



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

96-74

P15-96-74

М.П.Иванов, Г.В.Букланов, И.Давид, С.М.Лукьянов,
Ю.Г.Соболев, А.С.Фомичев

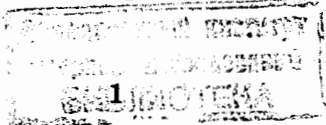
ОДНОВРЕМЕННАЯ ЭМИССИЯ
ДВУХ ЛЕГКИХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ПРИ СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ ^{248}Cm И ^{252}Cf

Направлено в «Письма в ЖЭТФ»

1996

Исследование легких заряженных частиц (ЛЗЧ), вылетающих при делении ядра из области шейки, дает возможность получать информацию о ядерном веществе, находящемся в необычном экстремальном состоянии вблизи точки разрыва, а также о механизме ядерного деления. Изучению низкоэнергетического и спонтанного деления тяжелых ядер, когда вместе с двумя тяжелыми осколками образуется одна ЛЗЧ - p , d , t , α и другие частицы (тройное деление), посвящено множество как теоретических, так и экспериментальных работ. Последние результаты в этой области даны в обзоре [1]. Вероятность тройного деления невелика и составляет два-три события тройного деления на тысячу актов бинарного деления. Наиболее полно изучено деление, сопровождающееся испусканием длиннопробежных альфа-частиц со средней энергией около 16 МэВ, поскольку вероятность такого события составляет более 90% от полной вероятности эмиссии ЛЗЧ.

Новую ценную информацию о ядерном делении может дать исследование деления, сопровождающегося одновременной эмиссией двух и более ЛЗЧ. До настоящего времени известны только две экспериментальные работы, в которых исследовалась одновременная эмиссия двух ЛЗЧ (четверное деление) при делении тепловыми нейтронами ^{235}U [2] и при спонтанном делении ^{252}Cf [3]. Авторы [3] показали, что в четверном делении ^{252}Cf основную долю (примерно 80%) составляют α - α -совпадения и ~16% - α - t -совпадения, а полная интенсивность четверного деления не превышает два события на 10^6 актов бинарного деления. В этих экспериментах использовались высокоинтенсивные источники спонтанного деления (10^5 - 10^6 делений/с), а идентификация ЛЗЧ осуществлялась полупроводниковыми ΔE - E -телескопами. Из-за невысокой геометрической эффективности детектирующей



аппаратуры измерения проводились длительное время - несколько месяцев.

В настоящей работе повторены измерения четверного деления ^{252}Cf и впервые выполнены измерения четверного деления ^{248}Cm с использованием сцинтиляционной методики [4]. Экспериментальная процедура заключалась в следующем. Два идентичных детектора на основе кристаллов CsI(Tl) ($\text{Ø}20 \times 0.5$ мм) и фотоумножителей ФЭУ-176, установленные на расстоянии 4 мм с двух противоположных сторон от источника спонтанного деления, обеспечивали регистрацию событий как тройного, так и четверного делений. Толщина сцинтиляторов 0.5 мм была выбрана из соображений минимальной чувствительности к n - γ -фону, что немаловажно при измерениях в близкой геометрии. Кристаллы имели подложку в виде световодов из оргстекла $\text{Ø}20 \times 2$ мм. Для поглощения осколков деления и альфа-частиц от естественного α -распада источников ^{248}Cm и ^{252}Cf перед детекторами устанавливались Al -фольги толщиной 27 мкм. Источник ^{252}Cf интенсивностью $\approx 10^3$ дел./с в виде пятна диаметром 6 мм был нанесен на подложку из алунда (Al_2O_3) толщиной 50 мкг/см^2 (~ 0.2 мкм). Источник ^{248}Cm с интенсивностью примерно в 1.5 раза большей, чем у ^{252}Cf , и диаметром 10 мм имел подложку из Ti толщиной 1.5 мкм. Кристаллы CsI(Tl) с фронтальной стороны были покрыты пленкой из алюминизированного лавсана толщиной 2 мкм. Идентификация ЛЗЧ осуществлялась методом анализа формы импульса высвечивания CsI(Tl) -сцинтилятора [4], что в отличие от ΔE - E -метода позволило проводить измерения энергетических спектров ЛЗЧ с более низким порогом. На рис.1 показан пример такой идентификации, полученной при интегрировании анодных сигналов с ФЭУ во временных интервалах $T_1=(0;0.4)$ мкс и $T_2=(1.5;2.0)$ мкс. Здесь первая цифра означает задержку относительно фронта нарастания

