

С 341.3

С - 44

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

7 - 5015

Н.К. Скобелев

О СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ
НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ АТОМНЫХ ЯДЕР

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1970

~~Л. В. С.~~

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

В.А. Друин

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук, профессор
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

К.А. Петржак

Ю.П. Попов

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Физико-энергетический институт.

Автореферат разослан " " 1970 г.
Защита диссертации состоится " " 1970 г.
на заседании Объединенного Ученого совета ЛЯР и ЛНФ ОИЯИ,
Дубна, Московской области, ОИЯИ, конференц-зал ЛНФ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Э.Н. Каржавина

7 - 5015

Н.К. Скобелев

О СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ АТОМНЫХ ЯДЕР

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

6822 бр.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА, МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Спонтанное деление атомных ядер в области трансурано-вых элементов становится одним из главных видов радиоактивного распада. Со времени открытия самопроизвольного деления урана К.А. Петржаком и Г.Н. Флеровым /1/ спонтанное деление наблюдалось еще у 50 изотопов, причем для ядер ^{244}Fm , ^{256}Fm , ^{254}Cf и др. это - основной вид распада.

Устойчивость ядер относительно деления в рамках модели жидкой капли определяется конкуренцией кулоновских сил расталкивания и поверхностных сил притяжения, которую можно охарактеризовать параметром Z^2/A , где Z - порядковый номер элемента, A - массовое число. Жидкокапельная модель предсказывает плавную зависимость логарифмов парциальных периодов спонтанного деления (T_{sf}) от параметра Z^2/A . Экстраполяция этой зависимости в более далекую область указывает, что изотопы с $Z^2/A \approx 46-48$ будут ядерно нестабильны (время деления $\approx 10^{-22}$ сек), и поэтому нет никакой надежды синтезировать элементы с $Z \geq 110$.

Однако экспериментальные значения $\lg T_{sf}$ (рис. 1) имеют ряд отклонений от этой общей тенденции:

- 1) наблюдается параболическая зависимость $\lg T_{sf}$ от параметра Z^2/A у четно-четных изотопов данного элемента;
- 2) нечетно-нечетные изотопы и изотопы с нечетным A имеют запреты относительно спонтанного деления от 10^1 до 10^5 ;
- 3) наблюдается сильное влияние подболочки $N = 152$ на вероятности спонтанного деления изотопов.

Для объяснения этих отклонений необходимо учитывать индивидуальную структуру ядер ^{/2/} и одночастичные эффекты ^{/3/}. Учет внутренней структуры ядер и оболочечных эффектов при расчете полной энергии для сверхтяжелых элементов ^{/4,5/} приводит к выводу о возможности существования целой области сферических ядер с отличными от нуля барьерами деления в районе новых замкнутых оболочек.

Количественные оценки показывают, что некоторые изотопы могут иметь времена жизни, сравнимые с возрастом Земли ^{/5/}. Имеются экспериментальные указания на возможность существования долгоживущих тяжелых ядер ^{/6,7/}.

В диссертации изучено изменение периодов спонтанного деления ядер с увеличением порядкового номера ядра и влияние подоболочки $N = 152$ на вероятности спонтанного деления изотопов фермия и 102 элемента. Продолжены также эксперименты по проверке аномалий в спонтанном делении свинца некоторых свинцовых стекол, исследованных ранее в Лаборатории ^{/7/}, и поиску аномалий в других природных свинцовых рудах и минералах.

Диссертация состоит из шести глав.

В первой главе дан обзор эмпирических закономерностей изменения периодов спонтанного деления и основных теоретических подходов к их объяснению.

Рассмотрены попытки объяснения отклонений периодов от плавной зависимости $\lg T_{sf} = f(Z^2/A)$ (рис. 1).

Помимо одночастичных и оболочечных эффектов ^{/3/} учитывалось влияние парных корреляций на энергию деформации ядер в основном состоянии ^{/2/}. Для согласия расчетных значений T_{sf} с экспериментальными необходимо подобрать целый ряд параметров и изменить некоторые константы в жидкокапельной формуле для масс ядер.

Подробно рассмотрен метод оболочечных поправок Струтинского ^{/8/}, позволяющий вычислить поправки к капельной

