраполяции экспериментальных данных для более легких нечетных изотопов этих элементов<sup>3,5,6/</sup>. Видно, что эти ядра также должны испытывать в основном  $\alpha$ -распад. В таком случае можно попытаться зарегистрировать в опытах  $^{255}\text{Fm} / T_{1/2} = 20,1 \text{ ч}$ ,  $E_{\alpha} = 7,01 \text{ МэВ}$  как продукт распада  $^{271}\text{108}$ .

Из-за большой неопределенности теоретических предсказаний  $T_{\text{S.F.}}$  нельзя исключить и другую возможность, а именно: изотоп  $^{271}\text{108}$  или продукты его  $\alpha$ -распада испытывают в основном спонтанное деление. Поэтому в опытах нужно было предусмотреть также возможность регистрации спонтанного деления с учетом очень коротких времен жизни синтезируемого элемента или продуктов  $\alpha$ -распада.

На основании всего изложенного выше принята следующая схема эксперимента: тонкая мишень и вращающийся сборник, переносящий ядра отдачи к детекторам осколков деления. В таком варианте удастся добиться хорошего быстродействия, непрерывной регистрации продуктов реакции, высокой эффективности и, практически, отсутствия фона. В то же время для обнаружения долгоживущего  $^{255}\text{Fm}$  существует возможность по окончании облучения провести химическое разделение продуктов реакций, попавших на сборник, и фракцию, содержащую  $\text{Fm}$ , проанализировать с помощью  $\alpha$ -спектрометра.

### ЭКСПЕРИМЕНТ

Опыты проводились на внутреннем пучке циклотрона У-300 ЛЯР ОИЯИ. Пучок ионов  $^{48}\text{Ca}$  интенсивностью  $2 \cdot 10^{11}$  ион/с попадал на мишень из  $^{226}\text{Ra}$  / $0,5 \text{ мг/см}^2$ /, нанесенного в виде  $\text{RaF}_4$  методом испарения в вакууме на никелевую подложку / $0,89 \text{ мг/см}^2$ / . Мишень была закреплена в медной решетчатой кассете, охлаждаемой водой. Ядра отдачи выбивались из мишени, попадали на вращающийся сборник /алюминиевая фольга толщиной  $1,9 \text{ мг/см}^2$ / и переносились к детекторам осколков деления /см. рис. 3/. В качестве детекторов использовалась слюда "мусковит" с содержанием урана менее  $10^{-6} \text{ г/г}$ , что исключало фон осколков деления урана под воздействием нейтронов реакций. Эффективность регистрации осколков составляла 50%. Детекторы были максимально приближены к мишени; минимальное время переноса ядер /продуктов реакции/ от мишени к детекторам составляло 1 мспри скорости вращения сборника 1400 об/мин.

Высокая удельная активность радия и летучесть радиоактивных продуктов его распада, в особенности  $^{222}\text{Rn}$ , обусловили дополнительные жесткие требования к конструкции экспериментальной установки. Для исключения попадания радона в камеру ускорителя установка имела герметичный рабочий объем - камеру реакций и детекторов - с тонким входным окном для пучка ионов /фольга из Ni толщиной  $1,7 \text{ мг/см}^2$ /.

Рабочий объем во время облучения был заполнен гелием при давлении 30 мм рт.ст. Это обеспечивало дополнительное охлаждение мишени. Кроме того, с помощью замкнутой циркуляционной системы гелий непрерывно прокачивался через ловуш-

