

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

6-84-396

Во Дак Банг, Ю.С.Замятнин, Чан Дык Тхиеп,  
Чан Дай Нгиеп, Фан Тху Хыонг,  
Ле Тхи Кат Тьонг

ВЫХОДЫ ПРОДУКТОВ ФОТОДЕЛЕНИЯ <sup>242</sup>Pu

Направлено в журнал "Атомная энергия"

1984



Полный выход продуктов деления  $^{242}\text{Pu}$  тормозным излучением с граничными энергиями 18,1 и 20,7 МэВ

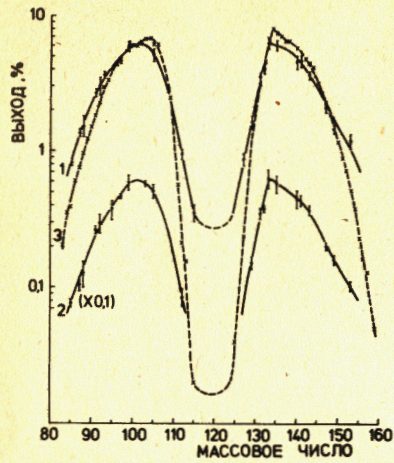
Массовое число	Используемый изотоп	Выход, %	
		18,1 МэВ	20,7 МэВ
85	Kr-85m	0,76±0,05	0,82±0,06
87	Kr-87	1,04±0,12	1,35±0,09
88	Kr-88, Rb-88	1,26±0,28	1,53±0,28
91	Sr-91	2,61±0,18	2,67±0,18
92	Sr-92, Y-92	2,94±0,47	3,01±0,46
93	Y-93	-	3,61±0,22
95	Zr-95, Nb-95	3,72±0,62	-
97	Zr-97, Nb-97	4,61±0,17	4,62±0,18
99	Mo-99, Tc-99	5,87±0,82	5,86±0,54
103	Ru-103	5,76±0,25	-
106	Rh-106	5,11±0,62	5,11±0,55
112	Ag-112	0,85±0,13	0,94±0,08
115	In-115m	-	0,35±0,05
127	Sb-127	-	0,87±0,09
129	Sb-129	1,51±0,16	1,63±0,18
131	I-131	3,49±0,33	3,52±0,25
132	Te-132, I-132	3,78±0,21	4,03±0,33
133	I-133	6,30±1,04	6,20±0,65
135	I-135	5,81±0,87	6,01±0,55
140	Ba-140, La-140	4,49±0,66	4,49±0,55
141	Ce-141	4,38±0,45	4,60±0,46
143	Ce-143	3,69±0,26	3,57±0,25
147	Nd-147	2,04±0,13	2,08±0,17
149	Nd-149	1,61±0,12	1,46±0,11
153	Sm-153	1,03±0,08	1,19±0,15

Расчет относительных выходов производился на ЭВМ CDC-6500 по программе RICH1, в которой использована подпрограмма FUMILI<sup>1/6/</sup>, реализующая алгоритм метода наименьших квадратов. Методика расчета относительных выходов не отличалась от изложенной в<sup>1/2/</sup>. Данные по периодам полураспада изотопов, абсолютным квантовым выходам гамма-линий и их погрешностям брались из<sup>1/2,7-9/</sup>. Значения относительных кумулятивных выходов идентифицированных нуклидов приводились к полным выходам цепочки с данной массой. При этом параметр  $Z_p$  в гауссовом распределении независимых выходов рассчитывался в предположении о неизменном зарядовом распределении в делящемся ядре и осколках с учетом отклонения от этого закона совокупности экспериментально измеренных  $Z_p$ <sup>1/10/</sup>. Значение параметра ширины гауссиана  $\sigma$ , равное 0,657, было найдено путем экстраполяции экспериментальных данных по фотоделению

Фотоделению  $^{242}\text{Pu}$  посвящено немного работ. В<sup>1/1/</sup> стеклянными детекторами измерялось угловое распределение осколков деления тормозным излучением в области энергий вблизи порога /5-10 МэВ/ с целью изучения структуры барьера деления. Данные по массовому распределению осколков фотоделения этого изотопа в литературе отсутствуют. С другой стороны, интерес к ядерным данным по выходам осколков деления нуклидов не ослабевает в связи с развитием теории деления ядер и решением прикладных задач. В настоящей работе впервые определены постнейтронные выходы осколков фотоделения  $^{242}\text{Pu}$  тормозным излучением электронов с энергиями 18,1±0,2 МэВ и 20,7±0,3 МэВ и определены параметры распределения масс осколков.

