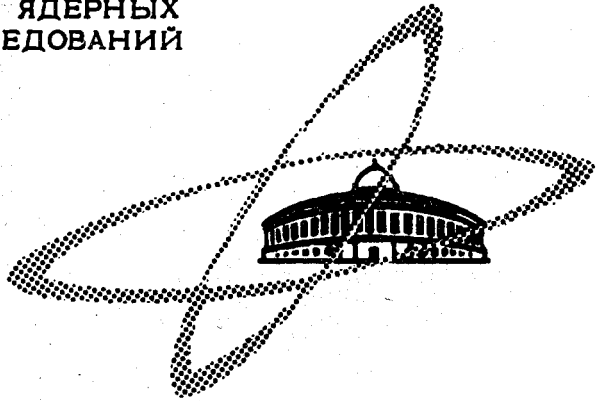


8/1-707

Д - 763

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P7 - 4817

В.А. Друин, Н.К. Скобелев, В.И. Рудь

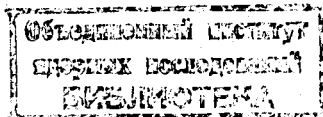
О СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ
НЕКОТОРЫХ ИЗОТОПОВ ФЕРМИЯ

P7 - 4817

В.А. Друин, Н.К. Скобелев, В.И. Рудь

О СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ
НЕКОТОРЫХ ИЗОТОПОВ ФЕРМИЯ

Направлено в ЯФ



8141/2 up.

Введение

Известно, что в области тяжелых трансураниевых элементов спонтанное деление является одним из основных типов радиоактивного распада ядер.

Экспериментальные данные о вероятностях спонтанного деления изотопов калифорния ^{1/1/}, фермия ^{1/1/} и 102-го элемента ^{2,3,4/} показали, что наряду с общим уменьшением периодов спонтанного деления с ростом параметра Z^2/A обнаружено резкое уменьшение периодов деления у ядер с числом нейтронов $N > 152$. Для объяснения этого факта, а также ряда других свойств ядер в этой области была введена подоболочка с числом нейтронов N , равным 152.

Недавно берклиевская группа получила новые данные о стабильности легких изотопов фермия ²⁴⁴Fm, ²⁴⁶Fm, ²⁴⁸Fm ^{5/} и изотопа ²⁵²102 ^{4/} по отношению к спонтанному делению. В этих работах пока-

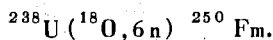
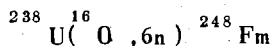
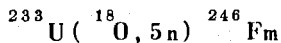
зано, что при уменьшении числа нейтронов ($N < 152$) у изотопов Fm и 102-го элемента вероятность спонтанного деления возрастает более резко, чем это предсказывается на основании экстраполяций, опирающихся на модифицированную жидкокапельную модель с учетом индивидуальной структуры ядер^{/6/}.

Изучение влияния подоболочки $N = 152$ на вероятность спонтанного деления очень важно в связи с рассмотрением вопроса о границах острова стабильности сверхтяжелых ядер.

Настоящая работа была предпринята с целью проверки влияния подоболочки $N = 152$ на спонтанное деление изотопов Fm с числом нейтронов $N < 152$.

Методика эксперимента

Для синтеза изотопов фермия были выбраны следующие ранее изученные реакции:



В опытах регистрировались осколки спонтанного деления синтезируемых ядер.

Эксперименты проводились на внутреннем и выведенном пучках 310-сантиметрового циклотрона ЛЯР ОИЯИ с помощью пробника с наклонной мишенью^{/2/} и реакционной камеры с диском. В реакционной камере ядра-продукты реакций, выбитые из мишени, собирались на алюминиевый сборник, который с помощью 12-заходного мальтийского креста перемещался на определенный угол и устанавливался последовательно против одного из 11 твердотельных детекторов (рис.1).