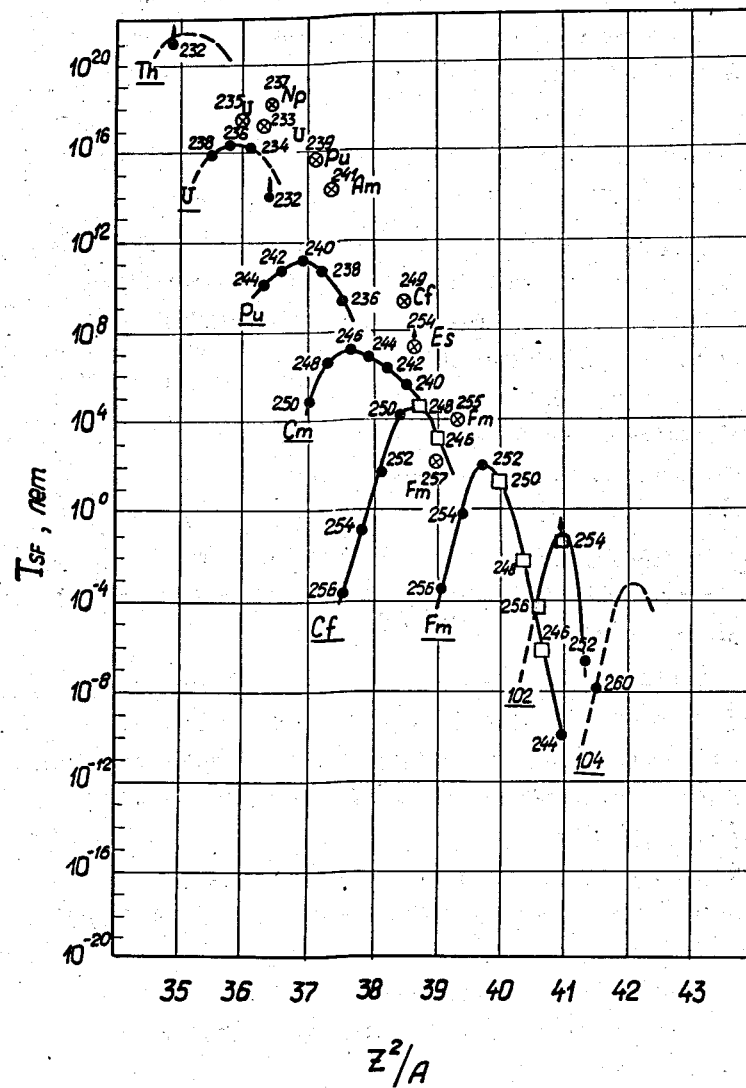


Рис.1. Зависимость периодов спонтанного деления атомных ядер от параметра делимости.

энергии ядра. Этот метод требует введения всего одной константы.

Метод Струтинского был применен рядом исследователей для расчета энергии α -распада и барьеров деления в трансурановой и сверхтяжелой областях /4,5,8/. Точность количественных оценок вероятности спонтанного деления ядер пока далека от совершенства. Это, вероятно, связано с тем, что в расчетах проникаемости потенциального барьера вводится ряд грубых упрощающих предположений.

Стабильность тяжелых ядер ($Z > 100$) будет, по-видимому, целиком определяться оболочечными поправками.

Вторая глава посвящена описанию методических вопросов. Экспериментальная аппаратура для изучения спонтанного деления должна отвечать следующим основным требованиям:

- а) высокая чувствительность,
- б) отсутствие фона,
- в) длительная стабильность работы,
- г) высокая эффективность регистрации.

Для исследования вероятности спонтанного деления короткоживущих изотопов трансурановых элементов, которые можно получить в реакциях с тяжелыми ионами, были сконструированы специальные установки /10,11,12/.

1. Пробник с наклонной мишенью. Наклонная мишень дает возможность реализовать максимальные потоки ионов. Интегрирование эффекта по всей функции возбуждения продуктов исследуемой реакции обеспечивает высокую чувствительность.

За счет малого угла наклона мишени ($\approx 6-12^\circ$) и направленного вперед углового распределения ядра отдачи тормозятся, в основном, в тонком поверхностном слое вещества. Это приводит к малым потерям энергии осколков спонтанного деления продуктов реакций в слое вещества и обеспечивает высокую эффективность регистрации осколков.

Наклонная мишень монтировалась внутри специального пробника (рис. 2). Мишень изолирована от корпуса пробника, что дает возможность измерять поток падающих на нее ионов.

Для регистрации осколков деления использовались полупроводниковые и твердотельные детекторы, которые в момент измерения располагались против мишени.

2. Реакционная камера с диском. В камере ядра-продукты, выбиваемые из мишени, собирались на алюминиевый сборник. С помощью 12-заходного мальтийского креста сборник перемещался на определенный угол за время 0,1-0,2 сек и последовательно останавливался против одного из 11 твердотельных детекторов. Время выдержки можно было задавать любым (в диапазоне > 1 сек). Для лучшего охлаждения мишени и вакуумных фольг объем камеры заполнялся гелием при давлении 8-10 мм Hg.

3. Камера со сбором ядер отдачи на фильтры. С помощью этой камеры методом адсорбции атомов отдачи из газовой струи изучался коэффициент сбора продуктов реакций на различные материалы. Продукты реакции, выбиваемые в газовый объем, в котором поддерживалось определенное давление с помощью специальной системы, собирались различными материалами, расположенными на пути откачиваемого из камеры газа.

Для очистки газа от пыли, влаги и масла применялись комбинированные фильтры (вата, обезвоженный силикагель, специальные фильтры из ткани ФПП-15). Изучался сбор α -активных продуктов реакции $^{142}\text{Nd} (^{12}\text{C}, \text{хп}) ^{150,151}\text{Dy}$. В оптимальных условиях он не зависел от сорта газа и достигал величины $\approx 70\%$ для сборников из специальных спектрометрических фильтров ЛФС-2. Энергетическое размытие α -линий с энергией ≈ 4 Мэв за счет проскока ядер внутрь фильтра оценивалось ≈ 50 кэв.