Используемая мишень представляла собой /3±0,3/ мг двуокиси плутония, обогащенного до 94,7% изотопом  $^{242}\text{Pu}$ . Тонкий слой плутония наносился на алюминиевую подложку толщиной 70 мкм и диаметром 55 мм. Диаметр активного пятна - 20 мм. В работе применена техника сбора осколков, вылетающих из слоя делящегося вещества, с последующей гамма-спектрометрией неразделенной смеси продуктов деления, описанная, например, в<sup>1/2/</sup>. Применяемая фольга-коллектор из высокочистого алюминия /99,999%/ толщиной 0,1 мм устанавливалась на расстоянии 1 мм от слоя  $^{242}\text{Pu}$ . Чтобы избежать влияния деления примеси  $^{241}\text{Pu}$  тепловыми нейтронами, вся сборка окружалась слоем кадмия толщиной 0,5 мм. Делением быстрыми нейтронами вследствие его незначительного вклада /< 0,1%/ можно пренебречь. Для облучения был использован микротрон МТ-22<sup>1/3/</sup>. Тормозное излучение генерировалось в вольфрамовой мишени толщиной 2 мм. Остаточные электроны поглощались в алюминиевом поглотителе толщиной 35 мм. Средний ток пучка - 10 мкА - поддерживался со стабильностью ±5%. Гамма-спектры измерялись с помощью спектрометрической системы, состоящей из Ge(Li)-детектора объемом 28 см<sup>3</sup> и многоканального анализатора LP-4900 (Nokia Electronics). Энергетическое разрешение системы равно 3 кэВ по линии 662 кэВ цезия-137. Время облучения составляло 5 ч/при энергии электронов 18,1 МэВ/ и 6 ч /при 20,7 МэВ/. Измерения гамма-спектров производились в автоматическом режиме с записью следующих друг за другом спектров на магнитную ленту. Время охлаждения и измерения выбиралось в зависимости от схемы распада цепочки с рассматриваемым нуклидом и варьировалось в пределах 0,5 - 1470 часов и 0,5 - 10 часов соответственно. Идентификация и расчет интенсивностей пиков осуществлялись с помощью программы АСТIV<sup>1/4/</sup>, адаптированной для ЭВМ Минск-32. Более прецизионная обработка спектров проводилась по программе КАТОК<sup>1/5/</sup> на ЭВМ PDP-11/70.





Массовое распределение продуктов деления  $^{242}\text{Pu}$  тормозным излучением электронов с энергией 20,7 МэВ /кривая 1/, 18,1 МэВ /кривая 2/ и  $^{241}\text{Pu}$  - тепловыми нейтронами /кривая 3/ <sup>13/</sup>.

$^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  при 20 МэВ <sup>11/</sup> к массе 242. Абсолютные значения выходов продуктов деления  $^{242}\text{Pu}$  тормозным излучением с граничной энергией 20,7 МэВ, приведенные в табл.1, были получены при нормировке к 200% площади под кривой массового распределения,

построенной по значениям полных выходов. Выходы при 18,1 МэВ, также приведенные в табл.1, нормировались к полному выходу вершинных осколков при 20,7 МэВ, практически не изменяющемуся с энергией <sup>12/</sup>.

На рисунке приведено массовое распределение осколков фотоделения  $^{242}\text{Pu}$  при 18,1 МэВ и 20,7 МэВ и деления  $^{241}\text{Pu}$  тепловыми нейтронами <sup>13/</sup>. Все распределения имеют "двугорбую" форму, свидетельствующую об асимметричном делении  $^{242}\text{Pu}$ . За исключением района масс 133-135, кривые массового распределения обнаруживают плавный ход. В районе 133-135 наблюдается обусловленная влиянием замкнутой нейтронной оболочки  $N = 82$  слабо выраженная тонкая структура, отмеченная ранее <sup>14/</sup> при делении  $^{241}\text{Pu}$  тепловыми нейтронами и при спонтанном делении  $^{242}\text{Pu}$  <sup>15/</sup>. Параметры массового распределения приведены в табл.2. Средневзвешенные значения масс легких  $\bar{A}_L$  и тяжелых  $\bar{A}_T$  осколков практически не меняются с изменением энергии возбуждения, что согласуется с выводом работ <sup>12/</sup> по фотоделению  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  при энергиях возбуждения  $E^* = 9,7-19,9$  МэВ. Однако в более широком диапазоне изменения  $E^*$ , как показывает анализ совокупности наших данных и результатов <sup>15/</sup>,  $\bar{A}_L$  медленно уменьшается, а  $\bar{A}_T$ , наоборот, растет с увеличением  $E^*$  соответственно с коэффициентами  $\Delta\bar{A}_L/\Delta E^* \approx -0,33$ ,  $\Delta\bar{A}_T/\Delta E^* \approx +0,26$ . Для расчета этих величин была оценена средняя энергия возбуждения ядра  $^{242}\text{Pu}$  при энергиях электронов 18,1 и 20,7 МэВ, которая оказалась равной 12,0 и 13,3 МэВ соответственно. По-видимому, данное явление можно объяснить увеличением конкуренции эмиссионного деления и сглаживанием тонкой структуры с ростом  $E^*$ . При переходе от 18,1 МэВ к 20,7 МэВ полуширина на полувысоте /ПШПВ/ как для легкого, так и для тяжелого пиков увеличивается /приблизительно на 8%/, что согласуется с данными <sup>13-16/</sup>. Отметим, что полученные нами значения ПШПВ для пика легких осколков больше, чем для пика тяжелых