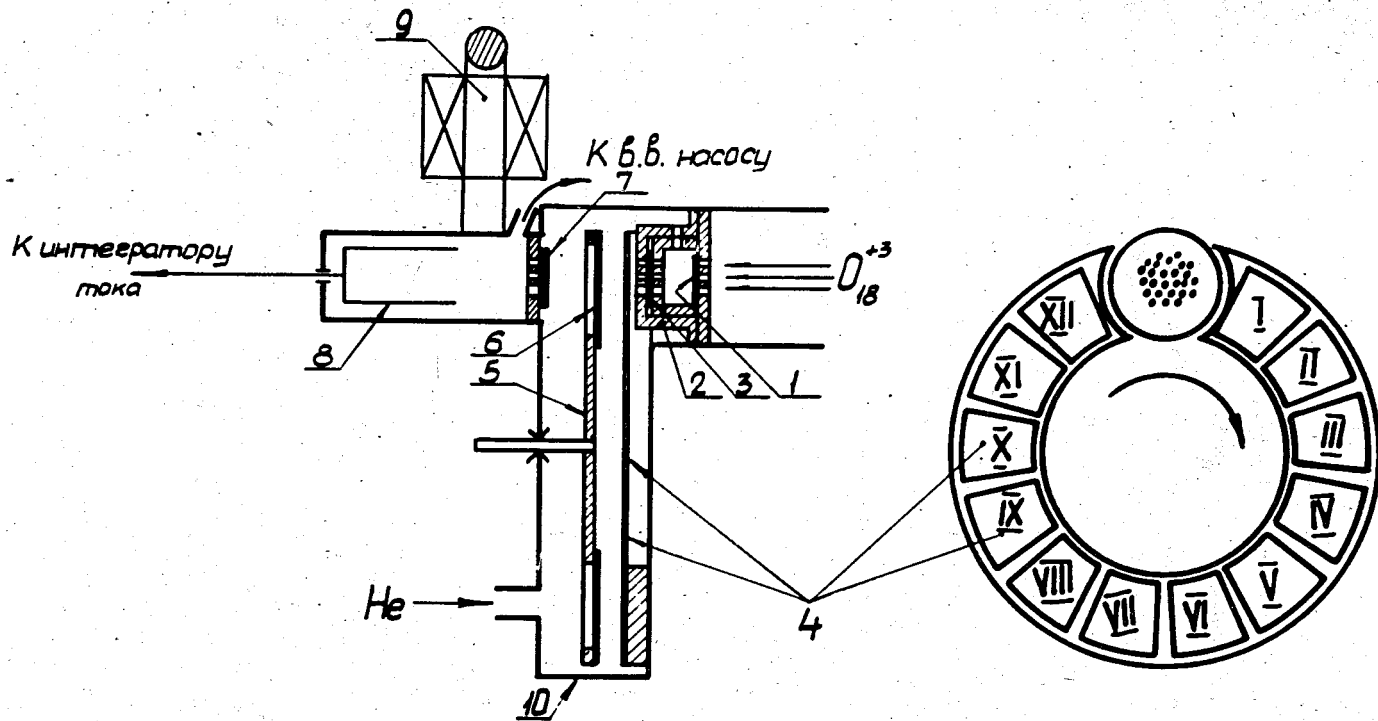


Рис.1. Схематическое изображение реакционной камеры. 1 - вакуумная фольга-поглотитель, 2 - кассета, 3 - мишень, 4 - диэлектрические детекторы, 5 - диск, 6 - фольга-сборник, 7 - вакуумная фольга, 8 - цилиндр Фарадея, 9 - электромагнит, 10 - камера.

Время переброса сборника составляло $\approx 0,1 - 0,2$ сек. Выдержку сборника перед каждым детектором можно было варьировать в широких пределах с помощью схемы автоматики (в диапазоне ≥ 1 сек).

Для снижения фона от долгоживущих продуктов, испытывающих спонтанное деление, производилось автоматическое смещение участков диска-сборника. Для лучшего охлаждения мишени и вакуумных фольг-поглотителей объем камеры заполнялся гелием до давления 8-10 мм ртутного столба. Это не влияло на эффективность сбора ядер отдачи, так как расстояние от мишени до диска-сборника составляло $\approx 3-4$ мм. В качестве детекторов осколков деления использовались пластинки из слюды мусковит. Эффективность регистрации осколков деления в такой геометрии $\approx 0,7$. Поток ионов измерялся вакуумным цилиндром Фарадея, помещенным в магнитное поле с напряженностью более 200 эрстед. Подготовка детекторов к работе и обработка их проводилась по ранее разработанной в Лаборатории методике /7,8/.