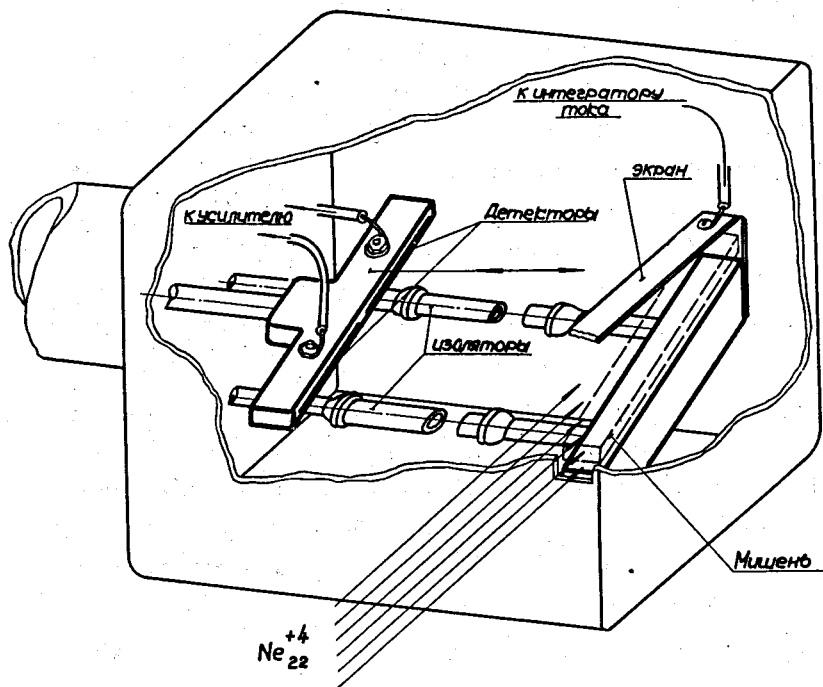
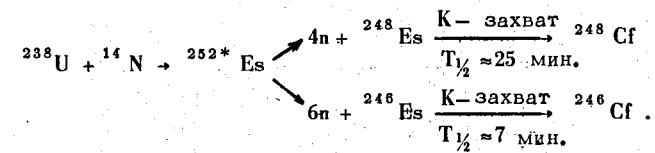


Рис.2. Схематическое изображение пробника с наклонной мишенью.

В настоящее время спектрометрические фильтры широко применяются в экспериментах по исследованию α -активных изотопов трансформированных элементов.

В третьей главе описываются эксперименты по определению парциальных периодов спонтанного деления изотопов калифорния /13/, фермия /11/ и 102 элемента /10,14/. В качестве мишеней использовались изотопы урана.

Изотопы ^{246}Cf и ^{248}Cf . Наклонная мишень, содержащая U_3O_8 , облучалась ионами ^{14}N с энергией ≈ 110 Мэв на слой. Изотопы калифорния образовывались в реакциях:



По окончании длительного облучения окисный слой урана снимался с мишени и растворялся в азотной кислоте. Затем выделялась фракция Cf, с которой проводились все дальнейшие эксперименты. По удельной α -активности с определенной энергией α -частиц определялось количество ядер изотопов калифорния.

Измерения периодов спонтанного деления проводились с образцами, содержащими $6,5 \cdot 10^7$ ядер ^{246}Cf и $3,2 \cdot 10^7$ ядер ^{248}Cf . Эксперименты показали, что значение периода спонтанного деления ^{246}Cf - $(2,0 \pm 0,2) \cdot 10^3$ лет хорошо согласуется с другими известными данными /15/. Для ^{248}Cf получено значение $T_{sd} = (4,1 \pm 0,4) \cdot 10^4$ лет, отличающееся от табличного значения, указанного в работе /15/. При этом был уточнен период α -распада ^{248}Cf [$T_\alpha = (345 \pm 15)$ дней].

Изотопы фермия. Для определения вероятности спонтанного деления изотопов фермия были выбраны ранее изученные в ЛЯР ОИЯИ реакции /16,17/, основные характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Изотоп	Период полу- распада	Реакция	Сечение реакции в максиму- ме (см ²)	Доля на спонтанное деление	Парциальный период, T _{sp}
²⁴⁶ Fm	1,4+0,6 сек.	²³³ U(¹⁸ O, 5n)	6·10 ⁻³²	≈ 6,6·10 ⁻²	≈ 20 сек.
²⁴⁸ Fm	36 + 4 сек.	²³⁸ U(¹⁶ O, 6n)	6·10 ⁻³¹	≈ 1,66·10 ⁻⁴	≈ 60 час.
²⁵⁰ Fm	30+3 мин.	²³⁸ U(¹⁸ O, 6n)	1,9·10 ⁻³⁰	≈ 6·10 ⁻⁶	≈ 10 лет.
²⁵⁴ 102	55+5 сек.	²³⁸ U(²² Ne, 6n)	6·10 ⁻³²	< 6,6·10 ⁻⁴	> 25 час.
²⁵⁶ 102	3,2+ 0,2 сек.	²³⁸ U(²² Ne, 4n)	≈ 4,5·10 ⁻³²	≤ 2,5·10 ⁻³	≥ 1200 сек.

