

СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ ^{256}Rf — НОВЫЕ ДАННЫЕ

А. И. Свирихин^{а, 1}, *А. В. Ерёмин*^а, *И. Н. Изосимов*^а, *А. В. Исаев*^а,
А. Н. Кузнецов^а, *О. Н. Мальшев*^а, *А. Г. Попеко*^а, *Ю. А. Попов*^а,
Е. А. Сокол^а, *М. Л. Челноков*^а, *В. И. Чепигин*^а, *Б. Андел*^б, *М. З. Асфари*^в,
Б. Галл^в, *Н. Йошихиро*^г, *З. Каланинова*^б, *С. Мулинс*^д, *Ж. Пио*^е,
Е. Стефанова^ж, *Д. Тонев*^ж

^а Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

^б Университет им. Я. Коменского, Братислава

^в IPHC, IN2P3-CNRS, Страсбург, Франция

^г Университет Кушу, Фукуока, Япония

^д Лаборатория ускорительных и прикладных наук, Кейптаун, ЮАР

^е GANIL, Кан, Франция

^ж ИЯЯЭ, София

Описывается эксперимент по изучению свойств спонтанного деления короткоживущего нейтронодефицитного ядра ^{256}Rf , получаемого в реакции полного слияния на пучке многозарядных ионов ^{50}Ti ускорителя У-400 ЛЯР. Для изотопа ^{256}Rf измерены период полураспада и вероятность распада через спонтанное деление. Впервые измерялось среднее число нейтронов на одно спонтанное деление ^{256}Rf ($\bar{\nu} = 4,47 \pm 0,09$).

The neutron-deficient isotope ^{256}Rf , produced in the complete fusion reaction with the ^{50}Ti heavy ions from U-400 cyclotron, was investigated. The half-life and decay branching ratio of ^{256}Rf are measured. The average number of neutrons per spontaneous fission of ^{256}Rf ($\bar{\nu} = 4.47 \pm 0.09$) is determined for the first time.

PACS: 23.70.+j; 25.70.Jj; 25.85.Ca; 27.90.+b

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа продолжает цикл экспериментов по изучению характеристик спонтанного деления ядер, лежащих в экзотической области короткоживущих нейтронодефицитных изотопов с $Z \geq 100$. Ранее, в реакциях с тяжелыми ионами (^{48}Ca , ^{40}Ar) нами были синтезированы короткоживущие нейтронодефицитные изотопы ^{252}No ($T_{1/2} = 2,3$ с) [1, 2], ^{244}Fm ($T_{1/2} = 3$ мс) [2] и ^{246}Fm ($T_{1/2} = 1,1$ с) [3], определены периоды их полураспада, полные кинетические энергии (ТКЕ, total kinetic energy) осколков спонтанного деления и вероятности распада через спонтанное деление (b_{SF} , branching ratio).

¹E-mail: asvirikhin@jinr.ru

Кроме того, были получены новые данные по такой важной составляющей процесса спонтанного деления, как испарение мгновенных нейтронов. Изучение нейтронных выходов спонтанного деления имеет большое значение как с теоретической, так и с методической точки зрения. Для теории деления ядер важен тот факт, что число мгновенных нейтронов, испускаемых в процессе деления, непосредственно зависит от степени возбуждения осколков деления и, таким образом, играет важную роль в восстановлении энергетического баланса реакции. С другой стороны, получение и накопление информации о множественности мгновенных нейтронов деления тяжелых и сверхтяжелых ядер важно при постановке экспериментов по синтезу и идентификации спонтанно делящихся изотопов трансфермиевых элементов.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Мишень ^{208}PbS (толщиной $0,36 \text{ мг/см}^2$) облучалась пучком многозарядных ионов ^{50}Ti с энергией 237 МэВ. Отделение искомым ядер ^{256}Rf от продуктов побочных реакций осуществлялось кинематическим сепаратором (фильтром скоростей) SHELS [4, 5], являющимся результатом глубокой модернизации электростатического сепаратора ВАСИЛИСА [6]. После сепарации ядра ^{256}Rf пролетают через времяпролетный детектор и имплантируются в фокальный двусторонний многостриповый кремниевый детектор (DSSSD, 48×48 стрипов). Здесь происходит регистрация исследуемых ядер, а также испускаемых ими α -частиц и осколков спонтанного деления. Вокруг полупроводникового фокального детектора смонтирована сборка из 54 ^3He -счетчиков нейтронов в замедлителе [1]. Сепаратор SHELS позволяет проводить эксперименты по изучению свойств короткоживущих изотопов с периодом полураспада в несколько микросекунд ($> 2\text{--}3 \text{ мкс}$), что определяется временем пролета исследуемых ядер через сепаратор.