Эксперименты и результаты

В соответствующих реакциях по осколкам спонтанного деления были измерены периоды полураспада продуктов реакций, а также изучены функции возбуждения реакций, приводящих к образованию изотопов фермия-246 и фермия-248.

В случае ^{250}Fm на пробнике с наклонной мишенью было сделано несколько 1,5-часовых облучений вблизи максимума функции возбуждения реакции $^{238}\text{U} (^{18}\text{O}, 6\text{n}) ^{250}\text{Fm}$ с последующим измерением вероятности спонтанного деления ядер фермия-250.

1. Фермий-246. Мишень из ^{233}U толщиной 1 мг/см^2 , нанесенная на 6-микронную алюминиевую фольгу, облучалась на выведенном пучке ионами ^{18}O при энергиях, близких к максимуму функции возбуждения реакции $^{233}\text{U} (^{18}\text{O}, 5\text{n}) ^{246}\text{Fm}$.

В данных экспериментах сборник выдерживался напротив мишени и каждого детектора по 1,6 сек.

Распад ядер ^{246}Fm должен был происходить в основном на 5-ти первых детекторах. По эффекту на следующих детекторах можно было оценить фон, обусловленный другими долгоживущими спонтанно делящимися продуктами. Для контроля за фоном на первом детекторе симметрично с ним был поставлен двенадцатый детектор. По эффекту на последних детекторах оценивался фон, обусловленный короткоживущими спонтанно-делящимися изомерами, а также делением примесей урана в детекторах и сборнике нейтронами.

Контрольные опыты при облучении ^{233}U ионами ^{11}B и ^{18}O при малой энергии показали, что этот фон незначителен по сравнению с эффектом данной реакции и симметричен относительно пучка ионов.

На рис.2 представлена функция возбуждения реакции $^{233}\text{U} (^{18}\text{O}, 5n) ^{246}\text{Fm}$, измеренная по осколкам спонтанного деления ^{246}Fm , распад которого идет с $T_{1/2} = 1,2 \pm 0,4$ сек (рис.3). Основанием для такого заключения служили: вид функции возбуждения реакции, приводящей к образованию 1,2-секундной спонтанно-делящейся активности, положение ее максимума (≈ 94 Мэв) и совпадение периода полураспада этой активности с периодом полураспада ^{246}Fm .

Максимальное сечение этой реакции по выходу осколков спонтанного деления оказалось близким к $4 \cdot 10^{-33}$ см². Расчетная величина сечения образования ядер ^{246}Fm близка к $7 \cdot 10^{-32}$ см². В работе /9/ наблюдался α -распад ^{246}Fm , образующегося в этой реакции с сечением $\sim 6 \cdot 10^{-32}$ см².

Из совокупности этих экспериментов можно заключить, что α -распад примерно в 15 раз более вероятный процесс распада ядер ^{246}Fm , чем спонтанное деление. Следовательно, период полураспада ядер ^{246}Fm относительно спонтанного деления оказывается равным ~ 20 сек, что хорошо согласуется с данными работы Нурмия и др. /5/.

