

22/xii-66

С 341.2Г

И-498

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P7 - 3022



В.И. Илющенко, М.Б. Миллер, В.Л. Михеев,  
С.М. Поликанов, В.А. Щеголев

СИНТЕЗ ИЗОТОПОВ ФЕРМИЯ С МАССОВЫМИ  
ЧИСЛАМИ 247 и 246

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

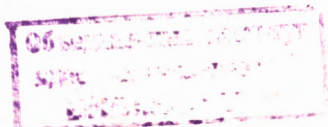
1966

**P7 - 3022**

В.И. Илющенко, М.Б. Миллер, В.Л. Михеев,  
С.М. Поликанов, В.А. Щеголев

**СИНТЕЗ ИЗОТОПОВ ФЕРМИЯ С МАССОВЫМИ  
ЧИСЛАМИ 247 и 246**

Направлено в журнал  
"Атомная энергия"



4679/1 мр.

## Введение

К настоящему времени изотопы фермия изучены от  $Fm^{248}$  до  $Fm^{257}$ /1/  
Сообщение о свойствах  $Fm^{246}$  ( $E_{\alpha} = 8,23 \pm 0,02$  Мэв и  $T_{1/2} = 1,4 \pm 0,6$  сек  
имеется лишь в работе /2/, в которой исследовалась реакция  $U^{238} (O^{16}, 5n) Fm^{246}$ .

Целью данной работы было исследование свойств нейтронодефицитных изотопов фермия в реакциях с испарением четырех и пяти нейтронов при облучении  $Pu^{239}$  ионами  $C^{12}$ . Методика эксперимента была аналогична использованной ранее в работах /3-6/. Использовался метод сбора атомов отдачи с помощью направленной газовой струи и последующая регистрация  $\alpha$ -излучения продуктов реакций  $Si(Au)$ -детекторами. Двухмерный анализ полученных  $\alpha$ -спектров осуществлялся на время-амплитудном анализаторе с числом амплитудных каналов 400 и временных - 32.

Ниже приводятся результаты для отдельных изотопов.

## Результаты экспериментов

$Fm^{247}$ ,  $Fm^{247m}$ . На рис. 1а представлен один из спектров  $\alpha$ -частиц, полученный при энергии ионов  $C^{12}$ , равной 74 Мэв в лабораторной системе координат. Цикл накопления активности на сборнике  $\tau$ , равный циклу измерения ее  $Si(Au)$ -детектором, составлял 25 сек. В спектре наблюдаются группы  $\alpha$ -частиц с энергией  $E_{\alpha} = 7,87 \pm 0,05$ ;  $7,93 \pm 0,05$  и  $8,18 \pm 0,03$  Мэв. Обращает на себя внимание тот факт, что аппаратная ширина групп с  $E_{\alpha} = 7,87$  и  $E_{\alpha} = 7,93$  существенно больше, чем ширина линии с  $E_{\alpha} = 8,18$  Мэв. Это служит указанием на то, что, по-видимому, первые две группы  $\alpha$ -частиц имеют сложную структуру.

Кривые распада активностей приведены на рис. 2. Они получены при регистрации  $\alpha$ -спектров последовательно расположенными Si(Au)-детекторами, один из которых регистрировал  $\alpha$ -активность со сборника первые 25 сек после конца облучения, а другой - последующие 25 сек. Измеренные периоды полураспада равны  $32 \pm 7$ ;  $35 \pm 10$  и  $9,2 \pm 2,3$  сек для  $\alpha$ -групп с  $E_\alpha = 7,87 \pm 0,05$ ;  $7,93 \pm 0,05$  и  $8,18 \pm 0,03$  Мэв соответственно. На рис. 3 приведены функции возбуждения для этих активностей. Точки на кривых для каждой из трех активностей были получены в одних и тех же облучениях, что исключает ошибки в определении относительного положения этих точек. Сечения рассчитывались в предположении, что атомы отдачи выбиваются полностью из слоя мишени толщиной  $500 \text{ мкг/см}^2$ , а коэффициент сбора атомов отдачи фермия равен 50%. Значение 50% было экспериментально получено для атомов отдачи тербия в реакции  $\text{Pr}^{141}(\text{C}^{12}, 4n)\text{Tb}^{149g}$ . По форме и положению все три функции возбуждения находятся в хорошем согласии с расчетными значениями для реакции  $\text{Pu}^{289}(\text{C}^{12}, 4n)\text{Fm}^{247}$ . Наблюдаемый максимум функций возбуждения при энергии ионов  $\text{C}^{12}$   $74\text{--}72$  Мэв находится в хорошем согласии не только с расчетом для реакции  $\text{Pu}^{289}(\text{C}^{12}, 4n)$ , но и с экспериментальными данными по положению максимума функции возбуждения для реакции  $\text{Pu}^{240}(\text{C}^{12}, 4n)\text{Fm}^{248}$ . Максимум функции возбуждения для последней реакции находится при энергии ионов  $\text{C}^{12}$ , равной 70 Мэв, как по данным работы <sup>17/</sup>, так и по результатам наших измерений.