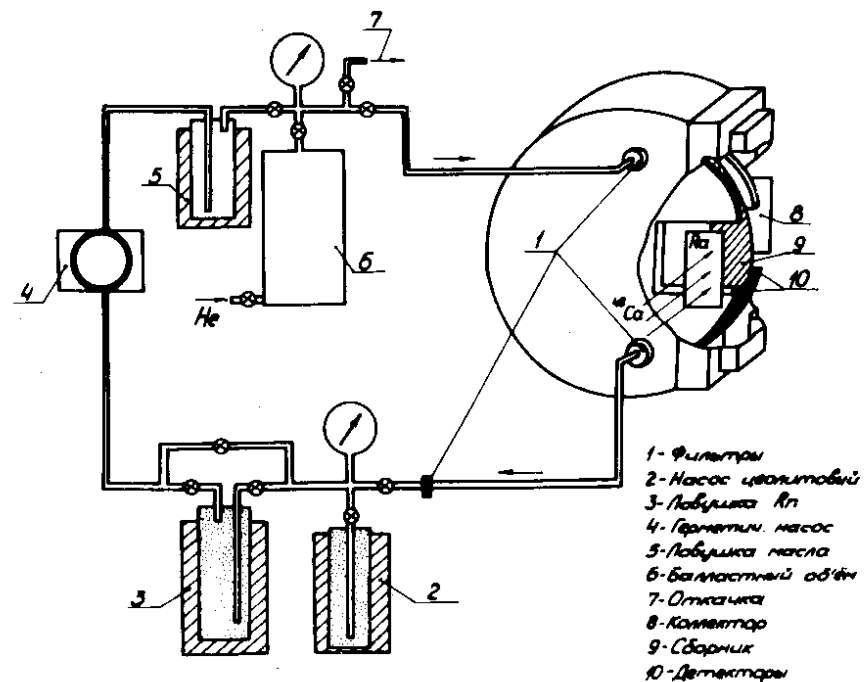


Рис. 3. Схема экспериментальной установки.

ку с жидким азотом для очистки от радона /см. рис. 3/. Рабочий объем был отделен от остальной части гелиевой системы азрозольными фильтрами. Уровень  $\alpha$ -активности в нем во время облучения контролировался специальными поверхностно-барьерными детекторами.

Особое внимание было обращено на конструкцию и метод изготовления мишени, а также на чистоту радия от примесей свинца и урана. Эти примеси опасны тем, что при облучении  $^{208}\text{Pb}$  ионами  $^{48}\text{Ca}$  образуется спонтанно делящийся изотоп  $^{252}102$  с сечением  $5 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2/2$ , а при облучении урана тяжелыми ионами - спонтанно делящиеся изомеры / $\sigma \sim 10^{-31} \text{ см}^2$ / . Обе примеси, таким образом, могут быть источником фона осколков на слюдяных детекторах. Для обеспечения достаточно высокой чувствительности опытов / $\sigma_{\text{пред.}} \leq 10^{-35} \text{ см}^2$ / содержание свинца в мишени должно было быть не более  $10^{-5} \text{ г/г}$ , урана - не более  $10^{-3} \text{ г/г}$ .

Известно, что изотопы свинца 206 и 210 являются продуктами распада  $^{226}\text{Ra}$  и накапливаются при его хранении. Поэтому тщательная химическая очистка радия от свинца была проведена непосредственно перед изготовлением мишени. Содержание свинца контролировалось по  $\gamma$ -излучению  $^{210}\text{Pb}$  /  $E_\gamma = 47 \text{ КэВ}$  /.

Энергия ионов  $^{48}\text{Ca}$  в центре слоя Ra составляла 236 МэВ, что соответствовало расчетному максимуму сечения реакции ( $3n$ ). Разброс энергий за счет толщины слоя составлял  $\pm 3 \text{ МэВ}$ , за счет собственной некогерентности пучка ионов в циклотроне -  $\pm 2 \text{ МэВ}$ .

Во время облучений интенсивность пучка ионов  $^{48}\text{Ca}$  контролировалась с помощью коллектора ионного тока. Абсолютное значение интегрального потока ионов определялось по активации узкой /2 мм/ алюминиевой мишени, укрепленной на вращающемся сборнике, путем измерения выхода реакции  $^{27}\text{Al} (^{48}\text{Ca}, 3n)$ ,  $^{67}\text{As}$ ,  $^{67}\text{Ge}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ . Величина сечения этой реакции была определена в отдельном опыте с измерением полного тока ионов.

После облучения рабочий объем промывался в течение некоторого времени циркулирующим гелием в отсутствие пучка. Затем камера реакций отделялась от остальной части установки и вскрывалась в специальном герметичном боксе. Слюдяные детекторы после промывки и контроля  $\alpha$ -загрязнения подвергались травлению и просматривались на микроскопе.

Сборник ядер отдачи анализировался на содержание  $^{255}\text{Fm}$  - возможного продукта  $\alpha$ -распада изотопа  $^{271}\text{108}$ . Схема химического выделения трансплутониевой фракции из сборника состояла из соосаждения с миллиграммовым количеством гидроксида лантана, растворении в разбавленной кислоте с последующей очисткой от балластных примесей Al и Fe на катионно-обменной колонке растворами  $1\text{NH}_4\text{F}$  и  $1\text{NNH}_4\text{SCN}$ .