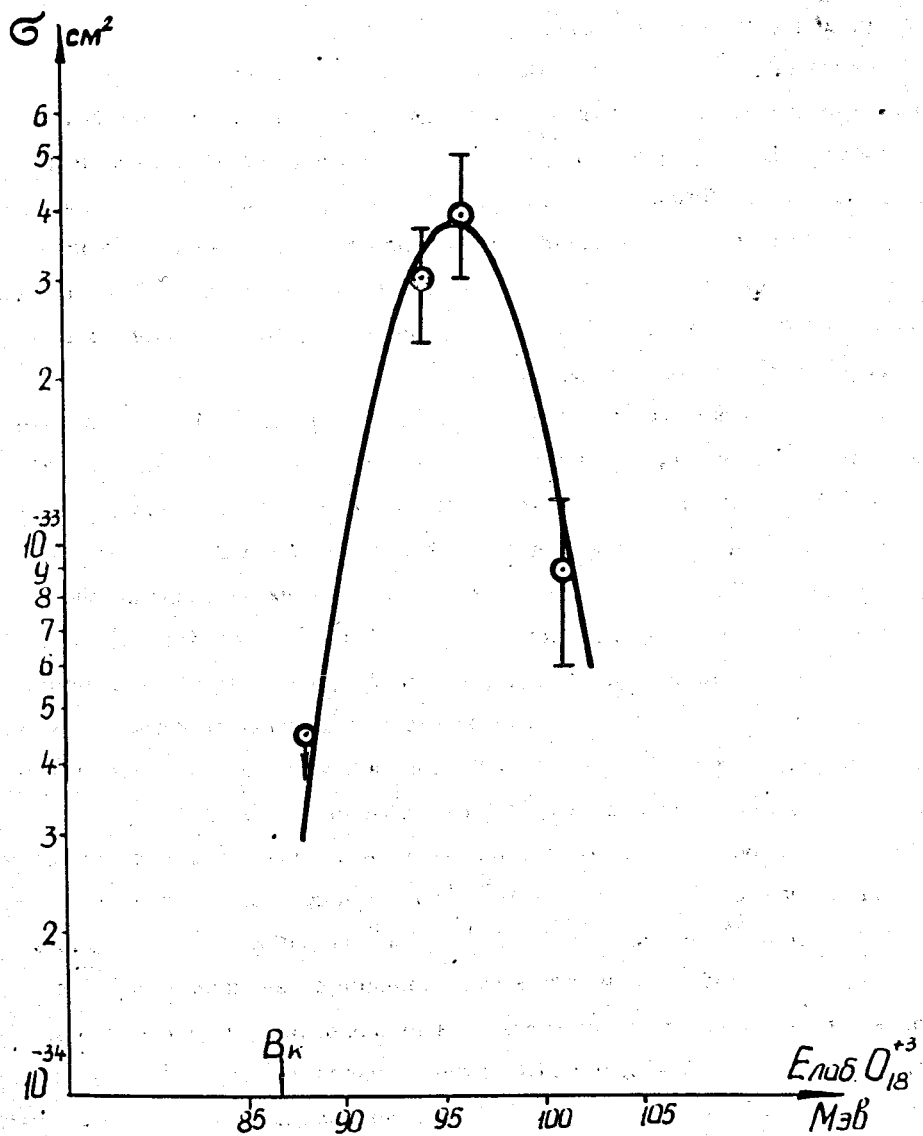


Рис.2. Функция возбуждения спонтанно делящихся продуктов реакции $^{233}\text{U} + ^{18}\text{O}$. V_k - кулоновский барьер реакции.

