

Г-19

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р - 2695



Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков, С.М. Поликанов,  
Г. Юнгклауссен

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ  $U^{238} + B^{11}$ ,  
ПРИВОДЯЩЕЙ К СПОНТАННО ДЕЛЯЩЕМУСЯ  
ИЗОМЕРУ  $Am^{242}$

АБСОЛЮТНЫЕ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1966

P - 2695

4269/3 нр.

Ю.П. Гагрский, Б.Н. Марков, С.М. Поляканов,  
Г. Юнгклауссен

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ  $U^{238}_{+B11}$ ,  
ПРОВОДЯЩЕЙ К СПОНТАННО ДЕЛЯЩЕМУСЯ  
ИЗОМЕРУ  $A_{m}^{242}$

Направлено в журнал "Ядерная физика"

Ученые библиотеки  
Ленинградского государственного  
университета

В ряде ядер трансурановых элементов наблюдаются изомерные состояния необычного типа: разрядка этих состояний осуществляется путем спонтанного деления <sup>/1-4/</sup>. Поскольку спонтанное деление не позволяет судить о таких характеристиках уровней, как энергия, спин и четность, а другие типы распада ( $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -переходы) с этих уровней пока не наблюдались, то единственным путем для изучения свойств этих состояний являются ядерные реакции, приводящие к этим состояниям.

В нашей работе исследовалась реакция  $U^{238} + B^{11}$ , приводящая к  $Am^{242}$ . Ядро  $Am^{242}$  представляет особый интерес, так как оно кроме спонтанно делящегося изомерного состояния имеет еще один изомерный уровень со спином 5, разрядка которого происходит путем конверсионного перехода в основное состояние. Сравнивая сечения образования  $Am^{242}$  в различных состояниях (основном и обоих изомерных), можно оценить спин спонтанно делящегося изомерного уровня.

Из схемы распада ядра  $Am^{242}$  (рис. 1) видно, что выход  $Am^{242}$  в состояниях с характеристиками  $1^-$  или  $5^-$  можно измерять по его дочернему продукту -  $\alpha$ -активному изотопу  $Cm^{242}$ .

Мишень из оксида урана ( $UO_3$ ) толщиной  $1,8 \frac{мг}{см^2}$  облучалась ионами  $B^{11}$  на внутреннем пучке 310-см циклотрона Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Выбитые из мишени ядра отдачи собирались на движущуюся никелевую ленту и переносились к детекторам осколков, которые располагались вдоль ленты (методика эксперимента такого рода описана в работе <sup>/2/</sup>). Детекторами осколков служили силикатные стекла <sup>/5/</sup>. Измеренный таким способом период полураспада ( $16 \pm 2$  мсек), который хорошо согласуется с результатами других работ <sup>/1,3/</sup>, указывает на образование спонтанно делящегося изомера  $Am^{242}$  в данной реакции. Для вычисления сечения образования спонтанно делящегося изомера вводились поправки на потери ядер отдачи при их движении от мишени до ленты, которые определялись на опыте (сравнивалось число ядер отдачи  $Am^{242}$  в основном состоянии, попадающих на сборник, когда последний располагался на месте ленты и непосредственно на мишени). Функция возбуждения реакции, приводящей к спонтанно делящемуся изомеру, снималась путем изменения радиуса, на котором помещалась облучаемая мишень.

Для получения функции возбуждения реакции, приводящей к основному состоянию  $\text{Am}^{242}$ , облучалась стопка урановых фольг, а затем с помощью полупроводникового детектора измерялась  $\alpha$ -активность каждой фольги. Интенсивность  $\alpha$ -частиц с энергией 6,11 Мэв сначала нарастала от нуля, а затем спадала с периодом полураспада 162 дня. Это указывает, что в реакции  $\text{U}^{238} + \text{B}^{11} \rightarrow \text{Cm}^{242}$  образуется только в результате  $\alpha$ -распада  $\text{Am}^{242}$ , и по интенсивности  $\alpha$ -линии с энергией 6,11 Мэв можно определить выход ядра  $\text{Am}^{242}$  в основном состоянии.

Для измерения сечения образования  $\text{Am}^{242}$  в изомерном состоянии  $5^-$  облучалась фольга из  $\text{U}^{238}$  толщиной  $30 \frac{\text{мг}}{\text{см}^2}$  (выход из тонкой фольги был слишком мал из-за большого периода полураспада  $\text{Am}^{242}$  в состоянии  $5^-$ ). После того, как все ядра  $\text{Am}^{242}$  в основном состоянии переходили в  $\text{Cm}^{242}$ , при помощи хроматографической колонки производилось отделение  $\text{Cm}^{242}$  от  $\text{Am}^{242}$ , находящегося в состоянии  $5^-$ . В результате двух разделений на этой колонке содержание  $\text{Cm}^{242}$  уменьшалось в  $10^4$  раз, при этом терялось около 40%  $\text{Am}^{242}$ . Выход  $\text{Am}^{242}$  при этой процедуре разделения контролировался по  $\alpha$ -активности  $\text{Am}^{243}$ , который вносился в колонку перед разделением. После разделения  $\text{Am}$  и  $\text{Cm}$  наблюдалось нарастание интенсивности  $\alpha$ -частиц с энергией 6,11 Мэв, которая определяла выход ядра  $\text{Am}^{242}$  в состоянии  $5^-$ .