Нужная степень очистки от Al, Ra и  $^{232}\text{Th}$  достигалась за счет цикла, включающего хроматографическое разделение на колонке катионита /типа ВОФ АТИТ КПС/ раствором  $\alpha$ -оксиизобутирата, подкисление элюата и затем разделение на экстракционной колонке /Д2ЭГФК на силикагеле/ раствором соляной кислоты. Указанный цикл может быть повторен неоднократно вплоть до достижения требуемой степени очистки. Эффективность выделения определялась по внесённому на начальной стадии индикаторному количеству  $^{249}\text{Cf}$  /  $E_\alpha = 5,812 \text{ МэВ}$ ,  $T_{1/2} = 350,6 \text{ з/}$

и составила 80%. На конечной стадии всей процедуры выделенная фракция наносилась путем электролиза на подложку из Ni для измерения на  $\alpha$ -спектрометре с разрешением не хуже 50 кэВ.

Электролиз проводился из солянокислого раствора или подкисленного раствора  $\alpha$ -оксиизобутирата после добавления хлорида аммония. Эффективность регистрации использованного нами Si(Au) - детектора составляла 30%.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

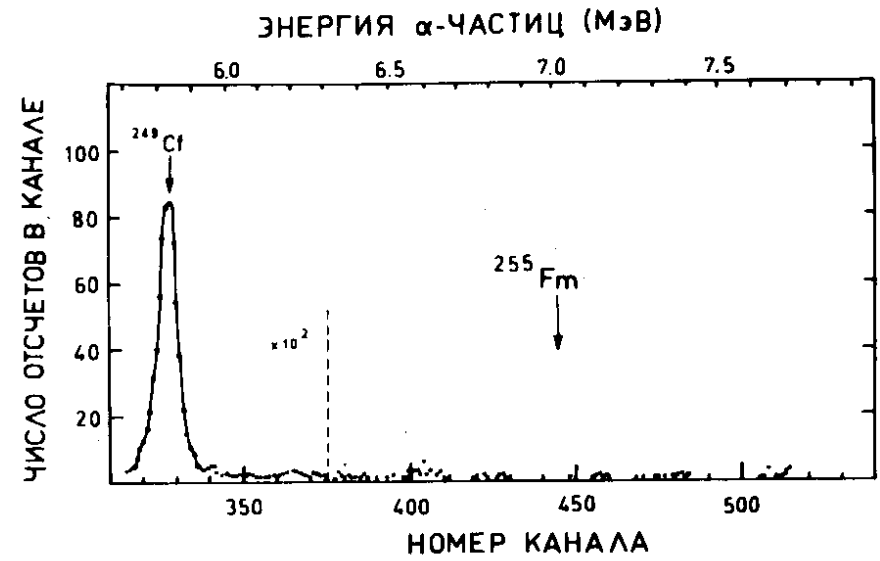
Интегральный поток ионов  $^{48}\text{Ca}$  составил  $4,5 \cdot 10^{16}$  при общей длительности облучения 60 час. На слюдяных детекторах не было зарегистрировано ни одного осколка спонтанного деления. Соответствующая этому результату верхняя граница сечения образования в реакции  $^{226}\text{Ra} + ^{48}\text{Ca}$  спонтанно делящихся продуктов с  $T_{1/2} \geq 1 \text{ мс}$ , в том числе изотопов  $^{270-272}\text{108}$ , составляет  $3 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2$  в диапазоне энергий ионов 225-235 МэВ /лаб. сист./.

Выделенная из сборника химическая фракция трансплутониевых элементов помещалась в  $\alpha$ -спектрометр через 8 час после конца облучения. Время измерения составило 108 час. Полученный при этом полный  $\alpha$ -спектр показан на рис. 4. Группы одиночных импульсов на спектре могут быть отнесены к известным изотопам Th, Ra, Rn, Po, Bi, образовавшимся в реакциях передачи. В то же время в области  $^{255}\text{Fm} / E_\alpha = 7,01 \text{ МэВ}$  не было зарегистрировано ни одного события. Этому результату соответствует верхняя граница сечения образования изотопов  $^{271}\text{108}$  в реакции  $^{226}\text{Ra} + ^{48}\text{Ca}$ , равная  $10^{-34} \text{ см}^2$ , при условии  $T_\alpha \ll T_{S.F.}$ .