На основании совпадения периодов полураспада и функций возбуждения можно сделать вывод, что активности с  $E_\alpha = 7,87 \pm 0,05$  и  $7,93 \pm 0,05$  Мэв связаны с распадом  $\text{Fm}^{247}$  из одного состояния. Для более точного определения периода полураспада  $\text{Fm}^{247}$  в этом состоянии производились измерения в цикле с  $\tau = 200$  сек. Результаты измерений приведены на рис. 2, при этом получено значение  $T_{1/2} = 35 \pm 4$  сек.

В соответствии с положением функции возбуждения можно сделать вывод, что  $\alpha$ -активность с  $E_\alpha = 8,18 \pm 0,03$  Мэв и  $T_{1/2} = 9,2 \pm 2,3$  сек также относится к изотопу  $\text{Fm}^{247}$ . По-видимому, эта активность связана с распадом  $\text{Fm}^{247}$  из изомерного состояния. Однако, конечно, имеющихся данных недостаточно для четкого определения того, какие из активностей связаны с распадом из основного состояния, а какие с распадом из изомерного.

Нами были поставлены опыты по наблюдению  $\alpha$ -распада  $\text{Fm}^{247}$  <sup>16/</sup>,

которые дали для верхней границы соотношения ветвей  $\alpha$ -распада и электронного захвата  $F_m^{247}$  величину  $\alpha/E.C. \geq 1$ . Таким образом, из имеющихся данных следует, что изотоп  $F_m^{247}$  испытывает в основном  $\alpha$ -распад. В заключение необходимо отметить, что полученные при облучении  $Pu^{239}$  ионами  $C^{12}$  данные о свойствах  $F_m^{247}$  находятся в хорошем согласии с результатами, полученными нами при синтезе изотопа  $F_m^{247}$  в реакции  $Np^{237}(N^{15}, 5n)F_m^{247}$ .

$F_m^{246}$ . В спектре на рис. 16, измеренном при энергии ионов 78 Мэв и  $t = 6,4$  сек, имеется  $\alpha$ -группа с  $E_\alpha = 8,25 \pm 0,03$  Мэв. Измерения периода полураспада дают для этой активности  $T_{1/2} = 1,6 \pm 0,4$  сек. Полученные нами значения энергии  $\alpha$ -частиц и периода полураспада находятся в хорошем согласии с  $E_\alpha = 8,23 \pm 0,02$  Мэв и  $T_{1/2} = 1,4 \pm 0,6$  сек, определенными в работе /2/ для  $F_m^{246}$ . Функция возбуждения этой активности приведена на рис. 3. К сожалению, из-за недостатка энергии ионов  $C^{12}$  удалось снять только левую часть функции возбуждения. Ее положение хорошо согласуется с расчетным для реакции  $Pu^{239}(C^{12}, 5n)$ . Таким образом, совпадение наших данных с данными работы /2/ и положение функции возбуждения позволяют сделать вывод, что эта  $\alpha$ -активность принадлежит  $F_m^{246}$ .

### Обсуждение результатов

В работах по синтезу  $\alpha$ -активных изотопов трансурановых элементов было показано /8/, что примеси висмута, свинца и таллия, которые могут присутствовать в облучаемой мишени, приводят к появлению существенных фоновых эффектов. Нами были поставлены опыты по определению влияния предполагаемых примесей.

