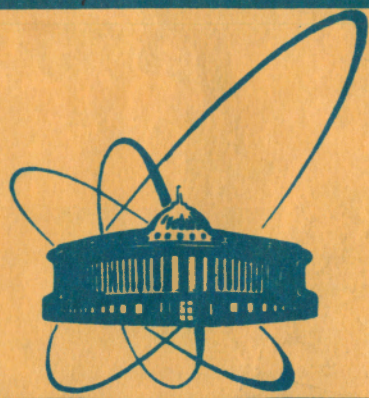


1455/82

29/11-82

e  
+



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P7-81-863

**В.М.Васько, Г.Г.Гульбемян,  
С.П.Третьякова, Е.А.Черепанов**

**ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ПОЛУЧЕНИЮ  
ТРАНСФЕРМИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ,  
ВЫЗЫВАЕМЫХ ИОНАМИ МАГНИЯ**

**1981**

## ВВЕДЕНИЕ

Попытки синтеза 107 элемента были начаты с использования ядерной реакции урана с ионами фосфора<sup>1/</sup>. В 1976 году при облучении <sup>209</sup>Bi ионами <sup>54</sup>Cr наблюдался изотоп элемента 107 с массовым числом 261<sup>2/</sup>. В этой же реакции был идентифицирован изотоп <sup>262</sup>107 с периодом полураспада около 5 мс<sup>3/</sup>.

Представляет интерес получение более тяжелых и, по-видимому, более долгоживущих изотопов 107 элемента. С этой целью исследовалась реакция <sup>249</sup>Bk( <sup>22</sup>Ne, xn) <sup>271-x</sup>107<sup>4/</sup>. Однако в этой работе авторы встретились с большими трудностями выделения новой активности спонтанного деления на фоне спонтанно делящихся изотопов фермия и др., возникающих в реакциях передачи на тяжелой мишени.

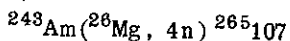
Можно использовать несколько более легкую мишень, например, <sup>243</sup>Am. Однако переход от Ne к Mg при получении элемента 107, как ожидается, сопряжен с падением сечения испарительной реакции синтеза.

В начале 1981 года на изохронном циклотроне ЛЯР У-400 был получен интенсивный выведенный пучок ускоренных ионов магния. Трехзарядные ионы магния производились в источнике типа PIG с катодным распылением образца магния, выполненного в виде отдельного электрода. Мощность разряда источника в импульсе составляла 2,5 кВт при напряжении 500 В; расход сопутствующего газа (Xe) -  $0,3 \cdot 10^{-3}$  Торр л/с; длительность импульса - около 1 мс при скважности 5; напряжение на дуантах - 85 кВ. При вакууме  $8 \cdot 10^{-7}$  Торр потери ионов из-за перезарядки на остаточном газе составляли около 50%, при этом интенсивность на конечном радиусе достигла  $4 \cdot 10^{13}$  част/с.

При выводе пучка перезарядкой на тонкой углеродной мишени /40-60 мкг/см<sup>2/</sup>, установленной на радиусе, определяемом необходимой энергией, заряд иона увеличивается в 3,7 раза /+11/. Движение иона после перезарядки на границе сектор-долина становится радиально неустойчивым, и пучок, совершив два оборота, выводится из камеры ускорителя. Вариация азимутального положения фольги позволяет выводить пучок в заданном направлении.

Активная часть системы транспортировки пучка в экспериментальный зал состояла из 3 корректирующих магнитов и 2 дублетов квадрупольных линз. Горизонтальный и вертикальный эмиттансы пучка равнялись 60 и 40 мм·мрад соответственно, а диаметр сечения пучка на мишени - около 15 мм.

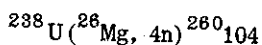
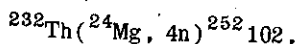
Расчеты, выполненные методом, описанным в работе<sup>/5/</sup>, для реакции



в максимуме функции возбуждения при энергии налетающего иона 140 МэВ дали величину сечения  $2 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$ , что при наличии пучка магния достаточной интенсивности представляется обнадеживающим для проведения опытов с целью получения элемента 107.

Для подтверждения правильности расчетов было решено изучить вероятность образования известных спонтанно делящихся изотопов 102 и 104 элементов в реакциях с торием и ураном.

