

ВЫХОДЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЯДЕР He, Li, Be В СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ ^{248}Cm

М.П.Иванов, И.В.Кузнецов, В.Ф.Кушнирук, В.С.Саламатин,
Ю.Г.Соболев, Г.В.Букланов

Измерены выходы и энергетические спектры ядер He, Li и Be в спонтанном делении ^{248}Cm . Для измерений использовался телескоп, содержащий ионизационную камеру для измерения потерь энергии dE и Si(Au) E -детектор. Экстраполированные выходы, наиболее вероятные энергии и ширины энергетических распределений на полувысоте составили $(2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$ 1/двойное деление, $(15,6 \pm 0,3)$ МэВ, $(10,5 \pm 0,2)$ МэВ для He; $(5,91 \pm 2,11) \cdot 10^{-6}$ 1/двойное деление, $(15,2 \pm 2,2)$ МэВ, $(13,4 \pm 2,0)$ МэВ для Li; $(1,12 \pm 0,51) \cdot 10^{-5}$ 1/двойное деление, $(21,1 \pm 2,8)$ МэВ, $(13,1 \pm 2,2)$ МэВ для Be. Наблюдается хорошая корреляция выходов ядер He с Z^2/A для спонтанно делящихся $^{248,244,242}\text{Cm}$ -изотопов, выходы ядер He увеличиваются с увеличением Z^2/A .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

The Yields and Energy Spectra of He, Li, and Be Nuclei in ^{248}Cm Spontaneous Fission

M.P.Ivanov et al.

The yields and energy spectra of He, Li and Be nuclei accompanying ^{248}Cm spontaneous fission were measured. A telescope consisting of ionisation chamber for measuring the energy losses dE and a E Si(Au)-detector were used for the measurements. The extrapolated yields, most probable energies and widths are: $(2.3 \pm 0.3) \cdot 10^{-3}$ 1/binary fission, (15.6 ± 0.3) MeV, (10.5 ± 0.2) MeV for He; $(5.91 \pm 2.11) \cdot 10^{-6}$ 1/binary fission, (15.2 ± 2.2) MeV, (13.4 ± 2.0) MeV for Li; $(1.12 \pm 0.51) \cdot 10^{-5}$ 1/binary fission, (21.1 ± 2.8) MeV, (13.1 ± 2.2) MeV, for Be. The good correlation of He nuclei yields with Z^2/A for spontaneously fissioning $^{248,244,242}\text{Cm}$ isotopes is observed, the yields increase with increasing Z^2/A .

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

Введение

Тройное деление тяжелых ядер, при котором легкая заряженная частица (ЛЗЧ) ($Z = 1-8$) испускается из области между двумя осколками в момент времени, близкий к разделению ядра, постоянно привле-

кает внимание исследователей. Это связано с тем, что такую ЛЗЧ можно рассматривать как зонд, позволяющий изучать геометрическую конфигурацию ядра и другие характеристики в ходе его деления и таким образом исследовать динамику ядерного деления. Обзор последних результатов, полученных в этой области, дан в работе [1]. Максимальный выход в тройном делении (около 90%) имеют α -частицы с наиболее вероятной кинетической энергией около 16 МэВ (длиннопробежные α -частицы (ДАЧ)). Поэтому выходы ДАЧ (отношение числа испущенных ДАЧ к числу двойных делений), их энергетические и угловые распределения получены для значительно большего числа ядер по сравнению с выходами для других ЛЗЧ. В работе [2] показано, что имеется хорошая корреляция выходов ДАЧ с Z^2/A . Эта корреляция объясняется влиянием оболочечных эффектов в легких осколках. Можно предполагать, что изучение подобных корреляций для ЛЗЧ с $Z > 2$ позволит еще более продвинуться в понимании процесса ядерного деления. Особенный интерес представляет спонтанное деление, в котором влияние оболочек проявляется наиболее сильно.

Экспериментальные данные по тройному делению с эмиссией частиц более тяжелых, чем доминирующая α -частица, недостаточны из-за их низкого выхода ($\cong < 10^{-5}$ на бинарное деление).