Полученные на опыте функции возбуждения для основного состояния и для спонтанно делящегося изомера представлены на рис. 2. При энергии несколько выше кулоновского барьера обе функции возбуждения имеют вид, характерный для реакций, протекающих через образование составного ядра. Неточность измерения энергии внутреннего пучка нейтронов в наших опытах ( $\approx 3$  Мэв) не позволяет судить об относительном сдвиге максимумов обеих функций. При увеличении энергии оба сечения реакции не спадают к 0, а имеют заметную величину, которая мало меняется с энергией. Это означает, по-видимому, что при больших энергиях нейтронов  $\text{B}^{11} \rightarrow \text{Am}^{242}$  образуется в результате срыва нескольких нуклонов из бомбардирующей частицы.

В случае изомерного состояния  $5^-$  было измерено сечение, усредненное по интервалу энергии 50-88 Мэв (в этом интервале образование  $\text{Am}^{242}$  происходит, по-видимому, в основном в реакции, протекающей через составное ядро). Это сечение оказалось равным  $(1,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-28} \text{ см}^2$ , т.е. близким к сечению образования  $\text{Am}^{242}$  в основном состоянии.

На рис. 3 представлена зависимость от энергии отношения сечений образования спонтанно делящегося и основного состояний  $\text{Am}^{242}$ . Это отношение сначала возрастает с ростом энергии нейтронов  $\text{B}^{11}$ , достигает максимума и спадает, когда  $\text{Am}^{242}$  образуется в результате реакций срыва.

Из полученных на опыте изомерных отношений (отношение усредненных сечений образования  $\text{Am}^{242}$  в состояниях  $5^-$  и  $1^-$   $\frac{\sigma_{5^-}}{\sigma_{1^-}} = 1 \pm 0,5$  и отношение сечений образования спонтанно делящегося и основного  $\sigma_{\text{н.д.}}/\sigma_{\text{г.}}$  состояний  $\frac{\sigma_{\text{н.д.}}}{\sigma_{\text{г.}}} = (4,4 \pm 1,5) \cdot 10^{-4}$ ) можно оценить спин спонтанно делящегося изомера. Для этого использовался метод, описанный в работе /6/. Было рассчитано распределение по моментам составного ядра  $\text{Bk}^{249}$ , а также ядер, получающихся после вылета  $\alpha$ -частицы, трех нейтронов и каскада  $\gamma$ -квантов. При таком методе расчета оказывается, что изомерное отношение  $\frac{\sigma_{5^-}}{\sigma_{1^-}} = 4,4 \cdot 10^{-4}$  соответствует спину 24. Однако при этом изомерное отношение  $\frac{\sigma_{\text{н.д.}}}{\sigma_{\text{г.}}} = 8$ , что заметно больше полученного на опыте ( $1 \pm 0,5$ ). Такое различие опытного и расчетного значений, естественно, ставит под сомнение полученное значение спина спонтанно делящегося изомера.

Различие значений  $\frac{\sigma_{\text{н.д.}}}{\sigma_{\text{г.}}}$  может быть связано с рядом причин:

- 1) вероятность образования составного ядра с большим моментом значительно меньше расчетной из-за конкуренции с реакциями срыва;
- 2) в деформированных ядрах, к которым относится и  $\text{Am}^{242}$ , уровни характеризуются не только полным моментом  $J$ , но и его проекцией на ось симметрии ядра  $K$ . Распределение ядер по  $K$  может быть сдвинуто в сторону меньших значений относительно распределения по  $J$ .
- 3) параметр, характеризующий зависимость плотности уровней от спина ( $\sigma$ ), имеет меньшую величину, чем принималось в расчетах, так как момент инерции ядра, который определяет величину  $\sigma$ , может быть меньше, чем для твердого тела.