Совокупность данных, характеризующих полученные результаты, приведена в таблице. Отсутствие среди продуктов реакций  $^{226}\text{Ra} + ^{48}\text{Ca}$  спонтанно делящихся нуклидов, а также  $^{255}\text{Fm}$  как продукта распада изотопа  $^{271}\text{108}$  можно объяснить одной из двух причин: либо реальные сечения образования изотопов  $^{270-272}\text{108}$  меньше установленного предела, либо эти ядра испытывают в подавляющем числе случаев спонтанное деление, причем  $T_{S.F.} \ll 1 \text{ мс}$ . Рассмотрим подробно эти предположения.

Таблица

Реакция	Объект наблюдения	$E_{\text{ион}}^{\text{лаб}}$ (МэВ)	$E^*$ (МэВ)	$T_{1/2}$ (с)		$\sigma$ (см <sup>2</sup> )	
				теор.	эксп.	теор.	эксп.
$^{226}\text{Ra} + ^{48}\text{Ca}$	Спонтанное деление	225-235	31-39	10	$\leq 3 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-88}$	$\leq 3 \cdot 10^{-85}$
	$^{255}\text{Fm}$ как продукт $\alpha$ -распада $^{271}\text{108}$	225-235	31-39	-	-	$3 \cdot 10^{-88}$	$\leq 10^{-84}$

Рис. 4.  $\alpha$ -спектр трансплутониевой фракции, выделенной из сборника ядер отдачи после 60-часового облучения.

Если предположить, что изотоп  $^{271}\text{108}$  был образован в реакции, то отсутствие  $^{255}\text{Fm}$  означает, что  $\alpha$ -цепочка обрывается спонтанным делением где-то выше известного ядра  $^{259}\text{102}$ . Оценки  $T_{S.F.}$  для  $^{263}\text{104}$  и  $^{267}\text{106}$  были сделаны путем экстраполяции экспериментальных данных и поэтому более надежны, чем для  $^{271}\text{108}$ . Хотя для этих изотопов предсказанные значения  $T_{S.F.}$  не намного больше  $T_{\alpha}$  /фактор 2-3/ и нельзя исключить обратного соотношения, однако если бы  $\alpha$ -цепочка обрывалась на одном из этих ядер, осколки деления были бы зарегистрированы детекторами. Отсюда следует вывод, что именно  $^{271}\text{108}$  должен испытывать преимущественно спонтанное деление с  $T_{S.F.} < 1$  мс, что на 4 порядка величины меньше ожидавшегося значения 10 с /см. рис. 5/. Соседние с ним четно-четные изотопы 108 элемента должны иметь еще меньшие периоды полураспада.

Такой вывод не является неожиданным, т.к. точность расчетов  $T_{S.F.}$ , выполненных к настоящему времени, невелика. Расхождения с экспериментальными данными в области известных ядер достигают нескольких порядков величины [13-15, 18]. Оценить неопределенность предсказаний в области неизвестных

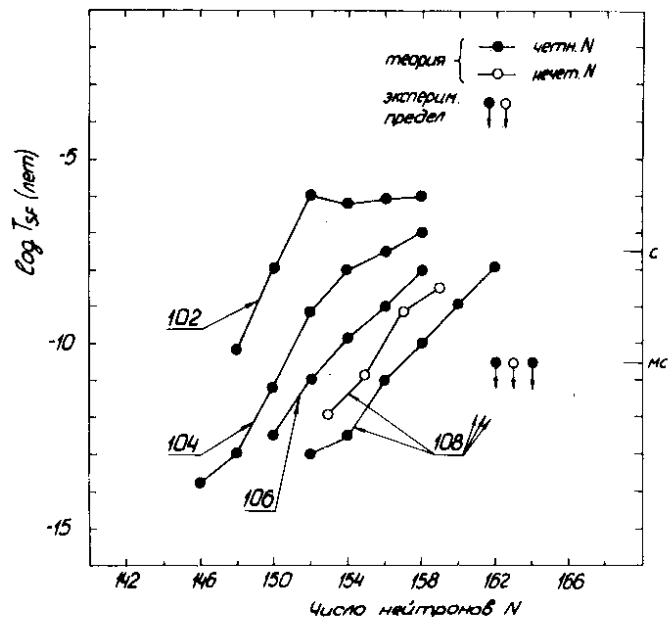


Рис. 5. Рассчитанные <sup>13/</sup>значения  $T_{S.F.}$  для изотопов 102-108 элементов и экспериментальные пределы, полученные в настоящей работе.