На рис. 1 в представлен спектр  $\alpha$ -частиц, измеренный при облучении мишени из естественной смеси изотопов свинца ионами  $C^{12}$  в тех же условиях, что и спектр на рис. 16. Сравнение приведенных на рис. 1 спектров показывает, что возможное загрязнение свинцом мишени  $Pu^{239}$  не может дать заметного фонового эффекта в спектрах (рис. 1а и 1б). Контрольные облучения висмутовой и таллиевой мишеней ионами  $C^{12}$  также показали, что наблюдаемые при облучении  $Pu^{239}$   $\alpha$ -активности не могут быть связаны с загрязнением мишени висмутом и таллием.

Одна из наблюдаемых нами групп  $\alpha$ -частиц имеет  $E_\alpha = 7,87 \pm 0,05$  Мэв и  $T_{1/2} = 35 \pm 4$  сек, что совпадает со значениями энергии  $\alpha$ -частиц и периода полураспада изотопа  $Fm^{248}$  /1,2,5/.

В наших опытах этот изотоп мог образовываться в реакции  $Pu^{240} (C^{12}, 4n) Fm^{248}$  на примесях  $Pu^{240}$  в нашей мишени. Однако содержание  $Pu^{240}$  в мишени составляет  $\approx 1\%$ , а сечение реакции  $Pu^{240} (C^{12}, 4n) Fm^{248}$  составляет  $\approx 5,10^{-31} \text{ см}^2$  /7/, так что таким путем мы могли получить вклад от  $Fm^{248}$  в наблюдаемую активность лишь  $\approx 2\%$ .  $Fm^{248}$  в наших опытах мог образовываться также за счет реакции  $Pu^{239} (C^{12}, 3n) Fm^{248}$ . Оценки по модифицированной модели Джексона /9/ показывают, что при энергии ионов  $C^{12}$ , равной 78 Мэв, вклад от реакции  $Pu^{239} (C^{12}, 3n) Fm^{248}$  не превышает 5%, а при энергии 74 Мэв не превышает 10% наблюдаемого эффекта. При меньших энергиях вклад может быть более существенным. С этим, возможно, связана несколько менее острая форма кривой выхода активности с  $E_\alpha = 7,87$  Мэв по сравнению с кривыми выхода других активностей. Однако даже на малых энергиях наблюдаемый эффект не может быть целиком объяснен реакцией  $Pu^{239} (C^{12}, 3n) Fm^{248}$ . Следует отметить, что в реакциях с тяжелыми ионами выход реакции с испарением трех нейтронов вообще существенно подавлен по сравнению с выходом реакции с испарением четырех нейтронов за счет большой величины кулоновского барьера. Так, в работе /10/ показано, что сечение реакции  $U^{238} (O^{18}, 3n) Fm^{253}$  примерно в 200 раз меньше сечения реакции  $U^{238} (O^{18}, 4n) Fm^{252}$ .

Рассмотрение схемы Нильссона /10/ показывает, что при числе нейтронов  $N = 147$  возможно образование изомерного состояния, связанного с наличием уровня  $i_{1/2}$ . Однако для установления природы изомерного состояния имеющихся данных совершенно недостаточно и требуются дополнительные исследования. Тем не менее хочется отметить некоторые характерные черты в поведении энергий  $\alpha$ -распада для четно-нечетных ядер с  $N = 147$ . Для  $Fm^{247}$  мы имеем два состояния, одно из которых имеет энергию  $\alpha$ -распада, очень близкую к энергии  $\alpha$ -распада  $Fm^{248}$ , а другое — к энергии  $\alpha$ -распада  $Fm^{246}$ . Для  $Cf^{245}$  известно состояние, в котором испускаются  $\alpha$ -частицы с энергией  $E_\alpha = 7,11$  Мэв, что очень близко к значению  $E_\alpha = 7,17$  Мэв для  $Cf^{244}$ . У  $Cm^{243}$  энергия наиболее интенсивной группы  $\alpha$ -частиц  $E_\alpha = 5,78$  Мэв практически совпадает с энергией  $\alpha$ -частиц  $Cm^{244}$  (5,80 Мэв). То же самое

наблюдается и у  $\text{Pu}^{241}$  ( $E_a = 4,89$  Мэв при  $E_a = 4,90$  Мэв у  $\text{Pu}^{242}$ ). Не исключено, что у  $\alpha$ -активных изотопов с  $N = 147$  имеется два состояния, в одном из которых испускаются  $\alpha$ -частицы с энергией, близкой к энергии  $\alpha$ -частиц соседнего четно-четного изотопа с числом нейтронов  $N = 148$ , а в другом — с энергией, близкой к соседнему четно-четному изотопу с  $N = 146$ .