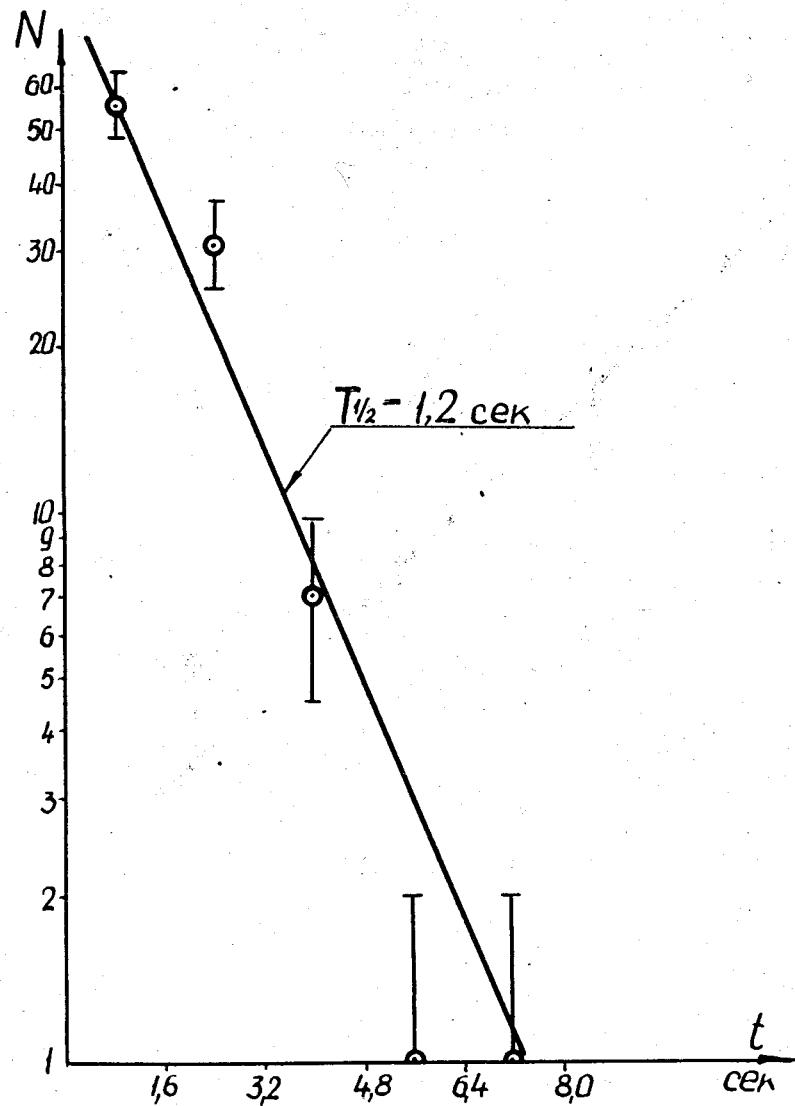


Рис.3. Кривая распада спонтанно делящихся продуктов реакции $^{233}\text{U} + ^{18}\text{O}$ (энергия ионов $^{18}\text{O} \approx 94$ МэВ).