Те же расчеты показали, что для реакций



максимальные значения сечений составляют  $1 \cdot 10^{-35}$  и  $2,4 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$  при энергиях 134 и 136 МэВ соответственно.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе использовалась традиционная наиболее простая методика, в которой продукты реакций, вылетающие из мишени в направлении падающего пучка, переносятся к слюдяным детекторам осколков деления с помощью вращающегося сборника. Это позволяет по распределению числа треков осколков определить период полураспада наблюдаемой активности.

Схема установки представлена на рис. 1. Вся система находилась в вакууме.

Мишени из тория и урана крепились на решетчатом диске /1/, вращавшемся со скоростью около 200 об/мин для распределения тепловой мощности, выделяемой пучком.

Ториевая мишень была изготовлена из фольг металлического тория, прокатанного до толщины  $2 \text{ мг/см}^2$ .  $^{238}\text{U}$  наносился на

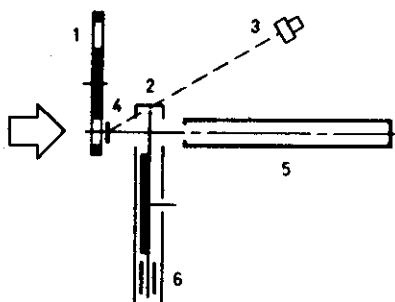


Рис. 1.

алюминиевую фольгу толщиной 5 мкм слоем  $1,5 \text{ мг/см}^2$ . Мишень  $^{243}\text{Am}$  имела толщину  $0,8 \text{ мг/см}^2$  и была нанесена на подложку из 3 мкм золота, в виде пятна  $\phi 8 \text{ мм}$ . Мишень зажималась в медной оправе, охлаждавшейся водой.

Сборник /2/ представлял собой диск  $\phi 210 \text{ мм}$ , вырезанный из 5 мкм алюминиевой фольги. Фольга приклеивалась к внутренней

оправе без всяких поддерживающих перемычек. Для лучшего лучеиспускания сборник покрывался слоем сажи на пламени диффузионного масла. Расстояние от мишени до сборника в случае вращающихся мишеней составляло 7 см, в случае Аш-мишени - 18 см. Открытая область сборника имела размер  $\varnothing 32$  мм.

Энергия пучка измерялась с помощью полупроводникового детектора /3/, регистрировавшего ионы, рассеянные на сусальном золоте под углом  $30^\circ$  к оси пучка. Рассеиватель /4/ вводился во время измерений между мишенью и сборником.

Нужная величина энергии пучка выбиралась с помощью поглотителей из фольг Та и А1. При настройке ускорителя на максимум интенсивности положение пика пучка устанавливалось с точностью до 1 МэВ. Полная ширина на полувысоте пика энергии пучка после прохождения мишени составляла 5 МэВ. Танталовый поглотитель служил одновременно рассеивателем для более равномерного распределения потока частиц по поверхности мишени. Интенсивность пучка измерялась с помощью цилиндра Фарадея /5/ с записью на интеграторе тока.

12 пар слюдяных детекторов /6/, выполненных в виде секторов, помещались в кассету по обе стороны вращающегося сборника. Расстояние между противоположными детекторами составляло 8 мм. Пары детекторов позволяли регистрировать совпадающие осколки деления путем пространственного совмещения треков. Геометрическая эффективность регистрации составляла 60%.

Специальное внимание было уделено выбору режима обработки слюдяных детекторов, чтобы исключить появление фона от многократно рассеянных ионов. С этой целью детекторы, облученные ионами  $^{26}\text{Mg}$  с различной энергией под различными углами, програвировались в течение 8 ч при температуре от  $330$  до  $420^\circ\text{C}$  вместе с детекторами, облученными осколками вынужденного деления урана. Было установлено, что полностью треки ионов магния отжигаются при температуре  $380^\circ\text{C}$ , при этом эффективность регистрации и длина треков от осколков не изменялись по сравнению с контрольными.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Облучение мишени  $^{232}\text{Th}$  было проведено при энергии ионов  $^{24}\text{Mg}$  130 МэВ. Ток пучка достигал  $4,5 \cdot 10^{12}$  част/с. Полный поток частиц, прошедших через мишень,  $1,4 \cdot 10^{17}$ . Сборник вращался со скоростью один оборот за 9,2 с.

Эффект, обусловленный спонтанным делением  $^{252}\text{102}$ , составил не более 5 событий. Соответственно сечение реакции, приводящей к образованию этого изотопа, не превышает  $5 \cdot 10^{-35}$  см<sup>2</sup>, что не противоречит расчетной величине.