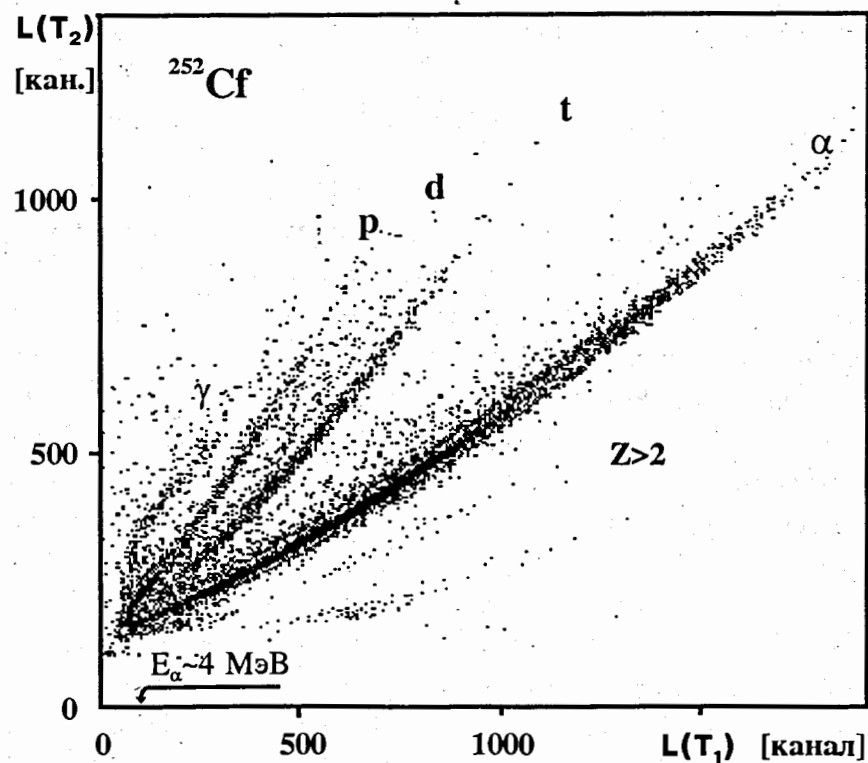


Рис.1. Типичная матрица идентификации легких заряженных частиц из тройного деления ^{252}Cf , полученная сцинтиляционным детектором CsI(Tl) $\text{Ø}20 \times 0.5$ мм и ФЭУ-176

сигнала, а вторая - длительность интервала интегрирования. Оцифровка информации (световыходы $L(T_1)$ и $L(T_2)$) осуществлялась с помощью двух зарядово-чувствительных кодировщиков ADC 2249W фирмы LeCroy. Видно, что используемая нами методика позволяет надежно идентифицировать p , d , t и альфа-частицы, начиная с энергии 1 МэВ/А. Энергетическое разрешение детекторов для $L(T_1)$ составляло 2.9% при регистрации альфа-частиц с $E_\alpha=7.68$ МэВ от источника ^{226}Ra . Схема совпадений для одновременной регистрации двух частиц имела временные ворота 2 мкс.

Основной целью исследований являлось сравнение вероятностей эмиссии и энергетических спектров ЛЗЧ в тройном и четверном спонтанном делении ^{248}Cm и ^{252}Cf . Результаты измерений приведены на рис.2(а,б) и в таблице 1. На рис.2 показаны энергетические спектры альфа-частиц тройного и четверного деления, измеренные одним и тем же детектором с помощью описанной методики. Энергетические спектры не откорректированы на потери в фольгах из-за сложности пересчета энергетических потерь, зависящих от угла вылета альфа-частиц. Спектр альфа-частиц четверного деления ^{252}Cf имеет форму, близкую к гауссовой, в отличие от ^{248}Cm , что объясняется малой статистикой и эффектом близкой геометрии (размеры источников - $\varnothing 6$ мм и $\varnothing 10$ мм соответственно). Из набранной статистики для событий четверного деления уже можно сделать грубую оценку средних энергий α -частиц четверного деления. Средние энергии альфа-частиц четверного деления для обоих измеренных нуклидов смещены в сторону низких энергий примерно на 2 МэВ по отношению к средним энергиям при тройном делении. Эти данные согласуются с результатами, полученными в работе [3]. В табл.1 показаны количества зарегистрированных α - α -, α - t -, α - p -совпадений и длительности измерений.