Другой способ оценки спина спонтанно делящегося изомера заключается в следующем. Будем считать, что распределение ядер по моментам после вылета частиц и  $\gamma$ -квантов оказывается таким, при котором изомерное отношение  $\frac{\sigma_{5^-}}{\sigma_{1^-}}$  совпадает с опытным. При этом распределение по моментам описывается выражением

$(2J+1) \exp[-\frac{J(J+1)}{2\sigma^2}]$ , которое определяет зависимость плотности уровней от спина в модели Ферми-газа /7/. Такое распределение устанавливается тогда, когда вылетающие из ядра частицы и  $\gamma$ -кванты уносят достаточно большой момент. В этом случае изомерному отношению  $4,4 \cdot 10^{-4}$  соответствует спин 13. Если же указанное выше распределение по моментам не устанавливается, то данному значению  $\frac{\sigma_{\text{н.д.}}}{\sigma_{\text{г.}}}$  будет соответствовать больший спин.

Таким образом расчет по описанному выше методу приводит к большому значению спина спонтанно делящегося изомера (не менее 13). Однако необходимо отметить, что проведенное рассмотрение справедливо только в том случае, когда  $\gamma$ -переходы на спонтанно делящееся состояние не замедлены по сравнению с переходами на уровни  $1^-$  и  $5^-$ . Если это условие не выполняется, что может иметь место при необыч-

ной природе изомерного состояния, то полученное значение  $\frac{\sigma_{\text{изм}}}{\sigma_{\text{н}}}$  будет отвечать меньшему спину.

Авторы весьма признательны профессору Г.Н. Флерову за постоянный интерес к работе. Авторы также выражают благодарность В.П. Перельгину и сотрудникам его группы за обработку и просмотр стеклянных детекторов, К.А. Гаврилову за изготовление мишеней, Б.А. Гвоздеву и С.А. Плешуковой за химическое разделение Am и Cm.

#### Л и т е р а т у р а

1. С.М. Поликанов, В.А. Друян, В.А. Карнаухов, В.Л. Михеев, А.А. Плева, Н.К. Скобелев, В.Г. Субботин, Г.М. Тер-Акопян, В.А. Фомичев. ЖЭТФ, 42, 1484 (1982).
2. Ю.В. Лобанов, В.И. Кузнецов, В.П. Перельгин, С.М. Поликанов, Ю.Ц. Оганесян, Г.Н. Флеров. Ядерная физика, 1, 87 (1965).
3. А.Ф. Лянев, Б.Н. Марков, А.А. Плева, С.М. Поликанов. Nucl. Phys., 63 173 (1965).
4. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ Р-2435, Дубна 1985. Ядерная физика (в печати).
5. В.П. Перельгин, С.П. Третьякова, И. Звара. ПТЭ, 4, 78 (1984).
6. J.R. Huizenga, R. Vandenbosch, Phys. Rev. 120, 1305 (1960).
7. T. Ericson. Advan. Phys. 9, 425 (1960).

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 апреля 1986 г.

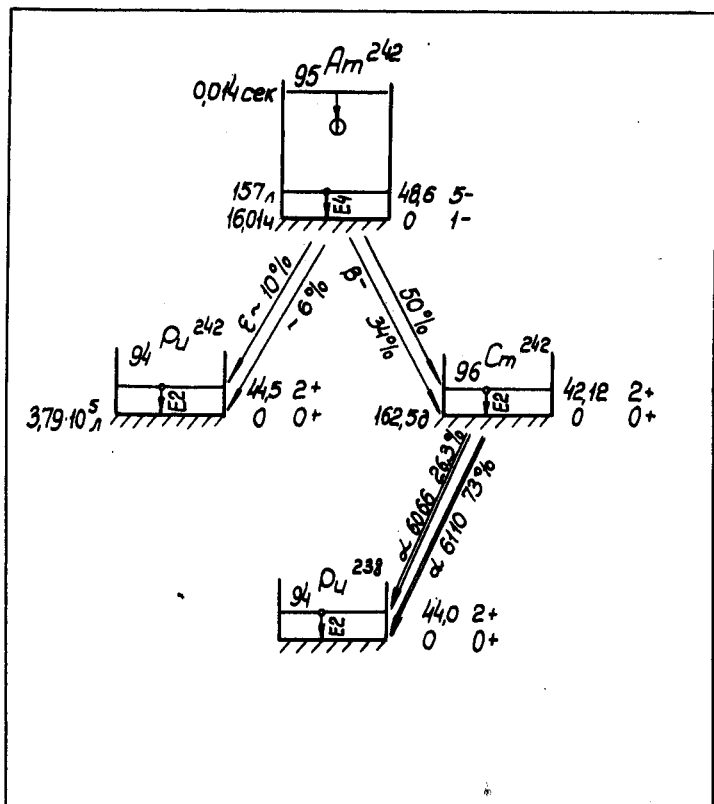


Рис. 1. Схема распада Am<sup>242</sup>.