Энергетическое разрешение для α -частиц в диапазоне 6–10 МэВ, которое было измерено в первых экспериментах на модернизированном сепараторе [4], составляет величину порядка 20 кэВ. Позиционное разрешение фокального детектора — 1 мм (по горизонтали и вертикали). Четыре детектора, смонтированные по бокам фокального детектора и образующие сборку в виде колодца, предназначены для регистрации α -частиц и осколков спонтанного деления, вылетающих из фокального детектора. Геометрическая эффективность регистрации составляет величину порядка 70 % от 4π . Эффективность нейтронного детектора, измеренная при помощи источника ^{248}Cm , составила $(45 \pm 1) \%$ для единичных нейтронов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

За время эксперимента в фокальной плоскости сепаратора было зарегистрировано около 1500 делений, которые можно отнести к распаду ядра ^{256}Rf . Измеренный период полураспада составил величину $(5,75 \pm 0,17) \text{ мс}$, что хорошо согласуется с ранее опубликованными результатами [7]. При обработке данных не удалось обнаружить ни одного α -распада, соответствующего распаду ^{256}Rf , таким образом, вероятность спонтанного деления для этого изотопа близка к 100 %, что подтверждается литературными данными [7]. Среднее число нейтронов на один акт спонтанного деления ^{256}Rf измерялось впервые и составило $\bar{\nu} = 4,47 \pm 0,09$. Кроме того, для ядра ^{256}Rf была оценена полная кинетическая энергия осколков, эта величина составила приблизительно 220 МэВ (рис. 1). Это

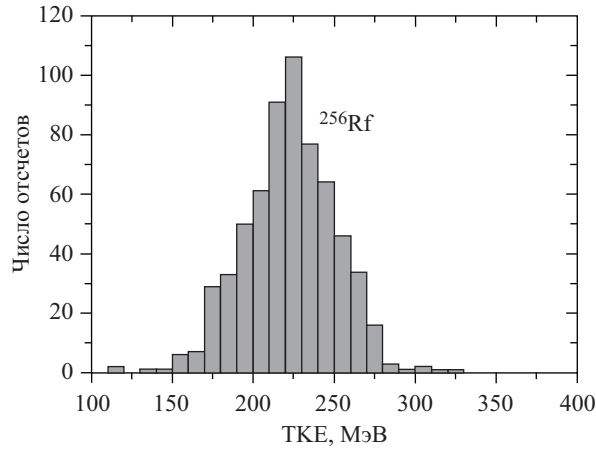


Рис. 1. Спектр полной кинетической энергии осколков деления ^{256}Rf

значение определялось сложением амплитуд сигналов в фокальном и боковых детекторах. Калибровка тракта осколков проводилась с использованием известного спектра ТКЕ изотопа ^{252}No , синтезированного в реакции полного слияния $^{48}\text{Ca} (^{206}\text{Pb}, 2n) ^{252}\text{No}$ [1].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Имеющиеся экспериментальные данные о величине среднего числа нейтронов на деление $\bar{\nu}$, полученные для спонтанного деления изотопов от Pu до Db, составляют систематику зависимости $\bar{\nu}$ от атомной массы и от кулоновского параметра (рис. 2). Здесь наблюдается заметное увеличение с ростом массы делящегося ядра при фиксирован-