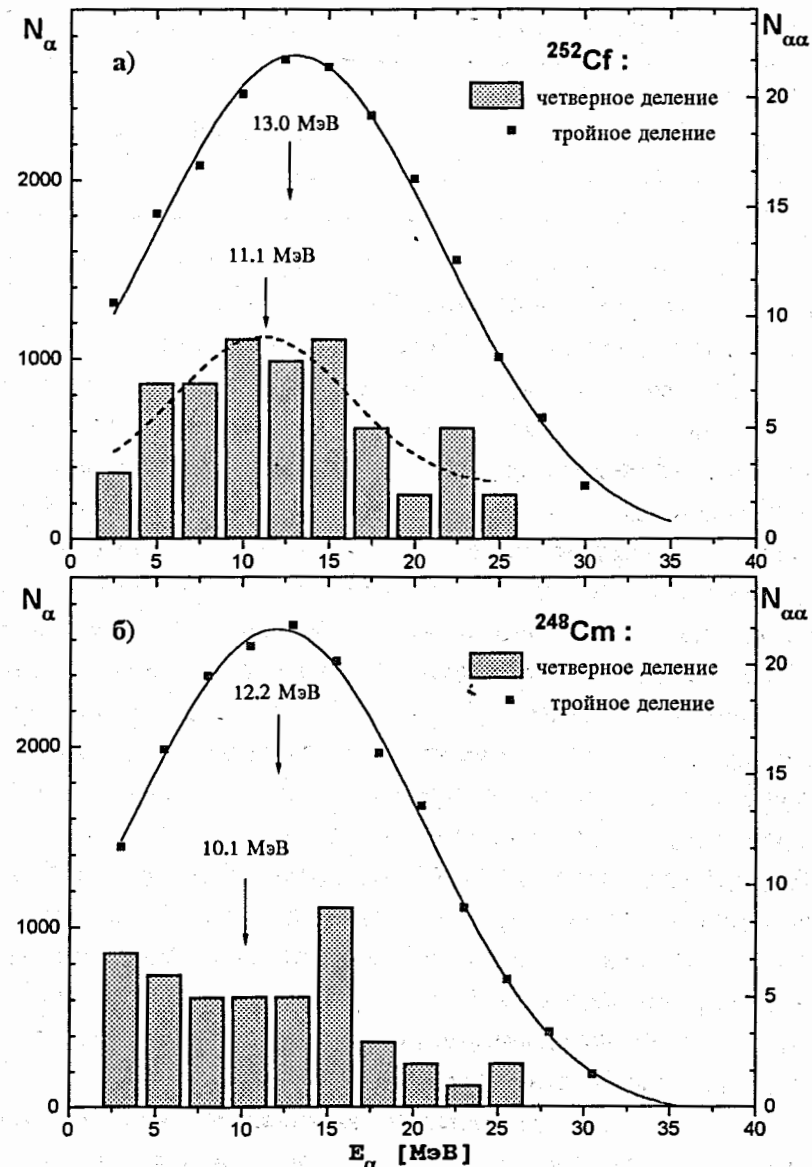


Рис.2. Спектры альфа-частиц тройного и четверного делений ^{252}Cf (а) и ^{248}Cm (б), полученные для одного из двух CsI(Tl)-детекторов

Таблица 1. Результаты измерений четверного деления ^{252}Cf и ^{248}Cm

Нуклид	Время измерений, час	Кол-во α - α -совпадений	Кол-во α - t -совпадений	Кол-во α - p -совпадений
^{252}Cf	209	57	9	4
^{248}Cm	214	43	7	5

Скорость счета альфа-частиц тройного деления одним CsI(Tl)-детектором составляла 0.85 с^{-1} и 0.90 с^{-1} для ^{252}Cf и ^{248}Cm соответственно. Отсюда можно оценить, что число случайных α - α -совпадений и α - t -совпадений из тройного деления не превышает 10% от числа зарегистрированных совпадений четверного деления. Достаточно большое количество α - p -совпадений обусловлено высокой интенсивностью низкоэнергетических протонов [4]. Ранее в работе [5] нами было показано, что для ^{248}Cm вероятность тройного деления с испусканием альфа-частицы по отношению к обычному делению на два осколка составляет $(2.3 \pm 0.3) \cdot 10^{-3}$. Для ^{252}Cf эта вероятность по данным [6] равна $(3.2 \pm 0.5) \cdot 10^{-3}$. Используя эти значения и учитывая геометрию настоящих измерений, можно получить вероятности четверного деления с испусканием двух альфа-частиц по отношению к бинарному делению:

$$P_{\alpha-\alpha}/P_f(^{248}\text{Cm}) = (1.4 \pm 0.3) \cdot 10^{-7} \text{ и } P_{\alpha-\alpha}/P_f(^{252}\text{Cf}) = (2.9 \pm 0.6) \cdot 10^{-7}.$$

Эти вероятности примерно в 5 раз ниже, чем в работе [3] для ^{252}Cf , что может быть объяснено разными геометриями измерений. В данной работе в отличие от [3] не регистрировались ЛЗЧ, вылетающие под малыми углами относительно друг друга с наибольшей вероятностью.

