

С. 341.3

П-504



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

С.М. Поликанов

3186

СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР В ИЗОМЕРНОМ СОСТОЯНИИ

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук**

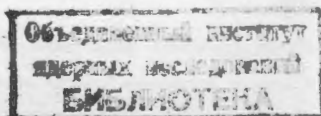
Дубна 1967

С.М. Поликанов

3186

СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР В ИЗОМЕРНОМ СОСТОЯНИИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук



После открытия в 1940 г. К.А. Петржаком и Г.Н. Флеровым спонтанного деления урана ²³⁵U было синтезировано большое число изотопов трансурановых элементов, для которых этот вид распада играет очень важную роль. Более того, оказалось, что для некоторых изотопов элементов с атомным номером, близким к 100, спонтанное деление становится основным способом распада. Это обстоятельство явилось причиной того, что в атомных реакторах, где синтез тяжелых изотопов происходит в результате последовательного захвата нейтронов, не удастся синтезировать трансфермиевые элементы.

Большие возможности для проведения работ по синтезу и исследованию свойств изотопов трансурановых элементов открылись после ввода в эксплуатацию ускорителя тяжелых ионов-циклотрона У-300, построенного в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

В реакциях с тяжелыми ионами в основном удастся синтезировать изотопы, довольно сильно обедненные нейтронами. Время жизни таких изотопов мало, и для исследования их свойств приходится использовать аппаратуру, помещаемую на пучке ионов.

В 1961 году в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ начались первые эксперименты по синтезу новых спонтанно делящихся изотопов трансурановых элементов.

При проведении этих опытов была использована аппаратура, которая позволяла наблюдать спонтанное деление ядер, время жизни которых превышало 0,001 сек.

В результате опытов было установлено, что при облучении U²³⁸ ионами Ne²² и O¹⁸ образуется изомер Am²⁴², распадающийся путем деления за 0,014 сек.

С 1961 по 1968 гг в Лаборатории ядерных реакций проводились систематические исследования свойств этого изомера и поиски новых изомеров такого типа.

В последние годы ряд экспериментов в этой области был выполнен ОИЯИ в сотрудничестве с Институтом атомной физики в Бухаресте и Институтом Нильса Бора в Копенгагене.

Некоторые опыты по изучению делящихся изомеров были проведены также в лабораториях США.

В диссертационной работе дается обзор и анализ имеющихся сейчас данных о делящихся изомерах.

Основные результаты исследований излагаются в шести главах. В главе I дается обзор современных представлений о барьере деления ядер и спонтанном делении ядер. В главе II дано краткое описание экспериментальной техники, применяемой при исследованиях делящихся изомеров. Описанию экспериментов, приведших к открытию делящегося изомера $A_m^{242m1} * X'$, посвящена глава III. Глава IV содержит результаты экспериментальных исследований, проведенных после обнаружения A_m^{242m1} . В главе V рассматриваются различные гипотезы об изомерии в области трансурановых элементов. Глава VI посвящена обсуждению основных результатов исследований.

I. Барьер деления и спонтанное деление ядер

Правильное понимание структуры барьера деления ядер играет решающую роль в объяснении основных закономерностей спонтанного деления. Поэтому очень важны как теоретические, так и экспериментальные работы в этом направлении.

После того, как было дано качественное объяснение процесса деления ядер на основе капельной модели, были проведены многочисленные работы, в которых эта модель была успешно использована для анализа различных сторон процесса деления. Однако последующее накопление экспериментальных данных привело исследователей к выводу, что многие факты нельзя объяснить, оставаясь в ее рамках.

В настоящее время очевидно, что большую роль при делении ядер играют оболочечные эффекты. Например, наблюдаемые флуктуации периодов спонтанного деления различных изотопов могут быть поняты лишь в том случае, если принимать во внимание состояния, в которых находятся отдельные нуклоны. x/V в дальнейшем для простоты изомеры, распадающиеся путем деления, обозначаются символом $m1$.

