

18/42

C 341.3r + C 343g

Б-963

ЯФ, 1968, т. 8, Вып. 3

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

C. 459-462

Дубна

P6 - 3744



С. Бьернхольм, И. Борггрин, Ю.П. Гангрский,
Г. Слеттен

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ (d,p) И (d,t),
ПРИВОДЯЩИХ К СПОНТАННО ДЕЛЯЩИМСЯ ИЗОМЕРАМ

1968

Исследование реакций (d,p) и (d,t), приводящих к спонтанно делящимся изомерам

Исследовались реакции (d,p) и (d,t), приводящие к спонтанно делящимся изомерам ^{240}Am , ^{242}Am , ^{244}Am в диапазоне энергий дейтронов 9-13 Мэв. Измерение сечений реакций (d,p) и (d,t) показало, что в этих реакциях изомерное отношение значительно меньше, чем в реакциях (d,2n), приводящих к тем же самым ядрам. Разницу в изомерных отношениях нельзя объяснить различием в распределения по энергиям возбуждения и спину ядер Am , остающихся после испускания частиц.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1968.

Björnholm S., Borggreen J., Gangrsky Yu.P., Sletten G. P6-3744

Investigation of the Reactions (d,p) and (d,t)
Leading to the Spontaneously Fissionable Isomers

The reactions (d,p) and (d,t), leading to the spontaneously fissionable ^{240}Am , ^{242}Am and ^{244}Am isomers, were investigated in the energy range of 9-13 MeV. The measurement of the (d,p) and (d,t) reactions cross sections has shown that the isomeric ratio in these reactions is rather small as compared to that of the reactions (d,2n), which lead to the production of the same nuclei. The difference in isomeric ratios cannot be explained by the difference in distributions according to the excitation energies and the spin of the Am nuclei, remaining after the particle emission.

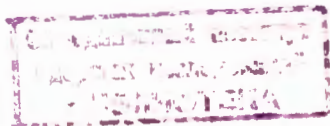
Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1968

Р6 - 3744

С. Бьернхольм, И. Борггрин, Ю.П. Гангрский,
Г. Слеттен

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ (d,p) И (d,t),
ПРИВОДЯЩИХ К СПОНТАННО ДЕЛЯЩИМСЯ ИЗОМЕРАМ

Направлено в ЯФ



4271, up.

Природа спонтанно делящихся изомеров, открытых в 1961 году^{/1/}, остается неясной до настоящего времени. Причиной этого, по-видимому, являются большие экспериментальные трудности при исследовании свойств этих состояний. γ -кванты или α -частицы с этих состояний не обнаружены^{/2/}, а спонтанное деление не позволяет сделать каких-либо заключений о таких свойствах изомерных состояний, как энергия, спин, чётность, нуклонная конфигурация. Поэтому единственным источником сведений о свойствах спонтанно делящихся изомеров являются ядерные реакции, приводящие к этим состояниям. Измерение порогов реакций $^{241}\text{Pu}(p, 2n)$ ^{/3/} ^{240}mAm и $^{243}\text{Am}(n, 2n)$ ^{/4/} ^{242}mAm позволило определить энергию изомерных состояний в изотопах ^{240}Am и ^{242}Am , которая оказалась близкой к 3 Мэв для обоих ядер. Сравнение изомерных отношений в ядерных реакциях с различными бомбардирующими частицами позволило оценить спин изомерного состояния^{/5/}. Изомерные отношения остаются практически постоянными в широком диапазоне вносимых в ядро моментов, что указывает на малую величину спина спонтанно делящихся изомеров.

Такие свойства изомерных уровней могут объяснить аномально малое время по отношению к спонтанному делению, однако, оказывается совершенно непонятным большой запрет (не менее 10^{12}) для γ -излучения. В нечётно-нечётных ядрах вблизи основного состояния имеется много уровней с различными спинами, поэтому γ -переходы с изомерного уровня будут иметь низкую мультипольность, и запрет, связанный со

спином или проекцией спина на ось симметрии ядра отсутствует. Очевидно, для объяснения природы этого запрета необходимы дальнейшие исследования свойств спонтанно делящихся изомеров.

Одним из возможных путей к решению этой проблемы является измерение сечений образования изомерных состояний в различных по своему характеру реакциях. В реакциях, протекающих через образование составного ядра, энергия возбуждения сравнительно велика и может распределяться между всеми степенями свободы. В результате этого могут проявляться состояния самой различной природы. В то же время в прямых реакциях преимущественно проявляются состояния какого-либо определенного типа, и энергия возбуждения является сравнительно небольшой.