Фермий-246 исследовался при помощи реакционной камеры с диском. Мишень из ^{238}U толщиной $\approx 1 \text{ мг/см}^2$ облучалась ионами ^{18}O различной энергии. Вид функции возбуждения спонтанно делящихся продуктов и совпадение периода полураспада с указанным для ^{246}Fm позволили отнести эти продукты к спонтанному делению ^{246}Fm . На долю этого распада приходится всего $\approx 6,6 \cdot 10^{-2}$, что отвечает парциальному периоду ≈ 20 сек.

Фермий-248 был идентифицирован также по осколкам спонтанного деления на пробнике с наклонной мишенью. Была изучена зависимость выхода осколков спонтанного деления с $T_{1/2} = 32 \pm 6$ сек от энергии ионов ^{16}O и получено совпадение максимального выхода с максимумом сечения реакции $^{238}\text{U}(^{16}\text{O}, 6n)^{248}\text{Fm}$.

Из сравнения выходов определена доля распада ^{248}Fm путем спонтанного деления ($\approx 1,7 \cdot 10^{-4}$) и парциальный период спонтанного деления, равный 60 часам.

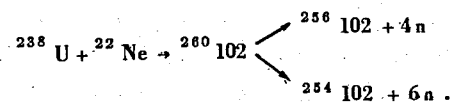
Фермий-250. Продукты реакции $^{238}\text{U}(^{18}\text{O}, 6n)^{250}\text{Fm}$ собирались на фильтры из ЛФС-2 и металлокерамики. При распаде 10^4 ядер ^{250}Fm на слюдах эффект не был зарегистрирован. Отсюда сделан вывод, что спонтанное деление испытывает менее чем 1 ядро из 10^4 атомов, а период T_{sp} для ^{250}Fm больше 200 суток. Были поставлены дополнительные эксперименты по определению вероятности спонтанного деления ^{250}Fm с помощью наклонной мишени.

После 1-1,5-часового облучения ^{238}U максимальным потоком ионов ^{18}O при энергии 100 и 104 Мэв, мишень извлекалась, и в контакт с урановым слоем помещались твердотельные детекторы. Для определения фона от других продуктов спонтанного деления (в частности, ^{246}Cf), после этих измерений экспозиция увеличивалась до 8-10 часов.

Обработка экспериментальных данных показала, что на долю спонтанного деления ^{250}Fm приходится величина $\approx 6 \cdot 10^{-6}$.

Следовательно, парциальный период спонтанного деления ^{250}Fm около 10 лет.

Изотопы 102 элемента. Спонтанное деление изотопов 102 элемента было впервые исследовано в реакциях:



Основные данные об этих реакциях и свойствах изотопов $^{256}\text{102}$, $^{254}\text{102}$ приведены в таблице 1.

$^{256}\text{102}$. Мишень из обогащенного урана (^{238}U) облучалась интенсивным потоком ионов ^{22}Ne различной энергии. В диапазоне энергий $\approx 110-120$ Мэв наблюдались спонтанно делящиеся продукты с $T_{1/2} \approx 8$ сек., выход которых указывал, что эти продукты отвечают реакции ($^{22}\text{Ne}, 4\text{n}$).

Совокупность данных об этой реакции позволила заключить, что парциальный период спонтанного деления изотопа $^{256}\text{102}$ равен ≈ 1500 сек.

Наблюдаемый период в первых экспериментах был завышен за счет вклада спонтанного деления изотопа ^{256}Fm ($T_{st} \approx 2,7$ часа).

Учет этого вклада был сделан позднее ^{/18/}. За вычетом фона вероятность спонтанного деления $^{256}\text{102}$ была оценена $\leq 1/400$, т.е. $T_{st} \geq 1200$ сек.

$^{254}\text{102}$. Облучение ^{238}U ионами ^{22}Ne большей энергии и учет вклада других спонтанно делящихся продуктов (в частности ^{256}Fm) позволили оценить вероятность спонтанного деления изотопа $^{254}\text{102}$ и дать нижнюю границу периода спонтанного деления не менее 25 час.

Четвертая глава посвящена спонтанному делению ядер из возбужденного состояния. Спонтанно делящиеся изомеры могут сильно осложнить исследование спонтанного деления трансуранических элементов. Поэтому мы преследовали цель - изучить вклад спонтанно делящихся изомеров в исследуемые ядерные реакции.

Изучение спонтанно делящихся изомеров представляет большой теоретический интерес. Большую величину энергии возбуждения (2,5-3,5 Мэв) и малую величину спина (\approx нескольких единиц \hbar) изомерных уровней, имеющих большой запрет для электромагнитных переходов, обычно объясняют различием формы ядра в основном и изомерных состояниях.