Для ЛЗЧ с $Z > 2$ данные по выходам и энергетическим распределениям получены в основном в экспериментах по вынужденному делению ядер нейтронами и гамма-квантами. Единственным спонтанно делящимся ядром, для которого измерены выходы и энергии ЛЗЧ с $Z > 2$, является ^{252}Cf . В настоящей работе впервые измерены выходы и энергетические распределения ядер He, Li и Be для спонтанно делящегося ядра ^{248}Cm .

Экспериментальная методика

Измерения проводились с использованием ($dE-E$)-телескопа, схематическое изображение которого приведено на рис.1 (слева). В качестве dE -детектора использовалась ионизационная камера, которая состояла из двух плоских параллельных электродов, имеющих форму круга диаметром 24 см, отстоящих друг от друга на расстоянии 70 мм, и расположенной между ними сетки. Собирающим электродом камеры служила сетка из нихромовой проволоки толщиной 100 мкм, натянутой с шагом 2 мм.

На одном из электродов был закреплен полупроводниковый Si(Au) E -детектор, так, что покрытая золотом поверхность детектора находилась в одной плоскости с поверхностью электрода. Диаметр

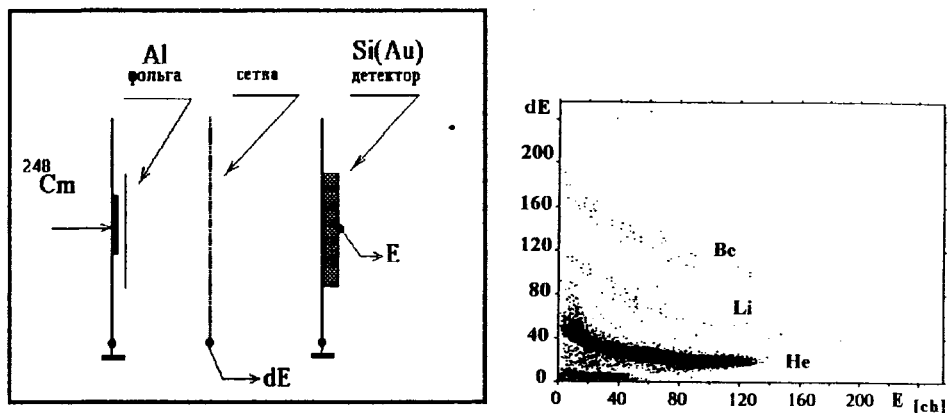


Рис.1. Схема экспериментальной установки (слева), $(dE-E)$ -спектр частиц He, Li, Be (справа).

поверхности и толщина рабочего слоя E -детектора составляли соответственно 50 мкм и 200 мкм. На другом электроде камеры устанавливался источник ^{248}Cm интенсивностью 10^4 дел./с. При измерениях ЛЗЧ источник был покрыт Al-фольгой толщиной 28 мкм. Источник представлял собой оксид кюрия (96,0% ^{248}Cm , 3,8% ^{246}Cm , и 0,2% ^{244}Cm), изготовленный электроосаждением из раствора нитрата кюрия в изобутаноле на подложку из 1,5 мкм (710 мкг/см^2) Ti. Осажденный слой прокаливался при температуре 400°C до получения CmO_2 . Средняя толщина слоя источника составляла 150 мкг/см^2 с разбросом по площади $<10\%$. Сверху источник был покрыт слоем углерода толщиной 30 мкг/см^2 .

Рабочий объем ионизационной камеры заполнялся смесью газов (аргон +10% метана) при давлении 0,2 атм. На сетку подавалось напряжение 400 В. Толщина dE -детектора при этом составляла $2,5 \text{ мг/см}^2$, что эквивалентно Si(Au)-детектору толщиной 8 мкм. Калибровка dE, E -спектроскопических трактов телескопа производилась по энергиям α -частиц дочерних продуктов распада ^{226}Ra (4,75; 5,46; 5,97 и 7,68 МэВ) из комплекта образцовых источников ОСИАИ и ^{232}Th (6,06 и 8,78 МэВ). Использовалась стандартная электронная аппаратура с дискриминаторами со следящим порогом и время-амплитудными преобразователями. Накопление и последующая «off-line» обработка информации производилась с помощью персонального компьютера РС АТ 286. Идентификация частиц проводилась выделением зон заселения частиц в двумерной $(dE-E)$ -матрице, представленной на рис.1 (справа). Как видно из рисунка, отсутствие точек между зонами засе-