Такого рода реакции (реакции передачи нейтрона) исследовались в работе^{/6/} при использовании в качестве бомбардирующих частиц тяжелых ионов. Однако в этом случае интерпретация полученных результатов усложняется, так как наряду с передачей одного нуклона возможны и более сложные реакции (например, неупругое рассеяние или переход из одного ядра в другое группы нуклонов с последующим испарением), приводящие к тому же ядру. В этом отношении реакции (d, p) и (d, t) более удобны, так как указанные выше процессы маловероятны.

Экспериментальная установка была аналогична описанной в работе^{/3/}. Пульсирующий пучок дейтонов, ускоренных на тандем-генераторе института Нильса Бора, падал на мишень, обогащенную изотопами ^{241}Am или ^{243}Am . Регистрация осколков зачаздывающего деления производилась при помощи стеклянных детекторов, укрепленных на вращающемся диске. Вращение диска было синхронизовано с импульсами интенсивности пучка дейтонов: стеклянные детекторы проходили мимо мишени в период между импульсами. Осколки мгновенного деления в реакции $\text{Am} + d$ регистрировались поверхностно-барьерным кремниевым детектором.

Идентификация полученного в реакции изомера производилась по периоду полураспада. Подтверждено существование спонтанно делящегося изомера ^{244}Am , который к началу данных опытов был известен лишь из частного сообщения А.Гиорсо (Калифорнийский университет, США). Кривая распада этого изомера, полученного в реакции $^{243}\text{Am}(d, p) ^{244}\text{Am}$, представлена на рис. 1. Период полураспада составляет $1,10 \pm 0,15$ мсек,

что находится в хорошем согласии с сообщением А.Гиорсо и с результатами недавно опубликованной работы /7/, где ^{244}Am был получен в реакции захвата быстрых нейтронов ^{243}Am .

Функции возбуждения реакций $^{241}\text{Am}(d, p)$, ^{242m}Am и $^{248}\text{Am}(d, p)$, ^{244m}Am представлены на рис. 2. Для сравнения приводятся также функции возбуждения реакций мгновенного деления ^{241}Am и ^{248}Am дейтонами (сечения этих реакций практически идентичны сечениям реакций образования составного ядра), полученные на опыте и рассчитанные С.Егере /8/ по оптической модели с использованием параметров, полученных в работе /9/. Из рис. 2 видно, что функции возбуждения реакций (d, p) , приводящих к образованию спонтанно делящихся изомеров, имеют характерный для реакций срыва вид - наклон их меньше, чем для реакций с образованием составного ядра. Это показывает, что спонтанно делящиеся изомеры образуются в результате реакции срыва нейтрона, а не в результате слияния дейтона с ядром Am и последующим испарением протона. Сечения реакций $^{241}\text{Am}(d, p)$, ^{242m}Am и $^{248}\text{Am}(d, p)$, ^{244m}Am при энергии дейтонов 13 Мэв составляют соответственно 0,7 мкбарн и 0,5 мкбарн, т.е. заметно меньше, чем в случае реакций $(d, 2n)$, приводящих к образованию спонтанно делящихся изомеров ^{240}Am и ^{242}Am при той же энергии дейтонов. В случае реакций $^{241}\text{Am}(d, t)$, ^{240}Am и $^{248}\text{Am}(d, t)$, ^{242}Am были получены только нижние границы эффекта - 0,07 мкбарн и 0,01 мкбарн соответственно.

Известно, что интегральные сечения реакций (d, p) и (d, t) мало меняются от ядра к ядру. При энергии дейтонов, близкой к высоте кулоновского барьера, в случае тяжелых ядер эти сечения составляют 100-200 мбарн для реакций (d, p) и 30-50 мбарн для реакций (d, t) /11/. По-видимому, такого же порядка должны быть сечения реакций (d, p) и (d, t) , приводящих к основным состояниям ^{242}Am и ^{244}Am при энергии дейтонов 13 Мэв. Поэтому изомерные отношения при этой энергии дейтонов составляют $\approx 10^{-5}$ для реакций (d, p) и $< 3 \cdot 10^{-7}$ для реакций (d, t) . Эти изомерные отношения значительно меньше, чем в реакциях, протекающих через образование составного ядра (как известно, в этом случае практически для всех реакций изомерное отношение составляет $4 \cdot 10^{-4}$ /5/).