Сейчас нельзя сделать никаких прогнозов о спонтанно делящихся изомерах с меньшей энергией возбуждения. Поэтому были поставлены эксперименты по поиску изомеров с меньшей энергией возбуждения или большими временами жизни (от секунд до часов) в реакциях, используемых для синтеза трансуранических элементов.

В экспериментах с наклонной мишенью из ^{238}U , бомбардируемой ионами ^{20}Ne , ^{16}O , ^{11}B , с энергией вблизи и выше кулоновского барьера наблюдались спонтанно делящиеся продукты ^{/19/} с $T_{1/2} = (3,5 \pm 1)$ сек. Наблюдались они и при бомбардировке ^{243}Am ионами ^{22}Ne и ^{11}B .

Контрольные эксперименты показали, что наблюдаемый эффект нельзя объяснить делением вещества мишени запаздывающими нейтронами.

При облучении мишеней из висмута, золота, таллия и свинца ионами кислорода и неона различной энергии спонтанно делящиеся продукты с секундными временами жизни не были получены.

Наиболее вероятным объяснением природы этих продуктов следует считать образование в рассмотренных реакциях с ^{238}U и ^{243}Am одного и того же ядра в изомерном состоянии с $93 \leq Z \leq 97$ и $227 \leq A \leq 246$ за счет сложных реакций передачи.

В ряде реакций были получены более долгоживущие спонтанно делящиеся продукты (таблица 2).

Таблица 2

Изотоп	Наблюдаемый период полураспада	Исследуемая реакция	Максимальное сечение образования. (см ²)
^{228,227} Np	(60 ₊₅) сек.	²⁰⁹ Bi(²² Ne, 3-4n)	(4,5 _{+0,8})·10 ⁻³⁴
²³² Am	(1,4 _{+0,25}) мин. (2,6 _{+0,2}) мин.	²³⁰ Th(¹⁰ B, 8n) ²³³ U(^{10,11} B, αxn)	(2,3 _{+0,4})·10 ⁻³³ ≈ 2·10 ⁻³³
²³⁴ Am	(2,6 _{+0,2}) мин. (2,6 _{+0,2}) мин.	²³⁰ Th(¹⁰ B, 6n) ²³⁰ Th(¹¹ B, 7n)	(5,7 _{+0,5})·10 ⁻³⁴ (5,4 _{+0,5})·10 ⁻³⁴
⁹³ Z ₉₇ ²²⁷ Ac ₂₄₆	(3,5 _{+1,0}) сек.		

В частности, при бомбардировке висмута ионами ²²Ne наблюдалось спонтанное деление продуктов реакции с $T_{1/2} = (60_{+5})$ сек ^{20/}. Вид функции возбуждения и другие контрольные эксперименты позволили считать наиболее вероятной реакцию с испарением из составного ядра 3 или 4 нейтронов и образованием изотопов ²²⁸Np или ²²⁷Np, испытывающих спонтанное деление с $T_{1/2} \cong 60$ сек.

Поиски легких спонтанно делящихся ядер были продолжены в реакциях с другими изотопами урана и изотопами тория ^{21-23/}. В реакциях ²³³U + ¹¹B и ¹⁰B были обнаружены спонтанно делящиеся продукты с $T_{1/2} = (2,6_{+0,2})$ мин. При облучении ²³⁵U и ²³²Th ионами ¹⁰B и ¹¹B в этом же диапазоне энергий такие продукты не наблюдались. Вид функции возбуждения указывал на реакцию типа ²³³U(^{10,11}B, αxn) с образованием изотопов америция, возможно ²³⁴Am.

Для проверки справедливости этой гипотезы ²³⁰Th облучался ионами ¹⁰B и ¹¹B. В обеих реакциях при соответ-

ствующем сдвиге в энергии были зарегистрированы продукты спонтанного деления с $T_{1/2} = (2,6_{+0,2})$ мин. С увеличением энергии ионов ¹⁰B было обнаружено спонтанное деление с $T_{1/2} = (1,4_{+0,25})$ мин.

Вид функций возбуждения рассмотренных реакций указывал на их испарительный характер. Совпадение расчетных максимумов функций возбуждения с экспериментальными позволил идентифицировать эти продукты. Спонтанное деление с $T_{1/2} = 2,6$ мин было связано с ²³⁴Am, а продукт с $T_{1/2} \cong 1,4$ мин обусловлен распадом ²³²Am.

Никаких других долгоживущих продуктов в исследованных реакциях обнаружить не удалось.

В пятой главе изложены вопросы стабильности сверхтяжелых элементов и эксперименты по их поиску.

Теоретические расчеты показывают, что следующими замкнутыми оболочками у ядер должны быть Z=114 и N=184 ^{4,5/}. Атомные ядра в этой области должны быть β-стабильны, они находятся вблизи дорожки β-стабильности. Оценки устойчивости ядер относительно деления и α-распада показывают, что вблизи Z=114 и N=184 должна существовать область относительной стабильности, причем для некоторых изотопов ожидаются времена жизни, сравнимые с возрастом Земли, а следовательно, они могли сохраниться в природе.