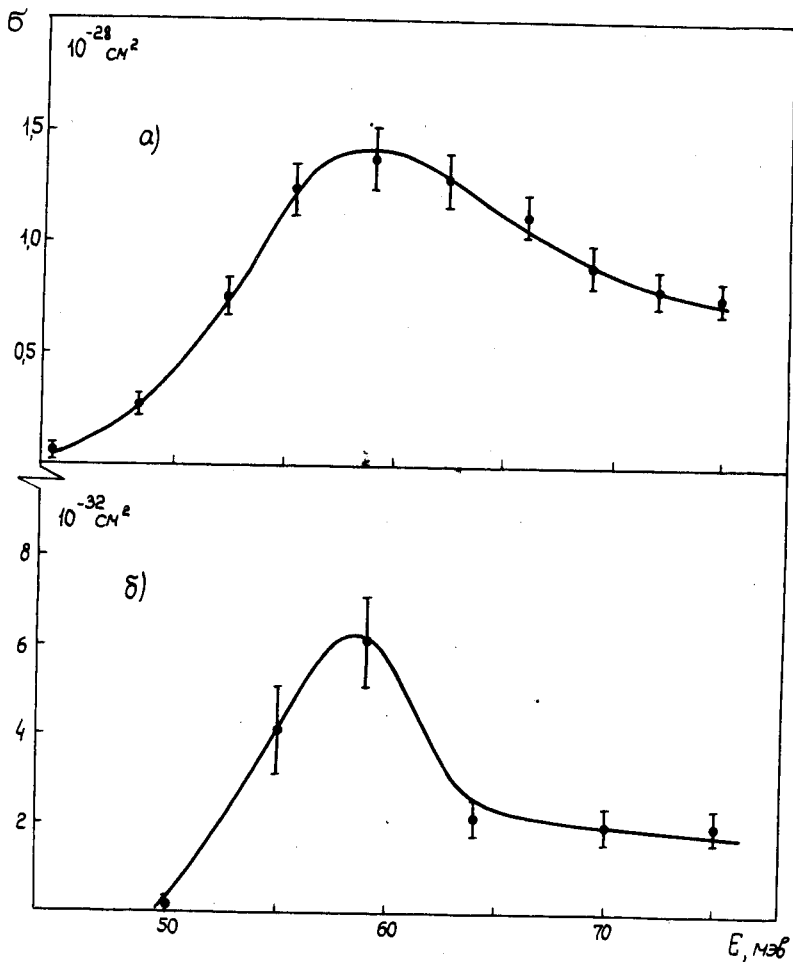


Рис. 2. Функции возбуждения реакции  $U^{238} + B^{11} \rightarrow Am^{242} + \alpha + 3n$   
 а - с образованием основного состояния  $Am^{242}$ ,  
 б - с образованием спонтанно делящегося изомера.



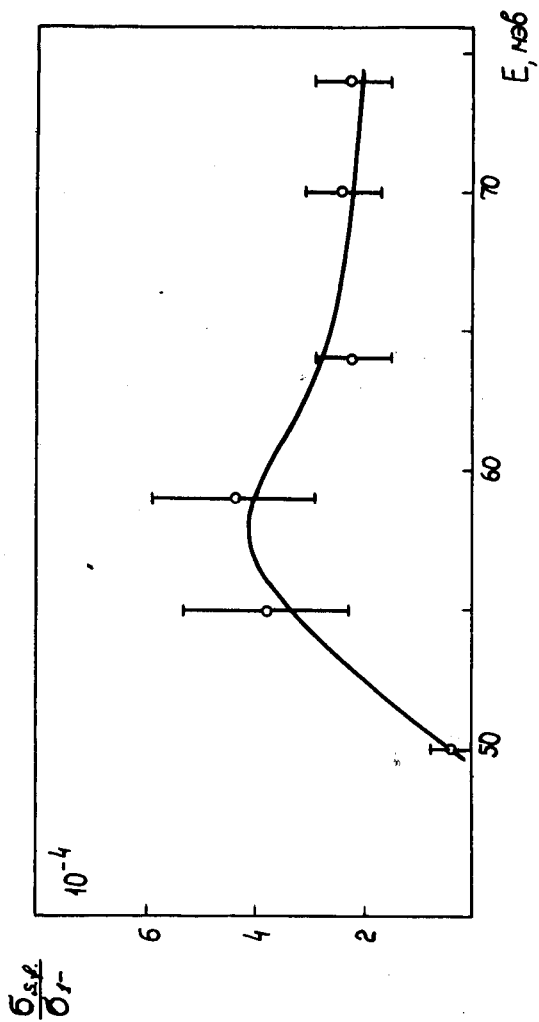


Рис. 3. Зависимость измеренного отношения  $\frac{\sigma_{sl}}{\sigma_T}$  от энергии ионов В11 .