В теоретических работах В.М. Струтинского^{/2/}, а также В.Д. Майерса и В.Д. Святецкого^{/3/} определены поправки к вычисленному по капельной модели барьеру деления, учитывающие влияние ядерных оболочек. Показано, что высота и форма барьера деления тяжелых ядер в значительной степени определяются оболочечными эффектами.

Вероятность спонтанного деления ядер упрощенно описывается формулой

$$\lambda_f = 5 \frac{\omega_f}{2\pi} \exp \left[-k \int_{\delta_0}^{\delta_f} \sqrt{H} d\delta \right],$$

- где λ_f - вероятность спонтанного деления,
 ω_f - частота квадрупольных колебаний,
 H - высота барьера деления,
 δ - параметр деформации,
 k - коэффициент, зависящий от массы ядра.

Проведение расчетов вероятности спонтанного деления связано с большими сложностями, т.к. плохо известны значения основных параметров, входящих в показатель экспоненты. Поэтому до последнего времени большое внимание уделялось установлению полуэмпирических зависимостей периодов спонтанного деления от различных величин.

Исследования такого рода были проведены в ряде работ, и в I-ой главе диссертации дан их обзор.

В последние годы продолжалось дальнейшее совершенствование полуэмпирических методов оценки периодов спонтанного деления ядер. В недавно появившейся работе В.Е. Вайолы и Б.Д. Уилкинса^{/4/} расчет барьеров деления ядер и соответственно периодов спонтанного деления производился на основе модернизированной полуэмпирической формулы масс, в которой учитывается начальная деформация ядер.

Говоря о прохождении через барьер деления, следует иметь в виду, что различным состояниям делящегося ядра соответствует прохождение через различные каналы деления, которые в свою очередь связаны с существованием энергетических уровней ядра в седловой точке.

Ценная информация о барьере деления была получена при изучении реакций типа $(d, p f)$, $(\alpha, \alpha f)$, (n, f) . Эксперименты показали, что при

деформациях, соответствующих седловой точке, ядро сильно охлаждается и проявляются энергетические уровни различной природы, аналогичные уровням при обычных деформациях. Изучение каналовых эффектов важно для правильного понимания того, как изменяется барьер деления при переходе от одного возбужденного состояния к другому. В 1-ой главе дан краткий обзор проведенных к настоящему времени исследований в этой области.

II. Методика исследования спонтанно делящихся ядер с малым временем жизни

Изотопы трансурановых элементов, которые удается синтезировать в реакциях с тяжелыми ионами, имеют, как правило, малое время жизни, и поэтому для изучения их спонтанного деления приходится разрабатывать специальную методику, позволяющую производить регистрацию осколков вблизи пучка тяжелых ионов.

В основу большинства экспериментов был положен широко используемый при работе с тяжелыми ионами так называемый метод ядер отдачи. Этот метод основан на том, что ядра, образующиеся в реакциях с тяжелыми ионами, получают довольно большой импульс и вылетают из мишени толщиной в несколько сот микрограмм на см². Затормозившись на сборнике, они вместе с ним в дальнейшем переносятся к детектору, регистрирующему их распад.

Для быстрого переноса исследуемых ядер к детекторам наиболее широко использовались сборники в виде вращающегося диска, либо в виде бесконечной ленты-конвейера. На рис. 1 показана схема установки, использованной в первых опытах, проводившихся на внутреннем пучке ионов циклотрона У-300. В этих опытах в качестве детекторов осколков деления использовались две ионизационные камеры. Период полураспада изотопов, распадающихся путем деления, можно определить, зная скорость вращения диска-сборника и соотношение числа отсчетов в камерах.

В дальнейшем для регистрации осколков деления использовались также фотоэмульсии и полупроводниковые детекторы.

В настоящее время в исследованиях спонтанно делящихся ядер с малым временем жизни наиболее широко используются диэлектрические детекторы.