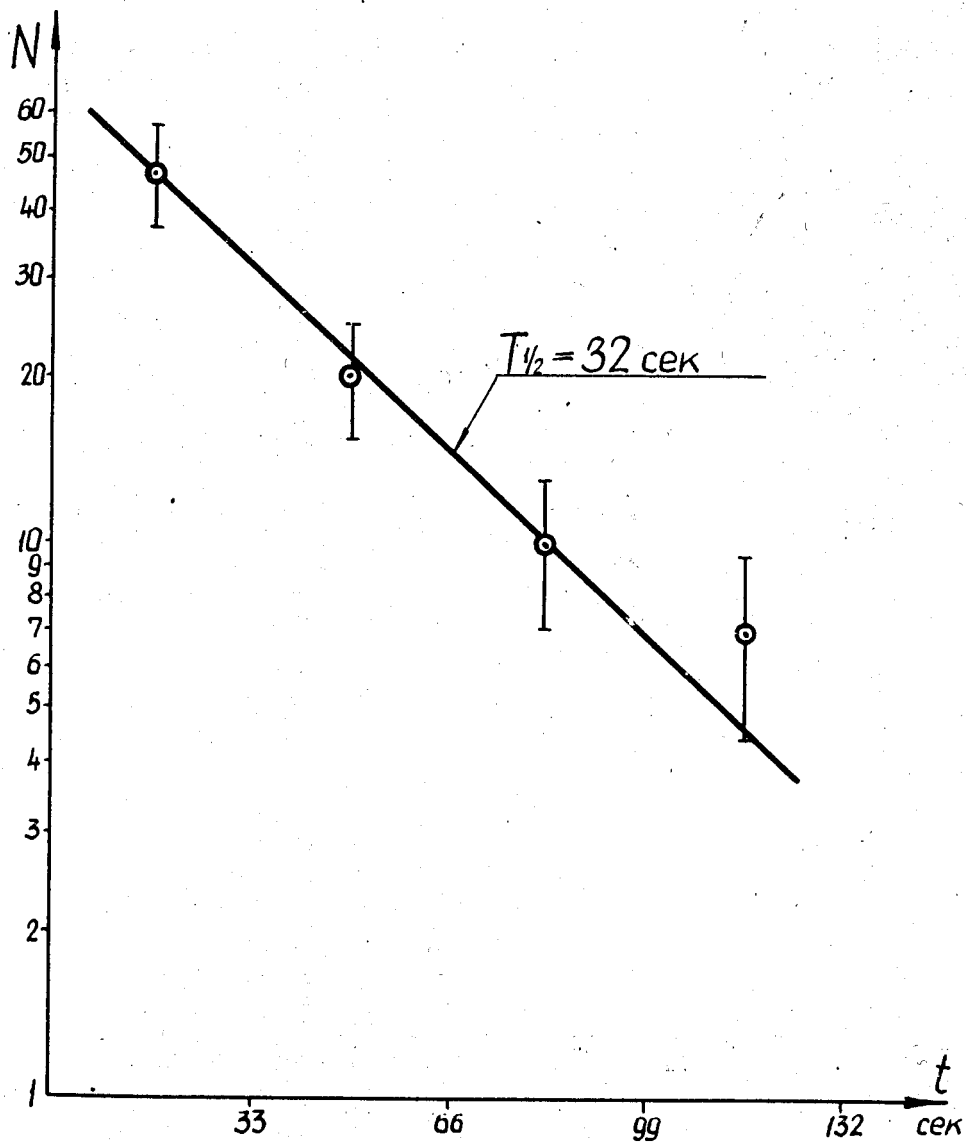


Рис.4. Кривая распада спонтанно делящихся продуктов реакции $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$ (энергия ионов $^{16}\text{O} \approx 105$ МэВ).

2. Фермий-248. На пробнике с наклонной мишенью ^{2/} образец урана-238 толщиной ≈ 800 мкг/см² (при угле наклона 12° это соответствует эффективной толщине $\approx 3,8$ мг/см²) облучался ионами ¹⁶O при различных энергиях ионов. Время облучения мишени и полное время регистрации осколков спонтанного деления 4-мя стеклянными детекторами выбирались одинаковыми - равными 2-м минутам. При этом наблюдались продукты спонтанного деления ядер с $T_{1/2} = 32 \pm 6$ сек (рис.4), что соответствует наблюдаемому периоду α -распада ²⁴⁸Fm.

В таблице 1 представлен выход осколков деления в этой реакции в зависимости от энергии ионов ¹⁶O.

Таблица 1

Энергия ионов ¹⁶ O (Мэв)	Полный поток ионов ¹⁶ O на мишень	Выход осколков деления ²⁴⁸ Fm
98	$5 \cdot 10^{17}$	13
105	$10 \cdot 10^{17}$	84
112	$3,5 \cdot 10^{17}$	11

Зависимость выхода реакции от энергии ионов ¹⁶O из-за большой толщины мишени естественно оказалась более широкой, чем обычные функции возбуждения испарительных реакций. Положение максимума этой функции и наблюдаемый период полураспада позволяют нам считать, что мы имеем дело с известной реакцией ²³⁸U(¹⁶O, 6n)²⁴⁸Fm /10,11/.

В силу некоторого различия данных о величине сечения этой реакции /10,11/ для дальнейшего рассмотрения было взято усредненное значение σ , равное $6 \cdot 10^{-31}$ см².

В данных опытах максимальное сечение реакции по выходу осколков спонтанного деления оценивалось равным $\approx 1 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$. Это приводит к вероятности спонтанного деления изотопа $^{248}\text{Fm} \approx \frac{1}{6 \cdot 10^3}$, что соответствует периоду спонтанного деления $^{248}\text{Fm} \sim 60$ часов.

3. Фермий-250. Для получения ^{250}Fm ($T_{1/2} = 30$ мин), как уже указывалось, проводились непрерывные 1,5-часовые облучения, как в максимуме функции возбуждения реакции $^{238}\text{U} (^{18}\text{O}, \text{bn}) ^{250}\text{Fm} /12/$, так и при энергии ионов несколько выше ($E_{^{18}\text{O}} = 103-104$ Мэв). Облучалась такая же урановая мишень, что и в опытах по изучению спонтанного деления ^{248}Fm . Учитывая малую вероятность спонтанного деления ядер ^{250}Fm , облучение урановой мишени проводили большими токами ионов ^{18}O (до 100 мка). Затем мишень быстро извлекалась из пробника и в контакт с ней помещались твердотельные детекторы (стекло или слюдамусковит). Смена детекторов проводилась вначале через 1-1,5 часа. Для определения фона от других продуктов спонтанного деления (в частности, ^{246}Cf) после этих измерений экспозиция детекторов увеличивалась до 8-10 часов. Обработка экспериментальных данных показала, что доля распада ядер ^{250}Fm путем спонтанного деления мала и составляет величину $\sim 6 \cdot 10^{-6}$, что соответствует периоду спонтанного деления изотопа $^{250}\text{Fm} \approx 10$ лет.