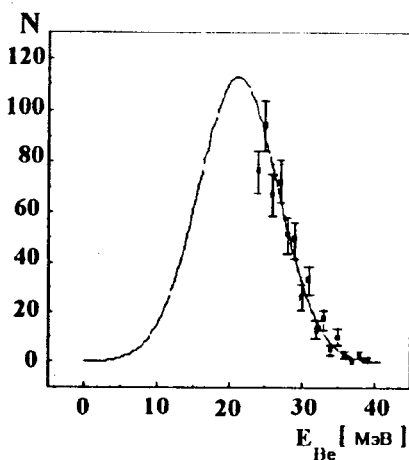
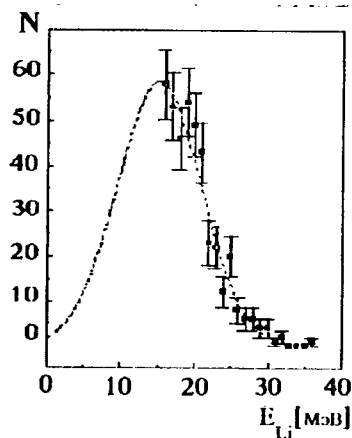
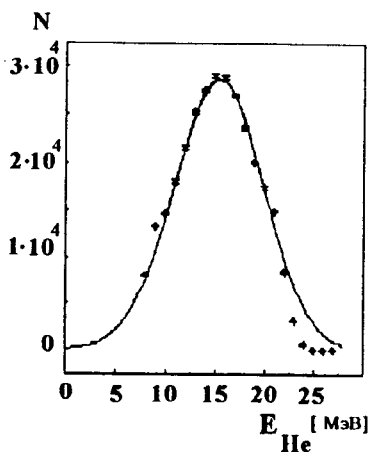


Рис.2. Энергетические спектры He, Li, Be

ления He, Li, Be позволяло надежно выделять регистрируемые частицы. Для получения энергетических спектров идентифицированных частиц вводились поправки на потери энергии в Al-фольге в соответствии с [3], при расчете поправок использовались средние значения масс изотопов Li, Be из [1]. На рис.2 приведены энергетические спектры частиц He, Li и Be в спонтанном делении ^{248}Cm , гладкими кривыми представлены результаты χ^2 -аппроксимации функцией Гаусса, параметры которых даны в табл.1—3.

Результаты и обсуждение

В табл.1 приведены суммарные выходы изотопов He(Y), наиболее вероятные энергии $\langle E \rangle$, ширины распределений по энергии

на половине высоты (ПШПВ) для ^{248}Cm и ^{252}Cf , выходы ЛЗЧ для ^{242}Cm и ^{244}Cm и значения Z^2/A для каждого нуклида.

Таблица 1. Выход ядер He

Ядро	Z^2/A	$\gamma (\times 10^{-3})$	$\langle E \rangle$, МэВ	ПШПВ, МэВ	Литер.
^{242}Cm	38,08	$3,89 \pm 0,26$	—	—	[4]
^{244}Cm	37,77	$3,18 \pm 0,20$	—	—	[4]
^{248}Cm	37,16	$2,3 \pm 0,3$	$15,35 \pm 0,3$	$10,5 \pm 0,2$	Наст. работа
^{252}Cf	38,11	$3,21 \pm 0,46$	$15,6 \pm 0,2$	$10,3 \pm 0,5$	[5]

Число зарегистрированных ядер, выходы и параметры энергетических распределений ядер Li и Be для ^{248}Cm в сравнении с измеренными для ^{252}Cf приводятся в табл.2 и 3. Выходы отнесены к 10^4 ядер He.