В заключение авторы считают необходимым поблагодарить коллектив циклотрона У-300 во главе с Б.А. Загером за обеспечение четкой работы ускорителя, А.М. Сухова и Л.П. Челнокова за разработку высокостабильной аппаратуры и А.Г. Белова за помощь в проведении экспериментов.

### Л и т е р а т у р а

1. E.K. Hyde, I. Perlman, G.T. Seaborg. The Nuclear Properties of the Heavy Elements. v. II, Prentice-Hall Inc., 1964.
2. Г.Н. Акапьев, А.Г. Демин, В.А. Друин, Э.Г. Имаев, И.В. Колесов, Ю.В. Лобанов, Л.П. Пашенко. Препринт ОИЯИ, Р-2704, Дубна, 1986.
3. В.Л. Михеев, В.И. Илющенко, М.Б. Миллер, С.М. Поликанов, Г.Н. Флеров, Ю.П. Харитонов. Препринт ОИЯИ, Р-2839, Дубна, 1986.
4. В.Л. Михеев. ПТЭ, № 4, 22 (1966).
5. Б.А. Загер, М.Б. Миллер, В.Л. Михеев, С.П. Поликанов, А.М. Сухов, Г.Н. Флеров, Л.П. Челноков. Ат. энергия, 20, в. 3, 230 (1966).
6. В.Л. Михеев, В.И. Илющенко, М.Б. Миллер. Препринт ОИЯИ, Р-2894, Дубна, 1986.
7. E.K. Hyde, I. Perlman, G.T. Seaborg. The Nuclear Properties of the Heavy Elements. v. I, Prentice-Hall Inc., 1964.
8. Г.Н. Флеров, С.М. Поликанов, А.С. Карамян, А.С. Пасюк, Д.М. Парфанович, Н.И. Тарантин, В.А. Карнаухов, В.А. Друин, В.В. Волков, А.М. Семчинова, Ю.Ц. Оганесян, В.И. Хализев, Г.И. Хлебников, Б.Ф. Мясоедов, К.А. Гаврилов. ЖЭТФ, 38, 82 (1960).
9. T. Sikkeland, S.G. Thompson, A. Ghiorso. Phys. Rev., 112, 543 (1958).
10. Е.Д. Донец, В.А. Шеголев, В.А. Ермаков. Ядерная физика, 2, в. 6, 1015. (1965).
11. B.R. Mottelson, S.G. Nilsson. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Mat.-fys. Skr., 1, N 8 (1959).

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 ноября 1966 г.