Рассмотрим возможные причины такого большого различия изомерных отношений. Для этого проведем сравнение распределений по спину и энергии возбуждения ядер ^{242}Am , образованных в реакциях $(d, 2n)$ и (d, p) . В работе/8/ показано, что средний момент составного ядра в реакции $^{242}\text{Pu}(d, 2n)^{242}\text{Am}$ при энергии дейтронов 12 Мэв близок к 3 и мало меняется при испарении нейтронов из составного ядра. Средний момент ядра ^{242}Am в реакции (d, p) также около 3 (спин ядра мишени ^{241}Am 5/2 и наиболее вероятны вносимые моменты - 0 и 1). Распределения ядер ^{242}Am по энергии возбуждения при энергии дейтронов 12 Мэв представлены на рис. 3. Эти распределения рассчитаны по статистической теории/12/ для реакции $^{242}\text{Pu}(d, 2n)^{242}\text{Am}$ и по теории реакций срыва при подбарьерных энергиях дейтронов/13/ в случае реакции $^{241}\text{Am}(d, p)^{242}\text{Am}$. Из рис. 3 видно, что в реакции (d, p) , так же как и в реакции $(d, 2n)$, большая часть ядер ^{242}Am остается с энергией возбуждения выше энергии изомерного состояния (2,9 Мэв). Отсюда можно сделать вывод, что разница изомерных отношений, по-видимому, связана с запретом для γ -переходов с уровней, которые образуются в (d, p) реакциях, на изомерное состояние.

Запрет для γ -переходов и вытекающую отсюда разницу в изомерных отношениях для (d, p) и (d, t) реакций можно понять на основе гипотезы В.М.Струтинского об "изомерах формы"/14/. В этом случае основное и изомерное состояния ядра разделены потенциальным барьером, который препятствует γ -переходам. Поэтому для образования изомера необходима энергия, превышающая высоту барьера. Такие свойства изомерного состояния получили подтверждение в реакции $^{241}\text{Am}(n, \gamma)^{242m}\text{Am}$, где для образования изомера требовалась энергия возбуждения не менее 6 Мэв. Если и в реакции (d, p) к изомерному состоянию приводят только уровни с энергией выше 6 Мэв, то изомерное отношение значительно уменьшится, так как доля ядер ^{242}Am с такой энергией возбуждения будет малой из-за конкуренции с испарением нейтронов (энергия связи нейтрона в ядре ^{242}Am составляет 5,5 Мэв). В случае реакции $(d, 2n)$ все ядра до испарения нейтронов имеют энергию возбуждения, достаточную для преодоления потенциального барьера. Полученные данные, естественно, не являются однозначным

доказательством существования "изомеров формы". Возможно, что запрет для γ -переходов на изомерный уровень имеет другую причину.

В заключение авторы выражают благодарность проф. Г.Н.Флерову за постоянный интерес к работе, С.М.Поликанову и Е.Бангу за полезные дискуссии, С.Егере за расчёт сечений реакций, М. Олесену и С.Хансену за помощь при работе на тандем-генераторе, Е.П.Перелыгину и сотрудникам его группы, а также Э.Бенгтсон за обработку и просмотр стеклянных детекторов. Один из авторов (Ю.П.Г.) благодарит руководство института Нильса Бора за гостеприимство в период пребывания в институте.

Л и т е р а т у р а

1. С.М.Поликанов, В.А.Друин, В.А.Карнаухов, В.Л.Михеев, А.А.Плеве, Н.К.Скобелев, В.Г.Субботин, Г.М.Тер-Акопьян, В.А.Фомичев. ЖЭТФ 42, 1464 (1962).
2. R.V.Leachman, B.H.Erkila Bull. Amer. Phys. Soc., 10, 1204 (1965).
3. S.Bjornholm, J.Borggreen, L.Westgaard, V.A.Karnaukhov Nucl. Phys., A95, 513 (1967).
4. G.N.Flerov, S.M.Polikanov, N.Martalogu, A.A.Pleve, S.P.Tretjakova, I.Vilcov, N.Vilcov, Nucl. Phys., A97, 444 (1967).
5. Г.Н.Флеров, Ю.П.Гангрский, Б.Н.Марков, А.А.Плеве, С.М.Поликанов, Х.Юнгклауссен, Я.Ф. 6, 17 (1967).
6. Ю.П.Гангрский, Б.А.Гвоздев, Б.Н.Марков, С.М.Поликанов, Х.Юнгклауссен, Я.Ф., 6, 535 (1967).
7. G.N.Flerov, A.A.Pleve, S.M.Polikanov, S.P.Tretjakova, I.Boca, M.Seson, I.Vilcov, N.Vilcov, Nucl. Phys., A102, 443 (1967).
8. S.Jägare, Nucl. Phys., A103, 241 (1967).
9. С.М.Перей, F.G.Perey, Phys. Rev., 132, 755 (1965).
10. G.N.Flerov, I.Ivanov, N.Martalogu, A.A.Pleve, S.M.Polikanov, D.Poenaru, N.Vilcov, Rev. Roum. Phys., 10, 217 (1965).
11. J.Wing, W.Rambler, A.Harkness, J.Huizenga, Phys. Rev., 114, 163 (1959).
12. V.Weisskopf, D.Ewing, Phys. Rev., 57, 472 (1940).
13. К.А.Тер-Мартirosян, ЖЭТФ 29, 713 (1955).