Результат, полученный при измерении выхода ядер He для ^{248}Cm (табл.1), подтверждает отмеченную в [2] зависимость выходов от Z^2/A для изотопных рядов. Выход ДАЧ почти линейно увеличивается с уменьшением массы изотопа, что можно объяснить увеличением вероятности выхода легкой частицы с увеличением деформации легкого осколка. При этом из измерений следует, что параметры энергетического распределения He в пределах ошибок эксперимента практически совпадают.

Если следовать такой логике рассуждений, то для выходов ЛЗЧ с $Z > 2$ следует ожидать еще более резкой зависимости от Z^2/A . Однако в этой области измерения проводились только с ^{252}Cf , и кроме этого имеется большой разброс измеренных параметров, связанный со сложностью измерений и обработки полученных данных. Это видно из результатов, приведенных в табл.2 и 3.

Если считать данные по тройному делению ^{252}Cf с вылетом ядер Li и Be, полученные в работах [8,9], наиболее достоверными, то, по видимому, вывод о более сильной зависимости выходов ЛЗЧ с $Z > 2$ от Z^2/A подтверждается. Суммарный выход ядер Li на 10^4 ядер He для ^{248}Cm примерно в два, а Be в три раза ниже, чем для ^{252}Cf . Из изложенного выше можно сделать вывод о том, что проведение новых более тщательных измерений выходов и энергетических распределений ЛЗЧ тройного деления для более широкого круга спонтанно делящихся ядер позволит существенно расширить наши представления о процессе ядерного деления.

Таблица 2. Выход ядер Li

Ядро	Число частиц	Экстраполир. вых. на 10^4	$\langle E \rangle$, МэВ	ПШПВ, МэВ	Литер.
^{252}Cf	2496	$13,2 \pm 1,6$	$20,0 \pm 1,0$	$7,8 \pm 2,4$	[6]
^{252}Cf	3863	$29,1 \pm 5$	$18,5 \pm 1,0$	—	[7]
^{252}Cf	—	55 ± 4	—	—	[8]
^{252}Cf	6200	53 ± 6	$13,5 \pm 1,4$	$13,8 \pm 1,7$	[9]
^{248}Cm	433	$25,7 \pm 8,6$	$15,2 \pm 2,2$	$13,4 \pm 2,0$	Наст. работа

Таблица 3. Выход ядер Be

Ядро	Число частиц	Экстраполир. вых. на 10^4 He	$\langle E \rangle$, МэВ	ПШПВ, МэВ	Литер.
^{252}Cf	2264	$20,1 \pm 2,0$	26	13	[6]
^{252}Cf	9115	65 ± 7	$19,2 \pm 1$	—	[7]
^{252}Cf	—	164 ± 9	—	—	[8]
^{248}Cm	522	$48,6 \pm 24$	$13,1 \pm 2,2$	$13,1 \pm 2,2$	Наст. работа

Авторы благодарны Ю.Э.Пенионжкевичу за постоянную поддержку при проведении эксперимента, Б.И.Пустыльнику за полезные обсуждения, Э.М.Козулину и Ю.В.Лобанову за помощь в работе.

Литература

1. Theobald J. — In: Proc. of Int. School-Seminar on Heavy Ion Physics, JINR, E7-93-274, Dubna, 1993, v.1, p.262.
2. Wageman C. — In: Proc. of Int. Workshop on Dynamical Aspects of Nuclear Fission, JINR, E7-92-95, Dubna, 1992, p.139.
3. Northcliffe L.C., Schilling R.E. Nucl. Data Tables, 1970, v.A7, No.3—4.
4. Nobles R.A. — Phys.Rev., 1962, v.126, No.4, p.1508.
5. Wild J.F. et al. — Phys.Rev.C, 1985, v.32, No.2, p.488.
6. Cospers S.W., Cerny J., Gatti R.S. — Phys.Rev., 1967, 154, p.1193.
7. Gazit Y., Nardi E., Katcoff S. — Phys.Rev., 1970, C1, p.2101.
8. Грачев В.Т. и др. — ЯФ, 1988, т.47, вып.3, с.622.
9. Dlouhy Z. et al. — Report HMI-B, 404, 1989, p.43.

Рукопись поступила 22 апреля 1994 года.