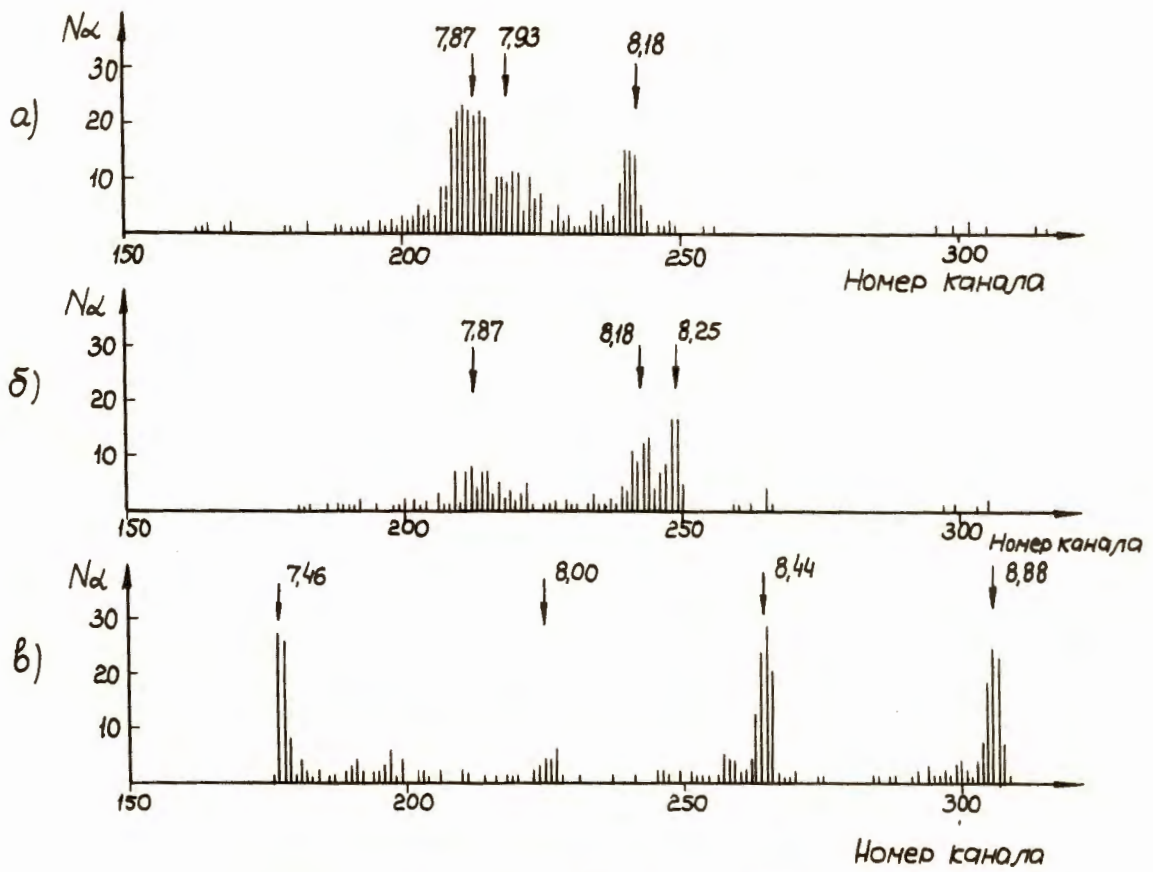
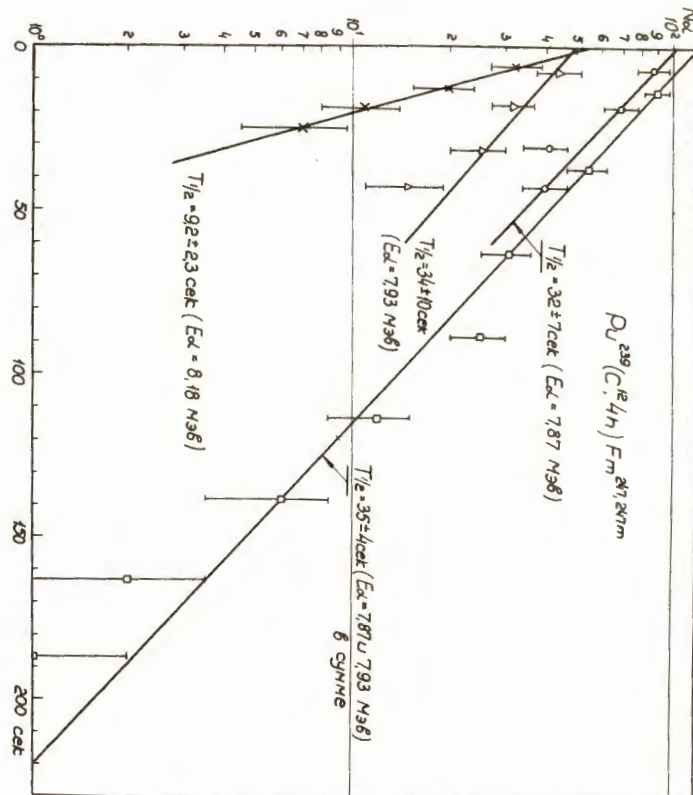


Рис. 1. Альфа-спектры продуктов ядерных реакций:  
 а)  $Pu^{239} + C^{12}$ ;  $E_1 = 74$  Мэв;  $\tau = 25$  сек.  
 б)  $Pu^{239} + C^{12}$ ;  $E_1 = 78$  Мэв;  $\tau = 8,4$  сек.  
 в)  $Pb + C^{12}$ ;  $E_1 = 78$  Мэв;  $\tau = 8,4$  сек.