Полученные результаты показывают, что вероятность четверного деления с вылетом двух альфа-частиц для ^{248}Cm ($Z^2/A=37.16$) меньше, чем для ^{252}Cf ($Z^2/A=38.11$). Аналогичная зависимость от параметра Z^2/A наблюдалась ранее для тройного деления [5]. В работе [7] показано, что такое

уменьшение вероятности эмиссии длиннопробежных альфа-частиц тройного деления, с уменьшением Z^2/A действительно должно происходить вследствие деформации осколков, вызванной оболочечными эффектами. Одинаковое поведение вероятностей четверного и тройного делений в зависимости от Z^2/A позволяет сделать предположение о том, что оба типа деления близки по своей природе и альфа-частицы четверного деления испускаются из области шейки делящегося ядра в моменты времени, близкие к ее разрыву.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлено:

- 1) разработанная методика позволяет регистрировать с высокой эффективностью редкие моды спонтанного деления с эмиссией легких заряженных частиц;
- 2) энергетические спектры альфа-частиц в четверном делении ^{252}Cf , ^{248}Cm имеют смещения $\sim 2 \text{ МэВ}$ в сторону низких энергий по отношению к спектрам в тройном делении, а вероятность четверного деления, по-видимому, зависит от параметра Z^2/A делящегося ядра.

Безусловно, полученные предварительные результаты нуждаются в более высокой статистике и дополнительном измерении угловых распределений заряженных частиц, чтобы установить правильность высказанных предположений. Работа в этом направлении будет продолжена.

В заключение авторы считают приятным долгом выразить благодарность проф. Ю.Э.Пенионжкевичу за постоянный интерес к работе и полезные замечания.

Литература.

1. J.Theobald, In: Int. School-Seminar on Heavy Ion Physics, JINR, E7-93-274, Dubna, 1993, v.1, p.262.
2. S.S.Kapoor et al., In: Proc. Nucl. Phys. and Solid State Phys. Symposium.(Chandigarh.28.,1972, Jan.)1973,p.107.
3. S.K.Kataria et al., In: Proc.Int.Symp. on the Phys. and Chem. of Fission (Rochester, 1973), IAEA, Vienna, 1974, v.2, p.389
4. A.S.Fomichev et al., preprint JINR, E15-95-236, Dubna, 1995 (submitted to Nuclear Instruments and Methods)
5. M.P.Ivanov et al., JINR Rapid Com. 2[65]-94, Dubna, 1994, p.55
6. J.F.Wild et.al., Phys.Rev. C32, N 2, 1985, p.488.
7. C.Wagemans, In: Proc. Int. Workshop on Dynamical Aspects of Nuclear Fission, JINR, E7-52-95, Dubna, 1992, p.139.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 февраля 1996 года.

Иванов М.П. и др.

P15-96-74

Одновременная эмиссия двух легких заряженных частиц при спонтанном делении ^{248}Cm и ^{252}Cf .

Исследована одновременная эмиссия двух легких заряженных частиц ($\alpha - \alpha$, $\alpha - t$, $\alpha - p$) при спонтанном делении ^{248}Cm и ^{252}Cf . Идентификация заряженных частиц, испущенных в тройном и четверном делении, осуществлялась с помощью двух CsI(Tl)-детекторов методом анализа формы импульса высвечивания сцинтиллятора. Было установлено, что для этих нуклидов вероятности одновременной эмиссии двух альфа-частиц по отношению к обычному делению соответственно составили $(1.4 \pm 0.3) \cdot 10^{-7}$ и $(2.9 \pm 0.6) \cdot 10^{-7}$, а энергетические спектры альфа-частиц в четверном делении по отношению к спектрам при тройном делении смещены примерно на 2 МэВ в сторону низких энергий.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флёрва ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1996

Перевод авторов

Ivanov M.P. et al.

P15-96-74

Simultaneous Emission of Two Light Charged Particles in Spontaneous Fission of ^{248}Cm and ^{252}Cf .

Simultaneous emission of two light charged particles ($\alpha - \alpha$, $\alpha - t$, $\alpha - p$) from spontaneous fission of ^{248}Cm and ^{252}Cf has been investigated. Identification of charged particles in triple and quaternary fission was performed by pulse shape analysis method using two CsI(Tl) counters. There were determined the emission probabilities of two light charged particles for these nuclei: $(1.4 \pm 0.3) \cdot 10^{-7}$ and $(2.9 \pm 0.6) \cdot 10^{-7}$ per binary fission, respectively. The energy spectra of alpha particles, measured in quaternary fission, are shifted with ~ 2 MeV to low energy part compared with triple alpha particle spectra.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1996