Для поисков сверхтяжелых элементов в природе необходимо знать их химические свойства. Ожидается, что элементы 108-114 будут аналогами элементов от осмия до свинца соответственно. Поиски аналогов платины и золота дали отрицательный результат ^{5,24/}.

В Дубне в качестве объекта для исследования был выбран экасвинец. В некоторых образцах свинцовых стекол наблюдалось аномально большое количество осколков спонтанного деления, значительно превышающее все возможные источники фона ^{7/}. Эксперименты по проверке этих аномалий в свинцовых стеклах и других свинцовых образцах были продолжены с помощью других методов регистрации деления.

В данной работе описаны эксперименты с большими пропорциональными счетчиками /25/. Опыт работы с такими счетчиками был накоплен при изучении спонтанного деления тория /26/. Достоинство пропорциональных счетчиков - возможность вести поиски спонтанного деления практически в любых минералах и соединениях с малым содержанием урана и тория.

Конструкция счетчика изображена на рис. 3. Корпуса счетчиков представляли собой тонкостенные алюминиевые или стальные трубы длиной 200 см, диаметром 26 см. Катодами служили полуцилиндрические желоба из алюминиевого сплава, на которые наносились тонким слоем ($\approx 2,5-3 \text{ мг/см}^2$) исследуемые образцы, анодом - нихромовая нить диаметром 50μ , укрепленная на торцовых крышках-изоляторах. Счетчики заполнялись металлом при давлении 50 мм Hg. Для регистрации осколков деления была разработана специальная аппаратура с записью актов деления на самопишущем приборе. Порог дискриминации устанавливался равным 5-кратной величине средней амплитуды импульсов от α -частиц. Все питание аппаратуры осуществлялось от сухих элементов и аккумуляторов. Этим достигалась практически полная нечувствительность схемы к электрическим помехам. Эффективность регистрации счетчиков в рабочих условиях составляла $\approx 60\%$. На рис. 4 приведен типичный амплитудный спектр осколков, полученный при калибровке счетчика от деления ^{235}U тепловыми нейтронами.

Результаты измерений некоторых образцов свинцовых стекол и анализы этих образцов на содержание урана и тория приведены в таблице 3.

Очевидно, что наблюдаемый в стеклах эффект связан с делением атомных ядер (рис. 4). Его нельзя объяснить делением примесей U и Th, содержащихся в образцах. Фон от деления свинца космическими лучами мог бы объяснить кажущийся период спонтанного деления свинца $\approx 5 \cdot 10^{21}$ лет. В стеклах же наблюдается спонтанное деление с периодом $(4,4 \pm 1) \cdot 10^{20}$ лет. Этот результат в пределах ошибок совпадает с данными ранней работы Г.Н. Флерова и В.П. Перельгина /7/.

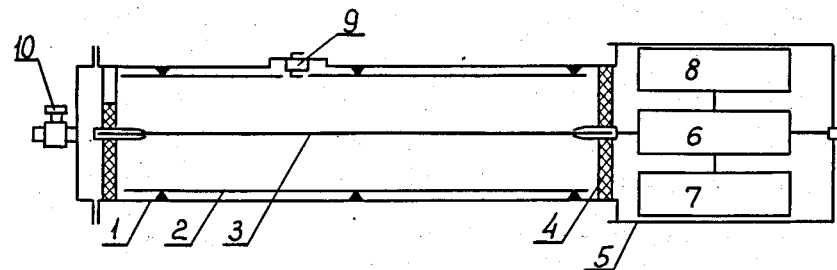


Рис.3. Пропорциональный счетчик. 1 - корпус, 2 - подложка для нанесения исследуемых образцов, 3 - нить, 4 - изолятор, 5 - медный экран, 6 - предусилитель, 7,8 - батареи питания, 9 - калибровочный источник ^{235}U , 10 - вентиль для откачки и наполнения.

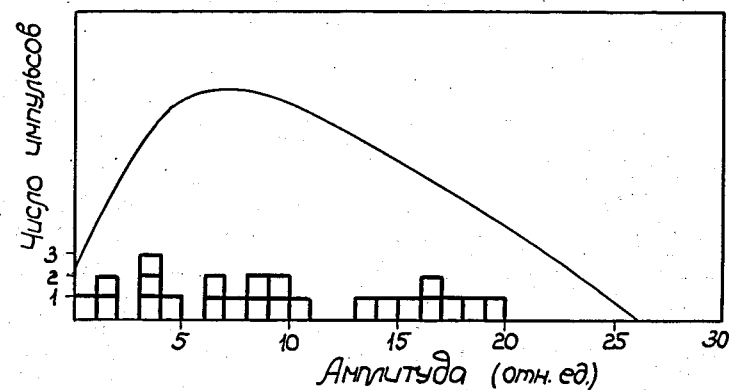


Рис.4. Спектры импульсов осколков деления (сплошная кривая - калибровочный спектр, квадраты - импульсы, полученные на свинцовых стеклах).