Рукóпись поступила в издательский отдел
26 февраля 1968 года.

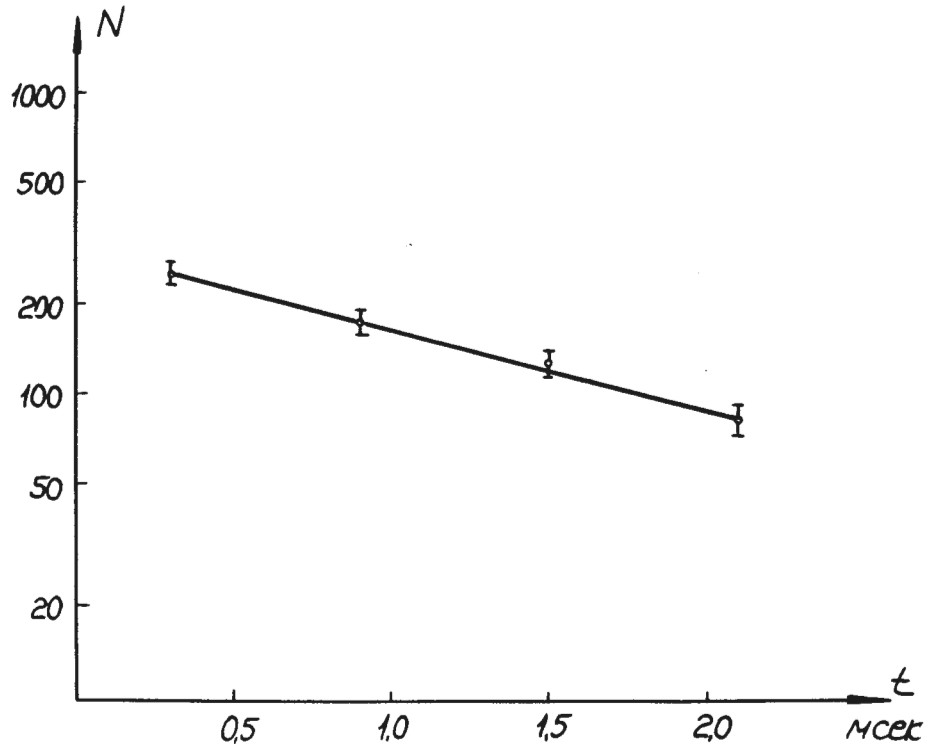


Рис. 1. График распада изомера ^{244}Am после вычитания фона от спонтанного деления примесей Cm в мишени.