Принцип их действия основан на том, что в месте попадания осколка деления структура вещества нарушается столь сильно, что при обработке плавиковой кислотой поверхности, облученной осколками деления, образуются видимые в микроскоп треки.

Надо отметить также, что в последнее время значительная часть всех экспериментов проводится на внешних пучках ускорителей.

В отдельных экспериментах изучалось образование делящихся изомеров под действием нейтронов. Источником нейтронов служили работающие в импульсном режиме нейтронный генератор НГ-200 или циклотрон. В первом случае для получения нейтронов использовалась реакция $d(T, He^4)_n$. В опытах на циклотроне нейтроны получались в реакциях $d(d, He^3)_n$ и $p(Li^7, Be^7)_n$.

Так как пробег тяжелых ядер, образующихся в ядерных реакциях с нейтронами, мал, от метода ядер отдачи пришлось отказаться. Регистрация осколков спонтанного деления в этом случае производилась диэлектрическими детекторами, приближавшимися к облучаемой нейтронами мишени в промежутках между импульсами облучения.

III. Обнаружение спонтанного деления в изомерном состоянии

Первые опыты, результатом которых явилось обнаружение распадающегося путем деления изомера, были проведены в 1961 году. В этих опытах мишень из U^{238} была облучена ионами Ne^{22} и O^{16} . В обоих облучениях было зарегистрировано образование какого-то изотопа, делящегося за время $\sim 0,02$ сек^{/Б/}. Если в случае реакции $U^{238} + Ne^{22}$ можно было ожидать, что образуется какой-то неизвестный делящийся изотоп элемента 102 или 101, то для реакции $U^{238} + O^{16}$ это полностью исключается. В последнем случае образуются лишь достаточно хорошо изученные изотопы элементов с атомным номером $Z \leq 100$, время жизни которых для α -распада превышает 30 сек. Период спонтанного деления этих изотопов много больше периода α -распада. Поэтому было высказано предположение, что наблюдается изомерное состояние известного изотопа, для которого сильно увеличена вероятность спонтанного деления.

Последующие опыты с фотоэмульсиями^{/Б/} подтвердили выводы работы^{/Б/} и позволили в дальнейшем уточнить значение периода полураспада обнаруженно-

го делящегося изомера, который оказался равным 0,014 сек. В связи с тем, что период полураспада очень мал, для идентификации изотопа нельзя применить ни химические методы, ни метод масс-сепаратора. Поэтому был использован метод перекрестных реакций. Исследуемый изотоп был синтезирован как в различных реакциях с использованием тяжелых ионов, так и в реакциях с использованием альфа-частиц, дейтронов, нейтронов /7-12/. По совокупности полученных данных было установлено, что распад испытывает изотоп ${}_{95}^{242}\text{Am}$, находящийся в изомерном состоянии.

В табл. 1 приведены данные о наиболее простых реакциях, приводящих к образованию $\text{Am}^{242\text{mf}}$.

Т а б л и ц а 1

Р е а к ц и я	Энергия бомбардируемой частицы, Мэв	Сечение реакции, см ²
$\text{U}^{238} (\text{В}^{11}, \alpha, 3\text{n}) \text{Am}^{242\text{mf}}$	80	6×10^{-32}
$\text{U}^{238} (\text{В}^{10}, \alpha, 2\text{n}) \text{Am}^{242\text{mf}}$	60	$\sim 4 \times 10^{-32}$
$\text{Am}^{243} (\alpha, \alpha, \text{n}) \text{Am}^{242\text{mf}}$	40	$\sim 10^{-31}$
$\text{Pu}^{239} (\alpha, \text{p}) \text{Am}^{242\text{mf}}$	40	4×10^{-32}
$\text{Pu}^{242} (\text{d}, 2\text{n}) \text{Am}^{242\text{mf}}$	12	3×10^{-30}
$\text{Am}^{243} (\text{n}, 2\text{n}) \text{Am}^{242\text{mf}}$	14	1.5×10^{-28}
$\text{Am}^{241} (\text{n}, \gamma) \text{Am}^{242\text{mf}}$ (предварительные данные)	1-3	$\sim 10^{-29}$