ядер можно, сравнивая результаты расчетов по различным моделям. Например, недавние расчеты  $T_{S.F.}$ , выполненные /а/ в статическом приближении /минимум потенциальной энергии вдоль "пути деления"/ <sup>15/</sup> и /б/ в рамках динамической модели /минимум действия/ <sup>13, 14/</sup> дают близкие результаты в области известных изотопов 100-102 элементов и различающиеся на 2-3 порядка в соседней области / $Z = 104-108$ ,  $N = 156-162$ /. Предсказываемый монотонный рост  $T_{S.F.}$  с увеличением числа нейтронов <sup>13, 14/</sup> также является проблематичным <sup>15/</sup>. Поэтому предположение о том, что в действительности время жизни изотопов <sup>270-272</sup>108 относительно спонтанного деления  $T_{S.F.} < 1$  мс не представляется невероятным.

Другое предполагаемое объяснение наших результатов касается проблемы полного слияния двух ядер в реакциях типа Ra+Ca. Вопрос о вероятности полного слияния двух сталкивающихся тяжелых ядер и, следовательно, о возможности синтеза сверхтяжелых ядер на ускорителях сейчас широко иссле-

дуется экспериментально и теоретически. Ряд комбинаций "мишень + налетающий ион" изучен экспериментально <sup>17-19, 21/</sup>. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что при слиянии ядер Pb с ядрами Ar, Ca, Ti, Cr сечения реакций с испарением двух-трех нейтронов лежат в диапазоне  $10^{-30} - 10^{-33} \text{ см}^2$ , т.е. сравнительно велики в масштабах обычных сечений при синтезе трансурановых элементов с  $Z > 100$ . В частности, сечение реакции  $^{208}\text{Pb}(^{48}\text{Ca}, 2n)^{254}102$  равно в максимуме  $3 \cdot 10^{-30} \text{ см}^2$  <sup>7/</sup>; сечение реакции  $^{207}\text{Pb}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{252}102$  равно  $1,2 \cdot 10^{-31} \text{ см}^2$  <sup>12/</sup>. Эти значения хорошо описываются с помощью расчетов, выполненных в рамках испарительных моделей <sup>2, 7/</sup>. Маловероятно, что при переходе от Pb к Ra при той же налетающей частице <sup>48</sup>Ca механизм реакций изменился столь сильно, что сечение полного слияния уменьшилось в десятки раз. Тем не менее граничные значения сечений, полученные в настоящей работе / $10^{-34} - 3 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2$ /, оказались в 30-100 раз меньше, чем ожидавшиеся /см. рис. 1/.

Следует отметить одно обстоятельство, которое могло оказаться критическим в наших опытах. Расчетные максимумы сечений реакций (2n) и (3n) находятся вблизи кулоновского порога слияния ядер <sup>226</sup>Ra и <sup>48</sup>Ca. В данном случае левая часть функций возбуждения определяется проницаемостью кулоновского барьера. Поэтому сами положения максимумов и, в особенности, величины сечений в максимуме резко зависят от высоты кулоновского барьера. Например, увеличение высоты барьера на 5 МэВ, эквивалентное уменьшению эффективного радиуса взаимодействия на 2,6%, уменьшает расчетное значение сечения реакции (2n) в 20 раз; реакции (3n) - в 4-5 раз.

Существуют аргументы <sup>20, 22/</sup> в пользу того, что с ростом массы сталкивающихся ядер порог слияния должен увеличиваться несколько быстрее, чем высота кулоновского барьера, рассчитанная по обычной формуле <sup>23/</sup>. Экспериментально такое увеличение наблюдалось в реакциях с более тяжелыми, чем <sup>48</sup>Ca, ионами /Cu <sup>24/</sup>, Ge <sup>25/</sup>, Kr <sup>26/</sup>/ и составляет для этих случаев несколько процентов. Однако в реакциях  $^{208}\text{Pb} + ^{40}\text{Ar}$  <sup>20, 26/</sup> / $^{208}\text{Pb} + ^{48}\text{Ca}$  <sup>2, 7/</sup>,  $^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$  <sup>26/</sup> увеличения порогов не наблюдалось. Поскольку мы не знаем точного значения порога слияния для нашей реакции, не исключено, что теоретические оценки сечений могли быть завышены.



Абсолютная величина сечений испарительных реакций зависит существенным образом от конкуренции между делением и испарением нейтронов в процессе сброса энергии возбуждения составным ядром. Изменение параметра  $\Gamma_n/\Gamma_f$  в 2-3 раза может объяснить отсутствие эффекта в наших опытах.