Обсуждение результатов

На рис. 5 представлена зависимость периодов спонтанного деления четно-четных изотопов от числа нейтронов (N) в ядре.

Для изотопов фермия показаны значения, полученные в работе Нурмия и др. /5/, и наши результаты.

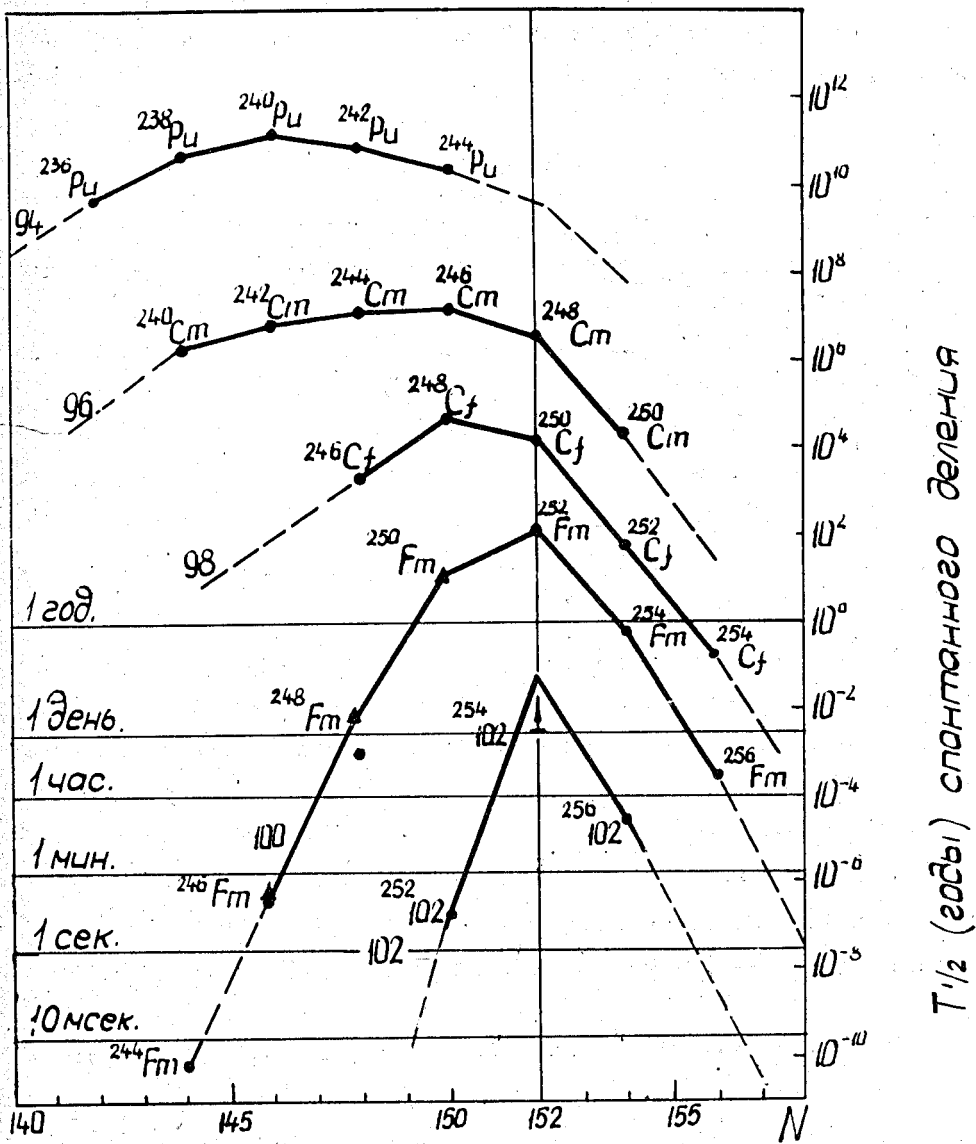


Рис.5. Зависимость периодов спонтанного деления четно-четных ядер от числа нейтронов N . (Результаты работы ^{15/} для изотопов $^{244}, ^{246}, ^{248}\text{Fm}$ изображены черными кружками, \blacktriangle - результаты настоящей работы).