Изотоп Am^{242} был синтезирован давно, и его свойства достаточно хорошо изучены. В основном состоянии Am^{242} распадается путем β^- -распада и электронного захвата с периодом полураспада 16 час. Спонтанное деление Am^{242} не наблюдалось. По оценкам согласно существующей систематике периодов спонтанного деления, его период полураспада должен превышать 10^{14} лет. Это значит, что вероятность спонтанного деления обнаруженного изомера более чем в 10^{23} раз превышает вероятность деления в основном состоянии.

IV. Экспериментальные исследования спонтанно делящихся изомеров

Экспериментальные исследования, проводившиеся после обнаружения $\text{Am}^{242\text{mf}}$, развивались по нескольким направлениям.

Большое внимание было уделено синтезу новых спонтанно делящихся изомеров в реакциях с тяжелыми ионами. Усилия были направлены, с одной стороны, на поиск сравнительно долгоживущих изомеров, а с другой стороны, на поиск изомеров, живущих столь мало, что они распадаются на лету, едва покинув облучаемую мишень.

В результате проведенных экспериментов, основная часть которых была выполнена в Лаборатории ядерных реакций, удалось обнаружить еще 7 изотопов, распадающихся путем деления /13-20/. Результаты этих исследований представлены на рис. 2 и в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

И з о т о п	Период спонтанного деления в изомерном состоянии	Период спонтанного деления в основном состоянии	Фактор ускорения спонтанного деления
$\text{Np}^{228\text{mf}}$	1 мин	$> 10^8$ лет	
$\text{Am}^{232\text{mf}}$	1,5 мин	$> 10^2$ лет	
$\text{Am}^{234\text{mf}}$	2,6 мин	$> 10^4$ лет	
$\text{Am}^{240\text{mf}}$	0,0008 сек	$\geq 10^{14}$ лет	$\geq 10^{24}$
$\text{Am}^{242\text{mf}}$	0,014 сек	$\geq 10^{14}$ лет	$\geq 10^{23}$
$\text{Am}^{244\text{mf}}$	0,001 сек	$\geq 10^{14}$ лет	$\geq 10^{24}$
$\text{Z} < 97$	3,5 сек		
$\text{M} < 246$			
$\text{Cf}^{246\text{mf}}$	8×10^{-8} сек	2×10^3 лет	$\sim 10^{17}$

Как видно из таблицы, 6 изотопов были идентифицированы. Идентификация производилась по форме кривых возбуждения изотопов в ядерных реакциях. Оказалось, что в случае Am^{240} , $\text{Am}^{244(14,15)}$ и $\text{Cf}^{246(20)}$ мы снова имеем дело с изомерными состояниями ядер, для которых резко увеличена вероятность спонтанного деления. Что же касается Np^{228} , Am^{232} и $\text{Am}^{234/17-19/}$, то сейчас можно лишь утверждать, что эффект не может быть связан с их распадом в основном состоянии. Возможно, что мы имеем дело с изомерными состояниями этих ядер, но нельзя исключить и того, что наблюдается запаздывающее деление U^{228} , Pu^{239} и Pu^{234} , оказавшихся после β^- -распада Np^{228} , Am^{232} и Am^{234} в возбужденном состоянии с энергией, близкой к их барьеру деления.

Для понимания природы обнаруженных изомеров важно знать энергию и спин изомерных состояний.

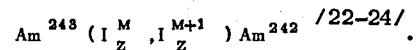
В связи с тем, что до сих пор не удалось наблюдать γ -лучи и α -частицы при распаде Am^{242m1} , были поставлены опыты по исследованию закономерностей образования Am^{242m1} и Am^{240m1} в ядерных реакциях.