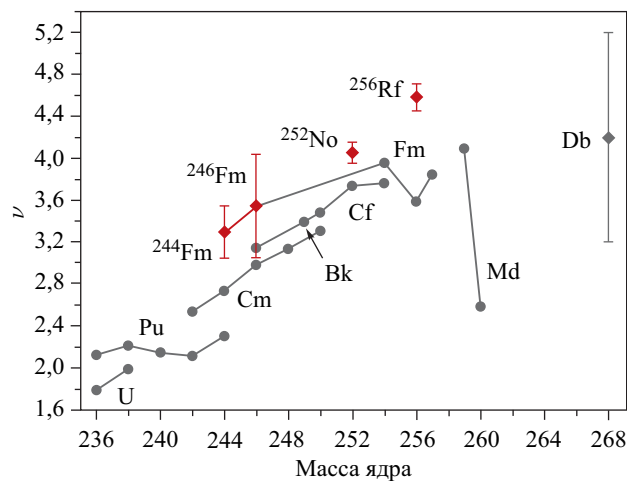


Рис. 2. Систематика среднего числа нейтронов спонтанного деления $\bar{\nu}$ (кружки) в зависимости от A . Ромбы — результаты, полученные на сепараторах ВАСИЛИСА-SHELS [1–3] и в настоящей работе

ном Z . Оно начинается при $A > 242$ и наиболее явно выражено для изотопов Cm и Cf, для которых увеличение является практически линейным, и продолжается вплоть до $A = 254$. Полученное значение среднего числа нейтронов на одно спонтанное деление для ^{256}Rf ($\bar{\nu} = 4,47 \pm 0,09$) оказывается примерно таким, каким и можно было ожидать на основе экстраполяции имевшихся ранее данных. Это означает, что в тех аспектах, которые определяют величину средней энергии возбуждения осколков, спонтанное деление нейтронодефицитного изотопа ^{256}Rf аналогично скорее делению ядер из «асимметричной» области Cm–Cf нежели делению нейтроноизбыточных изотопов с $Z \geq 100$ и $N \approx 160$, где на динамические характеристики деления заметное влияние оказывает «симметричность» распределения осколков по массам [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика, реализуемая на сепараторе SHELS, позволяет в значимых количествах синтезировать ядра экзотических трансурановых элементов. А с запуском «Фабрики сверхтяжелых элементов» в ЛЯР ОИЯИ, где интенсивность пучков ускоренных тяжелых ионов возрастет в несколько раз, эта методика способна значительно пополнить данные о свойствах спонтанного деления сверхтяжелых изотопов с $Z > 100$, получаемых в реакциях полного слияния, распадающихся преимущественно путем спонтанного деления и обладающих очень короткими временами жизни.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 13-02-12003, 14-02-93962 и 14-02-91051).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yerein A. V. *et al.* Neutron Detector at the Focal Plane of the Set Up VASSILISSA // Nucl. Instr. Meth. A. 2005. V. 539. P. 441–444.
2. Svirikhin A. I. *et al.* The Emission of Prompt Neutrons from the Spontaneous Fission of ^{252}No and ^{244}Fm // Eur. Phys. J. A. 2012. V. 48. P. 121–127.
3. Svirikhin A. I. *et al.* Neutron Multiplicity at Spontaneous Fission of ^{246}Fm // Eur. Phys. J. A. 2010. V. 44. P. 393–396.
4. Еремин А. В. и др. Первые экспериментальные тесты модернизированного сепаратора ВАСИЛИСА // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т. 12, № 1(192). С. 63–73.
5. Еремин А. В. и др. Экспериментальные тесты модернизированного сепаратора ВАСИЛИСА (SHELS) с использованием ускоренных ионов ^{50}Ti // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т. 12, № 1(192). С. 74–80.
6. Yerein A. V. *et al.* The Kinematic Separator VASSILISSA Performance and Experimental Results // Nucl. Instr. Meth. A. 1994. V. 350. P. 608–617.
7. Heßberger F. P. *et al.* Spontaneous Fission and Alpha-Decay Properties of Neutron Deficient Isotopes $^{257-253}104$ and $^{258}106$ // Z. Phys. A. 1997. V. 359. P. 415–425.
8. Hoffman D. C. Spontaneous Fission Properties and Life-Time Systematic // Nucl. Phys. A. 1989. V. 502. P. 21–40.

Получено 19 января 2016 г.