Таким образом, имея в виду отмеченные выше факторы, влияющие на величину сечений, и связанную с этим степень неточности теоретических оценок, мы приходим к выводу, что вопрос о сечениях реакции  $^{226}\text{Ra} (^{48}\text{Ca}, xn)$  нельзя считать определенным. Очевидно, что необходимо провести эксперименты с более высокой чувствительностью /до  $\sigma \sim 10^{-36}$  см<sup>2</sup>/. Такая возможность представится с вводом в строй нового циклотрона У-400, который в настоящее время подготавливается к запуску в ЛЯР ОИЯИ<sup>[27]</sup>. Выведенный пучок ионов  $^{48}\text{Ca}$  существенно большей интенсивности, чем использованный в настоящей работе, позволит значительно увеличить быстродействие и чувствительность опытов по синтезу 108 и более тяжелых элементов.

Авторы выражают искреннюю признательность Госкомитету по использованию атомной энергии СССР и Госфонду стабильных изотопов за предоставленную возможность работать с обогащенным изотопом  $^{48}\text{Ca}$ , академику Г.Н.Флерову за стимулирующий интерес к работе и ценные обсуждения.

Авторы благодарят Ю.А.Музычку, Б.И.Пустыльника и Б.А.Черепанова за теоретические консультации, Т.И.Рыбакову, С.П.Третьякову и К.И.Меркину за помощь в обработке трековых детекторов.

Коллективу эксплуатации циклотрона У-300, руководимому Б.Н.Марковым, мы благодарны за обеспечение эффективной работы ускорителя во время ускорения ионов кальция.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Oganessian Yu.Ts. et al. *Nucl. Phys.*, 1975, A239, p.353.
2. Flerov G.N. et al. *Nucl. Phys.*, 1976, A267, p.359.
3. Оганесян Ю.Ц. и др. Письма в ЖЭТФ, 1974, 20, с.580; ОИЯИ, Д7-8099, Дубна, 1974.
4. Oganessian Yu.Ts. et al. *Nucl. Phys.*, 1976, A273, p. 505.
5. Oganessian Yu.Ts., et al. *Nucl. Phys.*, 1975, A239, p.157.

6. Ter-Akopian G.M. et al. *Nucl. Phys.*, 1975, A255, p.509.
7. Nitschke J.M. et al. *Preprint LBL-6534*, 1977.
8. Oganessian Yu.Ts. et al. *Nucl. Phys.*, 1978, A294, p.213.
9. Ter-Akopian G.M. et al. *JINR*, E7-10722, Dubna, 1977. (Submitted to *Yad. Fiz.*).
10. Hulet E.K. et al. *Phys. Rev. Lett.*, 1977, 39, p.385.
11. Otto R.J. et al. *Preprint LBL-6509*, 1977.
12. Jackson J.D. *Can. J. Phys.*, 1956, 34, p.767; Sikkeland T. et al. *Phys. Rev.*, 1968, 172, p.1232.
13. Pomorski K. *Nucleonica*, 1973, 23, part 2, p.125.
14. Baran A. et al. *Proc. 3rd Int. Conf. on Nuclei Far from Stability*, CERN 76-13, 1976, p.537.
15. Randrup J. et al. *Phys. Rev.*, 1976, C13, p.229.
16. Колесников Н.Н., Демин А.Г. ОИЯИ, Р6-9421, Дубна, 1975.
17. Колесников Н.Н., Вымянин В.М. *Изв. АН СССР*, 1975, 19, с.637.
18. Randrup J. et al. *Nucl. Phys.*, 1973, A217, p.221.
19. Gaeggeler H. et al. *JINR*, E7-10880, Dubna, 1977. (Submitted to *Nucl. Phys.*).
20. Lefort M. *Rep. Progr. Phys.*, 1976, 39, p.129.
21. Morrissey D.J. et al. *Phys. Lett.*, 1978, 74B, p.35.
22. Nix J.R., Sierk A.J. *Phys. Rev.*, 1977, 15C, p.272.
23. Cohen S., Plasil F., Swiatecki W.J. *Ann. of Phys.*, 1974, 82, p.557.
24. Lefort M. *Phys. Scr.*, 1976, 10A, p.101.
25. Оганесян Ю.Ц. и др. ЯФ, 1969, 9, с.715.
26. Oganessian Yu.Ts., Penionzhkevich Yu.E. *JINR*, E7-9187, Dubna, 1975.
27. Markov B.N. *IEEE Transactions on Nucl. Sci.*, 1977, NS-24, No. 3, p.1225.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 декабря 1978 года.