Исследования проводились по двум направлениям. С одной стороны, были предприняты опыты по определению порогов ядерных реакций, приводящих к образованию изомеров, а с другой стороны, измерялись изомерные отношения (отношение сечений образования ядер в изомерном и основном состояниях) в различных ядерных реакциях.

В экспериментах, выполненных на электростатическом тандем-генераторе Института Нильса Бора, был измерен порог реакции $Pu^{241}(p, 2n)$, приводящей к образованию спонтанно делящегося изомера Am^{240m1} /21/. Оказалось, что он превышает порог образования Am^{240} в основном состоянии на 3,05 Мэв.

На рис. 3 приведен результат измерения порога образования спонтанно делящегося изомера Am^{242m1} в реакции $Am^{243}(n, 2n)$ /12/. Его превышение над порогом образования Am^{242} в основном состоянии составляет $2,9 \pm 0,4$ Мэв.

Что касается данных об изомерных отношениях для Am^{242} , то они были получены как для реакций, протекающих с образованием составного ядра, так и для реакций передачи типа



V. Развитие представлений об изомерии в области трансурановых элементов

После опубликования экспериментальных данных о спонтанно делящихся изомерах появился ряд работ, в которых были высказаны соображения о возможности существования новых типов изомерии в области тяжелых элементов.

Ограничимся очень кратким изложением этих соображений.

В работе Л.К. Пекера /25/ было сделано предположение, что наблюдаемое изомерное состояние Am^{242m1} является 6-квазичастичным состоянием, образованным в результате разрыва нейтронной и протонной пар. Энергия такого изомера должна быть близка к 2,5 Мэв, а спин равен - 23 \hbar .

Л.А. Сливом и Ю.И. Харитоновым /26/ была рассмотрена роль остаточных π -взаимодействий в ядре и показана возможность существования изомеров тяжелых ядер, образованных при выстраивании нуклонов. Оценки показывают, что спин таких состояний в области Π должен быть равен $18 \hbar$, а энергия возбуждения близка к 3-4 Мэв.

Гипотеза о новом типе изомерных состояний - вихревых изомерах - была предложена Я.Б. Зельдовичем /27/. Согласно Л.Б. Зельдовичу, для ядерного вещества, являющегося сверхтекучей жидкостью, возможно что существует состояние капли этой жидкости, т.е. ядра, с квантованным вихрем по оси капли. Спин этих изомеров должен быть достаточно велик.

В ряде работ были высказаны и рассмотрены гипотезы о том, что наблюдаемые спонтанно делящиеся изомеры являются изомерами формы /28-30/.

В общей форме эта гипотеза была рассмотрена Г.Н. Флеровым /28/. В работе А.Л. Малова, С.М. Поликанова и В.Г. Соловьева /29/ была показана возможность существования двухквазичастичных изомерных состояний с $K \pi = 12^-$ - $p \ 505 \hbar$ и $806 \hbar$ и высказано предположение о возможности увеличения для них вероятности спонтанного деления.

Интересная гипотеза об изомерии формы рассмотрена В.М. Струтинским /32/, который показал, что барьеры деления некоторых ядер могут иметь сложную форму с минимумом в области седловой точки. Появление этого минимума, в принципе, может быть связано с существованием сильно вытянутых изомеров формы.

И, наконец, необходимо отметить работу Д.Ф. Зарепкого и М.Г. Урина /30/, в которой развиты представления о влиянии массового коэффициента на вероятность туннельного проникновения через барьер деления. Согласно Д.Ф.Зарепкому и М.Г. Урину, могут существовать такие изомерные состояния, для которых полностью исчезнут парные корреляции между нуклонами и значение массового коэффициента будет соответствовать гидродинамическому пределу. При этом должно произойти увеличение вероятности спонтанного деления примерно в 10^{16} раз.