Таблица 3

Название образца	Время измер. (час)	К-во зарег. имп.	Вес образ. ца (г)	Содержание некото- рых элементов (%)			Кажущийся период спонтанного деления свинца (лет)
				Pb	U	Th	
Стекло защитное	2582	15	55	40	10^{-5}	10^{-3}	$5 \cdot 10^{20}$
Стекло оптическое	984	6	45	30	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-20}$
Сурик (Pb ₂ O ₃)	864	1	54	90	-	-	$4,2 \cdot 10^{21x/}$
Свинец-208 (PbS)	1344	2	41	87	-	-	

Естественным продолжением экспериментов является поиск аномального эффекта спонтанного деления свинца в различных свинцово-содержащих рудах. Было изучено около 50 различных природных образцов, содержащих ртуть, молибден, свинец, платину, золото, медь и другие элементы. Причем аномалии наблюдались в некоторых образцах, содержащих свинец в небольших количествах ($\approx 7-15\%$ по весу) из определенных молодых образований (возраст $\approx 70-100$ млн. лет).

Разделение образцов таких руд по минеральным фракциям не привело к увеличению эффекта спонтанного деления. Возможно, что неизвестный изотоп, испытывающий спонтанное деление, либо вытеснен из кристаллической решетки свинцовых минералов и находится в окружающей их породе, либо изоморфно распределен по всей руде. Для идентификации этих продуктов необходимо применять более трудоемкие методы: химическое обогащение или электромагнитное разделение образцов с выделением атомных ядер в широком диапазоне масс.

В шестой главе дан анализ полученных результатов.

I. В таблице 4 приведено сравнение полученных в работе значений периодов спонтанного деления для изотопов калифорния,

x/ Среднее для свинца-208 и сурика.

фермия и 102 элемента с известными ранее или ожидаемыми значениями.

Таблица 4

Изотоп	Значения периодов спонтанного деления			
	Данная работа	Ранее известно /15,27/	Предсказания	
			Вайолы /2/	Юханссона /3/
²⁴⁶ Cf	$(2,0 \pm 0,2) \cdot 10^3$ лет	$(2,1 \pm 0,3) \cdot 10^3$ лет	$1,7 \cdot 10^4$	-
²⁴⁸ Cf	$(4,1 \pm 0,4) \cdot 10^4$ лет	$\geq 1,5 \cdot 10^4$ лет	$1,3 \cdot 10^4$	$\approx 2,5 \cdot 10^3$ лет
²⁴⁶ Fm	≈ 20 сек.	(15 ± 5) сек.	≈ 1 год	-
²⁴⁸ Fm	≈ 60 час.	(10 ± 5) час.	≈ 5 лет	-
²⁵⁰ Fm	$> 0,6$ года	-	≈ 30 лет	-
	≈ 10 лет.			
²⁵⁴ 102	> 25 час.	-	≈ 14 дней	≈ 7 сек
²⁵⁶ 102	≥ 1200 сек.	-	$\approx 1,9$ часа	$\approx 0,016$ сек.

Из этого сравнения следует, что экспериментальные значения T_{st} не согласуются с предсказываемыми /2,3/. Наблюдается более резкое влияние подболочки $N = 152$ на устойчивость ядер относительно деления, что указывает на недооценку оболочечных поправок в существующих расчетах вероятности спонтанного деления тяжелых ядер. С другой стороны, не получено резкого уменьшения периодов спонтанного деления для ядер с $Z > 100$, как предсказывалось ранее и связывалось с влиянием вновь введенной гипотетической подболочки с $Z = 100$ /3/. Очевидно, что эта гипотеза была ошибочной, и ядра с $Z > 102$ и N вблизи 152 не будут испытывать катастрофически резкого падения периодов.

II. Обсуждается природа других спонтанно делящихся продуктов с увеличенной вероятностью спонтанного деления в $10^{13}-10^{16}$ раз. Такое увеличение проницаемости барьера можно объяснить уменьшением барьеров относительно деления на величину $\approx 1,9-2,3$ Мэв. Это указывает на тот факт, что спон-

танное деление, связанное с изотопами ^{228}Np (^{227}Np), ^{232}Am и ^{234}Am , может происходить только из возбужденного состояния. Рассмотрены возможные гипотезы возникновения у ядер таких возбужденных состояний.

1) Наблюдаются спонтанно делящиеся изомеры. Возможно, что это изомеры с большим запретом для электромагнитных переходов или изомеры формы с основным или изомерным состоянием во второй яме.

2) В результате электронного захвата изотопов нептуния и америция образуются возбужденные состояния в соответствующих ядрах урана и плутония с последующим мгновенным или задержанным делением.

III. Аномалии в спонтанном делении некоторых свинцово-содержащих образцов можно объяснить существованием природного долгоживущего спонтанно делящегося излучателя, являющегося неизвестным природным спонтанно делящимся изомером или относительно стабильным изотопом ($T_{1/2} \geq 10^8$ лет) сверхтяжелого атомного ядра.