Рис. 2. Кривые распада  $Fm^{247}$  и  $Fm^{247m}$ .





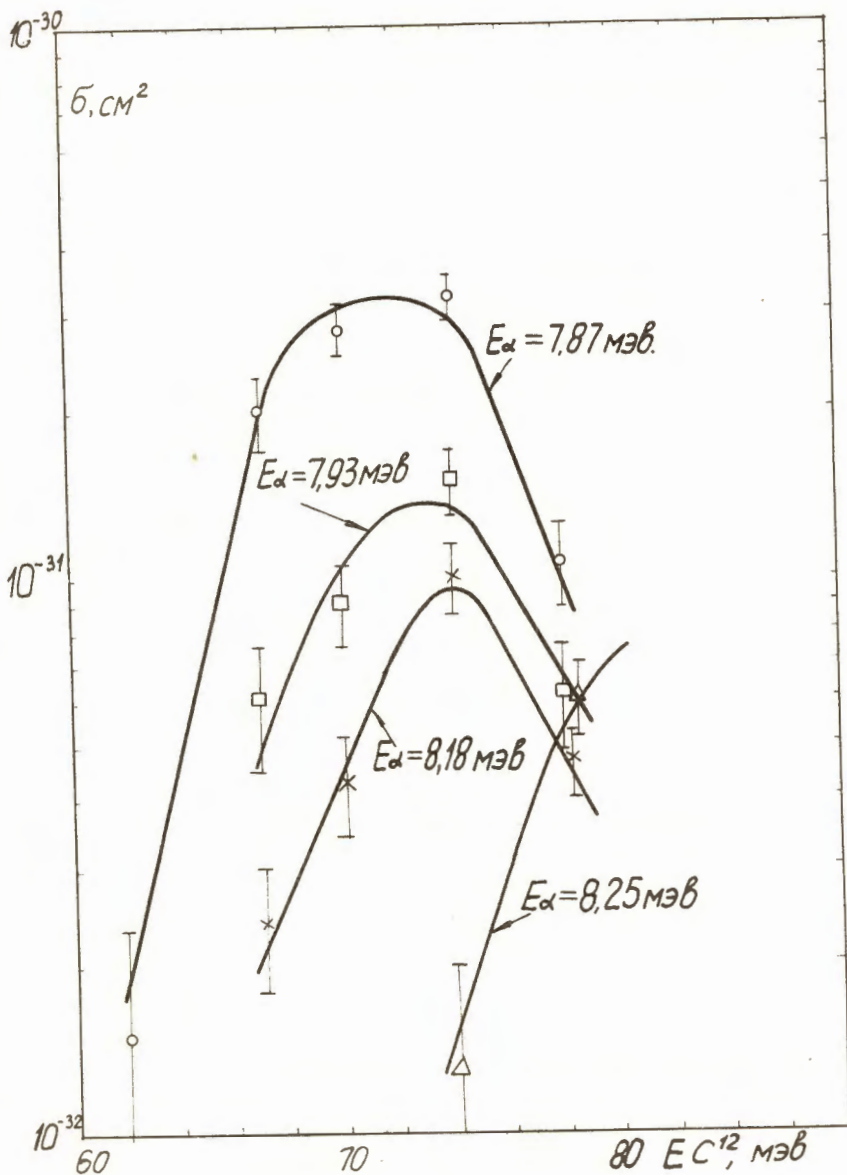


Рис. 3. Функции возбуждения реакций  $\text{Pu}^{239}(\text{C}^{12}, 4n)\text{Fm}^{247,247m}$   
 ( $E_{\alpha} = 7,87 \text{ Мэв}$ ;  $7,93 \text{ Мэв}$ ;  $8,18 \text{ Мэв}$ ) и  $\text{Pu}^{239}(\text{C}^{12}, 5n)$ ,  
 $\text{Fm}^{246}$  ( $E_{\alpha} = 8,25 \text{ Мэв}$ ).