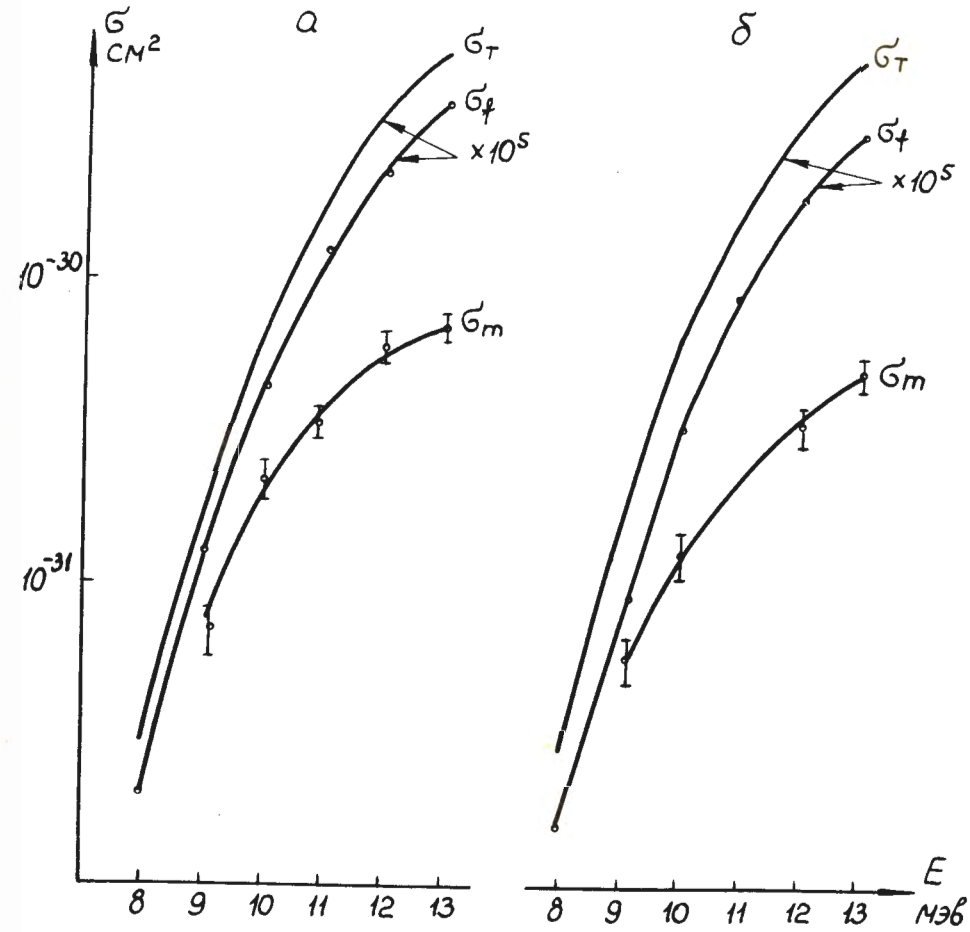


Рис. 2. Функции возбуждения реакций образования составного ядра $-\sigma_T$, мгновенного деления $-\sigma_f$ и $^{241,243}\text{Am}(d, p)$, $^{242,244m}\text{Am}$.

- а) $^{241}\text{Am} + d$,
- б) $^{243}\text{Am} + d$.

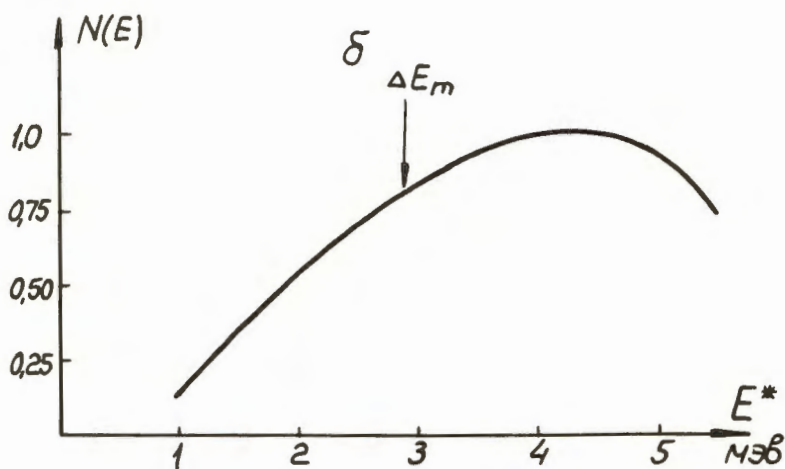
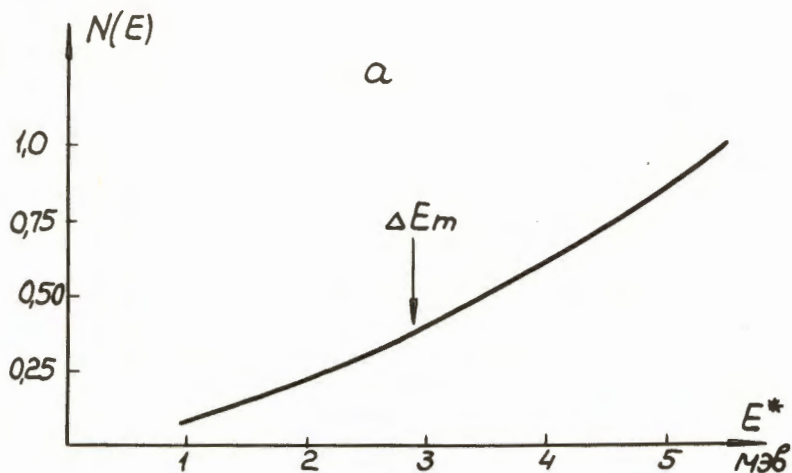


Рис. 3. Распределение ядер ^{242}Am по энергии возбуждения:
 а) в реакции $^{242}\text{Pu}(d, 2n)^{242}\text{Am}$ (при температуре ядра $T = 1$ Мэв);
 б) в реакции $^{241}\text{Am}(d, p)^{242}\text{Am}$ (при вносимом в ядро моменте $l = 0$).