Результаты работы можно свести к следующему:

1. Создано несколько высокочувствительных установок для регистрации спонтанного деления атомных ядер.
2. Впервые определены экспериментально вероятности спонтанного деления изотопов: ^{250}Fm , $^{254}\text{102}$ и $^{256}\text{102}$.
3. Уточнены парциальные периоды спонтанного деления изотопов ^{246}Cf , ^{248}Cf , ^{246}Fm и ^{248}Fm . Уточнен также период α -распада ^{248}Cf .
4. Показано, что для изотопов фермия и 102 элемента значения периодов спонтанного деления сильно уменьшаются с числом нейтронов как для $N > 152$, так и для $N < 152$. Это подчеркивает важность оболочечных эффектов в теории спонтанного деления тяжелых ядер.
5. Синтезированы другие спонтанно делящиеся продукты в реакциях с тяжелыми ионами. Спонтанное деление с $T_{1/2} \approx 60$ сек., 1,4 мин и 2,6 мин. связано с изотопами ^{228}Np (^{227}Np),

^{232}Am и ^{234}Am соответственно. Причем наблюдаемое деление связано либо с существованием у этих ядер спонтанно делящихся изомеров, либо с делением из возбужденных состояний дочерних ядер урана и плутония, образующихся после электронного захвата. Изучены выходы спонтанно делящихся продуктов с $T_{1/2} \approx 3$ сек в различных ядерных реакциях.

6. Показано, что в ряде природных образцов наблюдается спонтанное деление, обусловленное существованием неизвестного спонтанно делящегося излучателя, являющегося спонтанно делящимся изомером или относительно стабильным изотопом сверхтяжелого атомного ядра.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /10-14, 19-23, 25/ и были доложены на конференции по физике тяжелых ионов (Дубна, 1966), симпозиуме по структуре ядра (Дубна, 1968) и международной конференции по свойствам ядерных состояний в Монреале (Канада, 1969).

Л и т е р а т у р а

1. К.А. Петржак, Г.Н. Флеров. ЖЭТФ, 10, 1013 (1940).
2. V.E. Viola, B.D. Wilkins. Nucl.Phys., 82, 65 (1966).
3. S. Johansson. Report UCRL-10474 (1962).
4. Ю.А. Музычка. Препринт ОИЯИ, P7-4133, Дубна (1968).
Ядерная физика 10, 113 (1969).
5. S.G. Nilsson, C.F. Tsang, A. Sobichewsky, Z. Szymanski, S. Wycech et al. Nucl.Phys., A131, 1 (1969).
6. P.H. Fowler. Report at the seminar at Dubna, March 1969.
7. Г.Н. Флеров, В.П. Перельгин. Препринт ОИЯИ, Д7-4205, Дубна (1969).
8. В.М. Струтинский. Ядерная физика 3, 614 (1966).
9. Ю.А. Музычка. Препринт ОИЯИ P7-4435, Дубна (1969).
10. В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Б.В. Фефилов, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ P-1580, Дубна (1964).

11. В.А. Друин, Н.К. Скобелев, В.И. Рудь. Препринт ОИЯИ, Р7-4817, Дубна, 1969.
12. В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Г.Я. Сун-Цзин-Ян. Препринт ОИЯИ, 13-3975, Дубна (1968). Атомная энергия 26, 374 (1969).
13. Н.К. Скобелев, Б.А. Гвоздев, В.А. Друин. Атомная энергия, 24, 65 (1968).
14. Г.Н. Флеров, В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев. Атомная энергия 22, 494 (1967).
15. С.М. Lederer, J.M. Hollander, I. Perlman. Table of Isotopes 6th Edition. John Wiley and Sons Inc. New York, 1968.
16. Е.Д. Донец. Препринт ОИЯИ, 2919, Дубна, 1966.
17. Г.Н. Акашев, А.Г. Демин, В.А. Друин, Э.Г. Имаев, И.В. Колесов, Ю.В. Лобанов, Л.П. Пашенко. Атомная энергия 21, 243 (1966).
18. Г.Н. Флеров. Атомная энергия 24, 5 (1968).
19. В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Б.В. Фефилов, В.И. Кузнецов, Ю.В. Лобанов, Ю.Ц. Оганесян. Препринт ОИЯИ Р-1651, Дубна, 1964.
20. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. Ядерная физика 4, 279 (1966).
21. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. Ядерная физика 4, 99 (1966).
22. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. Ядерная физика 5, 271 (1967).
23. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев. Ядерная физика 5, 1136 (1967).
24. М. Прайс. Сообщение на конференции по трансурановым элементам в Хьюстоне (США, 1969).
25. Г.Н. Флеров, Н.К. Скобелев, Г.М. Тер-Акопьян, В.Г. Субботин, Б.А. Гвоздев, М.П. Иванов. Сообщение ОИЯИ Д6-4554, Дубна 1969.

26. Г.Н. Флеров, Д.С. Клочков, В.С. Скобкин, В.В. Терентьев. ДАН 118, 69 (1958).
27. M. Nurmi, T. Sikkeland, R. Silva, A. Ghiorso. Phys. Lett., 26B, 78 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел
25 марта 1970 года.