Таблица 2

Параметры массового распределения продуктов фотоделения  $^{242}\text{Pu}$

	18,1 МэВ	20,7 МэВ
P	-	$\geq 17$
$\bar{A}_L$ / а.е.м. /	98,7 $\pm$ 0,3	98,9 $\pm$ 0,3
$\bar{A}_T$ / а.е.м. /	140,4 $\pm$ 1,0	139,9 $\pm$ 1,1
ПШПВ <sub>L</sub> / а.е.м. /	16,0 $\pm$ 0,4	17,3 $\pm$ 0,5
ПШПВ <sub>T</sub> / а.е.м. /	14,3 $\pm$ 0,4	15,5 $\pm$ 0,4

осколков на 12%, что подтверждает роль эмиссионного деления <sup>17/</sup> отсутствующего при  $E^* = 6,3$  МэВ <sup>14/</sup>. В согласии с этим объяснением при 20,7 МэВ наблюдается несколько большее уширение, чем при 18,1 МэВ. Полученное нами значение отношения "пик/впадина" P хорошо согласуется с общей систематикой данного параметра, приведенной в литературе <sup>18/</sup>.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить А.Г.Белова, Ц.Вылова, В.Б.Бруданина, Г.В.Букланова и С.П.Третьякову за помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Работнов Н.С. и др. ЯФ, 1970, 11, с. 508.
2. Thierens H. et al. Nucl. Instrum. & Meth., 1976, 134, p. 299-308.
3. Белов А.Г. и др. ОИЯИ, P9-82-301, Дубна, 1982.
4. Злоказов В.Б. ОИЯИ, P10-82-105, Дубна, 1982.
5. Гаджиков В.И. и др. ОИЯИ, P10-12724, Дубна, 1979; E10-12352, Дубна, 1979.
6. Силин И.Н. В кн.: Статистические методы в экспериментальной ядерной физике. Атомиздат, М., 1976, с. 319.
7. Blachot J., Fiche C. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1977, 20, p. 242.
8. Table of Isotopes (Ed. by C.M.Lederer, V.S.Shirley), Seventh Edition. Wiley Interscience, N.Y., 1978.
9. Dickens J.K., McConnel J.W. Phys.Rev., 1981, 24, p. 192.
10. Wahl A.C. et al. Proc.Second Int. Symp. on the Phys. and Chem. of Fission. Austria, Vienna, 1969, p. 813.
11. De Frenn D. et al. Phys.Rev.C, 1982, 26, p. 1356.
12. Jacobs E. et al. Phys.Rev.C, 1979, 19, p. 422; Phys.Rev.C, 1980, 21, p. 237.



- ✓ 13. Crouch E.A.C. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1977, v.19, No. 5. p. 417-532.
14. Farrar H. et al. Can. J. Phys., 1964, 42, p. 2063.
15. Allaert E. et al. Nucl.Phys. A, 1982, 380, p. 61-71.
16. Cañtucoli F. et al. Nucl.Phys.A, 1981, 369, p. 15.
17. Кондратько М.Я. и др. Атомная энергия, 1982, т. 53, с.164.
18. Горбачев В.М., Замятнин Ю.С., Лбов А.А. В кн.: Взаимодействие излучений с ядрами тяжелых элементов и деление ядер. Атомиздат, М., 1976, с. 314.

Во Дак Банг и др.

6-84-396

Выходы продуктов фотоделения  $^{242}\text{Pu}$

Методом гамма-спектрометрического анализа неразделенной смеси осколочных нуклидов определены выходы осколков фотоделения  $^{242}\text{Pu}$  тормозным излучением электронов с энергией 18,1±0,2 МэВ и 20,7±0,3 МэВ, ускоренных с помощью микротрона МТ-22. Определены основные параметры массового распределения осколков.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Vo Dac Bang et al.

6-84-396

Yields of  $^{242}\text{Pu}$  Photofission Products

Yields of fission products produced by the photofission of  $^{242}\text{Pu}$  have been determined with the gamma-ray spectrometric technique. For irradiation the bremsstrahlung of MT-22 microtron with the 18.1±0.2 MeV and 20.7±0.3 MeV boundary energies was used. Some basic parameters of fission fragment mass distributions are determined.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 июня 1984 года.