В таблице 2 даны предсказываемые Вайолой и Уилкинсом /8/ периоды спонтанного деления для изотопов фермия в сравнении с экспериментальными значениями.

Таблица 2

Изотоп	Период спонтанного деления		
	Предсказания систематики /6/	Результаты работы /5/	Настоящая работа
^{244}Fm	≈ 10 дней	$(3,3 \pm 0,5)$ мсек	-
^{246}Fm	≈ 1 год.	(15 ± 5) сек	≈ 20 сек
^{248}Fm	≈ 5 лет	(10 ± 5) час	≈ 60 часов
^{250}Fm	≈ 30 лет	-	≈ 10 лет

Из сравнения видно, что экспериментальные величины периодов спонтанного деления легких изотопов фермия, несмотря на некоторые различия в данных, систематически ниже предсказываемых. Характерно, что при удалении от подболочки $N = 152$ растет отклонение экспериментальных значений периодов от предсказываемых систематикой /6/. Это резкое падение периодов с уменьшением N для ядер с $N < 152$ наблюдается и у изотопов 102 элемента. Этот факт может служить указанием на то, что оболочечные поправки, введенные Вайолой и Уилкинсом /6/ в барьеры деления легких изотопов фермия и 102 элемента, вероятно, завышены.

Корректный учет оболочечных поправок при расчете потенциальных энергий ядер очень важен, поскольку эти поправки в основном определяют величины барьеров деления ядер в области трансфермиевых элементов, а, следовательно, и относительную стабильность сверхтяжелых ядер /13/.

Изучение поведения периодов спонтанного деления более тяжелых ядер при отходе от подоболочки $N = 152$ может привести к более обоснованным оценкам границ области относительной стабильности сверхтяжелых ядер вблизи гипотетической оболочки $N = 184$.

Авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н. Флерову за постоянное внимание к работе, обсуждения и советы.

Авторы признательны А.Г. Демину, Ю.В. Лобанову за полезные дискуссии, К.А. Гаврилову и его сотрудникам за изготовление мишеней, С.П. Третьяковой, Т.И. Рыбаковой и А.В. Сергеевой за подготовку и обработку детекторов, В.М. Шлотко, В.И. Крашонкину и Ю.В. Полубояринову за помощь при подготовке и проведении экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. Э. Хайд, И. Перлман, Г. Сиборг. Ядерные свойства тяжелых элементов, вып. 1, М., Атомиздат, 1967 г.
2. В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Б.В. Фефилов, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ Р-1580, Дубна, 1964.
3. Г.Н. Флеров, В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев. АЭ 22, 494, 1967.
4. A. Ghiorso, T. Sikkeland and M. Nurmi. Phys.Rev.Lett., 18, 401(1967).
5. M. Nurmi, T. Sikkeland, R. Silva, A Ghiorso. Phys.Lett., 26B, 78(1967).
6. Viola V. and Wilkins B. Nucl.Phys., 82, 65 (1966).
7. В.П. Перельгин, С.П. Третьякова, И. Звара. ПТЭ 4, 68, 1964.
8. А. Капусник, В.П. Перельгин, С.П. Третьякова. ПТЭ 5, 72, 1964.
9. Г.Н. Флеров, Г.Н. Акапьев, А.Г. Демин, В.А. Друин, Ю.В. Лобанов, Б.В. Фефилов. ЯФ 7 977, 1968.
10. Г.Н. Акапьев, А.Г. Демин, В.А. Друин, Э.Г. Имаев, И.В. Колесов, Ю.В. Лобанов, Л.П. Пашенко. АЭ 21, 243, 1966.

11. Е.Д. Донец. Препринт ОИЯИ 2919, 1966.
12. Е.Д. Донец, В.А. Шеголев, В.А. Ермаков. ЯФ 2, 1055, 1965.
13. В.М. Струтинский, Ю.А. Музычка. Труды международной конференции по физике тяжелых ионов (Дубна, октябрь 1966) вып. 2, стр.51. Препринт ОИЯИ Д7-3548, Дубна 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 ноября 1969 года.