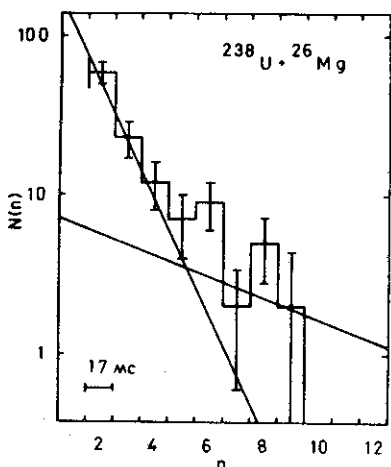


Рис. 2.

производилась с помощью функции в виде суммы двух экспонент с заданными периодами 14 и 76 мс<sup>1/6</sup>.

На рис. 3 представлены полученные значения величины сечения образования короткоживущей составляющей в телесный угол 0,16 ср в зависимости от энергии падающих частиц. На том же рисунке приведена величина сечения образования составляющей с периодом 76 мс, полученная в результате обработки данных опыта при энергии 133 МэВ. К соответствующей кривой распада относятся 15 событий. Сплошная линия - расчетная функция возбуждения реакции  $^{238}\text{U}(^{26}\text{Mg}, 4n)^{260}_{104}\text{Am}$ .

Облучение мишени  $^{243}\text{Am}$  было проведено в двух опытах с временем оборота сборника 204 и 43 мс при энергии ионов  $^{26}\text{Mg}$  140 МэВ. Чтобы избежать разрушения мишени, интенсивность пучка ограничивалась величиной

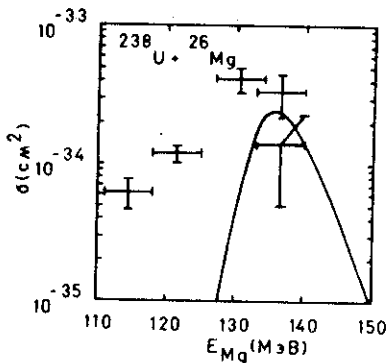
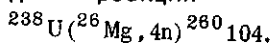


Рис. 3.

Облучение мишени  $^{238}\text{U}$  проводилось при нескольких значениях энергии падающих частиц вблизи расчетного максимума функции возбуждения реакции



Интегральный поток ионов -  $4 \cdot 10^{17}$  част. Скорость вращения сборника составляла один оборот за 204 мс.

На рис. 2 представлено суммарное временное распределение зарегистрированных событий спонтанного деления. При предположении, что наблюдаемая активность обусловлена спонтанным делением известных нуклидов  $^{242}\text{fAm}$  и  $^{260}_{104}$ , подгонка кривой распада

ограничивалась величиной  $1,5 \cdot 10^{12}$  част/с. В первом случае полный поток ионов, прошедших через мишень, составил  $6,5 \cdot 10^{16}$ , во втором  $1,4 \cdot 10^{17}$  част.

На рис. 4 представлены результаты, полученные в первом опыте. Число событий, зарегистрированных в обоих опытах, соответствует сечению  $15 \pm 2 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$  в телесный угол  $2,5 \cdot 10^{-2}$  ср.

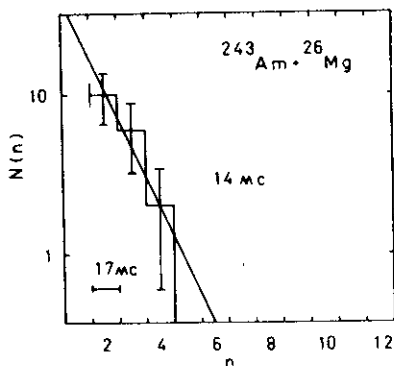


Рис. 4.

танно делящейся активности с периодом полураспада 14 мс, которая, вероятно, принадлежит изомеру  $^{242f}\text{Am}$ . Последнее предположение подтверждается тем, что характер зависимости от энергии и величина сечения образования этой активности резко отличаются от функции возбуждения испарительной реакции /рис.3/. Ранее этот изомер наблюдался в реакциях  $^{238}\text{U}$  с ионами  $^{16}\text{O}$ ,  $^{22}\text{Ne}$  и др. /7/.

Обработка полученных данных позволила выделить более долгоживущую составляющую активности спонтанного деления, сечение образования которой  $1,4 \pm 0,9 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$ , в максимуме функции возбуждения  $4p$ -реакции согласуется с расчетной величиной для  $^{260}\text{104}$ .

В реакции  $^{243}\text{Am} + ^{26}\text{Mg}$  обнаружена активность спонтанного деления с периодом полураспада  $16 \pm 7$  мс, которую вероятнее всего отнести к распаду того же  $^{242f}\text{Am}$ . Образование этого изомера в реакции подхвата нейтрона на мишени  $^{243}\text{Am}$  наблюдалось в работе с ионами  $^{22}\text{Ne}$  /8/.

При рассмотрении экспериментальных данных обращает на себя внимание тот факт, что не наблюдаются события с временами жизни больше 100 мс. Этим определяется предел чувствительности опыта  $5 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2$ .

Если предположить, что сечение образования  $^{265}\text{107}$  в рассматриваемой реакции соответствует расчетной величине, а период относительно  $\alpha$ -распада этого изотопа согласно систематике равен  $0,9 \text{ с}$  /9/, то следует предположить, что он делится спонтанно с периодом меньше 70 мс. Вместе с тем, опыт с быстрым вращением сборника не обнаружил на фоне событий спонтанного деления предполагаемого изомера какую-либо более короткоживущую составляющую. Поэтому наиболее вероятным представляется предположение, что  $^{265}\text{107}$  главным образом испытывает  $\alpha$ -распад, а вероятность спонтанного деления не превышает 50%. При этом

## ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненная работа представляет собой первую попытку изучить вероятности образования в ядерных реакциях с ионами магния известных изотопов  $^{252}\text{102}$  и  $^{260}\text{104}$ , а также исследовать возможность синтеза 107 элемента путем использования методики, регистрирующей спонтанное деление продуктов реакций.

Наблюдение  $^{260}\text{104}$  в реакции  $^{238}\text{U} + ^{26}\text{Mg}$  оказалось затруднительным из-за присутствия спонтанно делящейся активности с периодом полураспада 14 мс, которая, вероятно, принадлежит изомеру  $^{242f}\text{Am}$ . Последнее предположение подтверждается тем, что характер зависимости от энергии и величина сечения образования этой активности резко отличаются от функции возбуждения испарительной реакции /рис.3/. Ранее этот изомер наблюдался в реакциях  $^{238}\text{U}$  с ионами  $^{16}\text{O}$ ,  $^{22}\text{Ne}$  и др. /7/.

чувствительность эксперимента оказалась недостаточной для того, чтобы наблюдать спонтанное деление /вероятность которого составляет ~ 25% / $\alpha$ / / сравнительно долгоживущего дочернего относительно  $\alpha$ -распада ядра  $^{261}_{105}$ .

Дополнительную информацию о наблюдаемых в данной методике спонтанно делящихся продуктах реакций может дать изучение их кинематических характеристик. Влияние фона изомера  $^{242}_{105}\text{Am}$  можно эффективно ослабить путем большего коллимирования ядер отдачи и применения селективного сбора продуктов по пробегам.

Отсутствие фона спонтанного деления долгоживущих продуктов реакций многонуклонных передач делает перспективным применение ионов магния для синтеза изотопов 107 и других трансураниевых элементов.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Г.Н.Флерову за постоянное внимание к работе, Ю.Ц.Оганесяну и В.А.Друину за постановку задачи и руководство работой, В.Б.Кутнеру за хорошую работу источников ионов магния, группе операторов циклотрона У-400 - за обеспечение стабильной работы ускорителя, Г.В.Букланову - за изготовление мишеней, В.П.Суворову - за помощь в наладке установки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. и др. В кн.: Международная конференция по физике тяжелых ионов. ОИЯИ, Д7-5769, Дубна, 1971, с. 148.
2. Оганесян Ю.Ц. и др. ОИЯИ, Р7-9503, Дубна, 1976.
3. Müllenbergl G. et al. Z.Phys.A, 1981, 300, p. 107.
4. Букланов Г.В. и др. ОИЯИ, Р7-12762, Дубна, 1979.
5. Ильинов А.С., Оганесян Ю.Ц., Черепанов Е.А. ОИЯИ, Р7-81-549, Дубна, 1981.
6. Lederer C.M., V.Shirley ed.(1978). Table of Isotopes, J.Wiley & Sons Inc., New York.
7. Flerov G.N. et al. In: Proc. of the 3rd Conf. on React. Betw. Compl.Nucl. Asilomar, California, USA, 1963, p. 219.
8. Флеров Г.Н. и др. АЭ, 1970, 29, с. 243.
9. Колесников Н.Н., Демин А.Г. ОИЯИ, Р6-9421, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 декабря 1981 года.