Надо отметить, что все высказанные гипотезы в значительной степени носят качественный характер.

VI. Обсуждение результатов исследований

В настоящее время накоплен достаточно большой материал о закономерностях образования спонтанно делящихся изомеров Am^{242m1} и Am^{240m1} , позволяющий сделать некоторые заключения о свойствах изомерных состояний.

В табл. 3 и на рис. 4 приведены результаты измерения изомерного отношения для Am^{242} в различных ядерных реакциях и там же для сравнения указаны данные об образовании двухквaziчастичного изомера Au^{196} ($I\pi = 12^-, E = 0,8 \text{ МэВ}$).

Т а б л и ц а 3

Реакция	Энергия частиц	Средний орбитальный момент ℓ	σ_m / σ_g	
			${}_{95}\text{Am}^{242}$	${}_{79}\text{Au}^{196}$
n, γ	1/40 эв	0	$< 5 \cdot 10^{-7}$	
p, n	7 Мэв	1	$1,5 \cdot 10^{-4}$	
	11 Мэв	2		
$d, 2n$	10 Мэв	3	$3 \cdot 10^{-4}$	0,015
	14 Мэв	5	$5 \cdot 10^{-4}$	0,025
$n, 2n$	14 Мэв	7	$5 \cdot 10^{-4}$	0,065
$\text{В}^{10}, \alpha 3n$	65 Мэв	15	$5 \cdot 10^{-4}$	0,4

Видно, что для Au^{196} изомерное отношение сильно увеличивается при переходе от реакций с нейтронами и дейтронами к тяжелым ионам. Это легко понять, если вспомнить, что в случае образования составного ядра с помощью тяжелых ионов состояния с большим спином образуются с значительно большей вероятностью. В случае же Am^{242} относительная вероятность образования спонтанно делящегося изомера практически не зависит от типа реакции. Это можно понять, лишь предположив, что спин Am^{242m1} достаточно мал (несколько единиц \hbar).

Возникает вопрос, каким образом можно понять малость изомерного отношения, если спин Am^{242m1} мал. Возможное объяснение этого дает работа В.П. Зоммера и А.И. Прокофьева^{/31/}, в которой проведена оценка изомерного отношения для реакции $\text{Pu}^{242} (d, 2n) \text{Am}^{242}$ на основе статстической теории. Расчеты указанных авторов показывают, что изомерное отношение может быть очень малым, если энергия уровня достаточно велика. В случае Am^{242}

наилучшее согласие с экспериментальными данными наблюдается при $E = 2,8 \text{ Мэв}$ (рис. 5).

Говоря об экспериментальном определении энергии изомерных состояний, надо прежде всего обратиться к результатам опытов по определению порогов реакций $\text{Pu}^{241} (p, 2n) \text{Am}^{240m1}$ и $\text{Am}^{243} (n, 2n) \text{Am}^{242m1}$. Согласно этим опытам, превышение порога образования делящихся изомеров над порогами образования изотопов в основном состоянии равно 3,05 Мэв для Am^{240} и 2,9 Мэв для Am^{242} . Анализ, проводившийся в работе^{/21/}, показал, что для ранее исследованных реакций типа $(p, 2n)$, приводящих к известным возбужденным состояниям ядер, разница порогов равна энергии возбуждения. Поэтому есть достаточные основания считать, что $E_m^{\text{Am}^{240}} = 3,05 \text{ Мэв}$, а $E_m^{\text{Am}^{242}} = 2,9 \text{ Мэв}$, что достаточно хорошо согласуется с данными расчетов В.П. Зоммера и А.И. Прокофьева.

Возникает вопрос, каким образом можно объяснить причину сильного запрета для радиационных переходов из состояния с энергией ~ 3 Мэв и малым спином. Объяснение, которое можно дать сейчас, состоит в том, что запрет обусловлен сильным различием деформации ядра в основном и изомерном состоянии.

Вопрос о том, какова деформация ядра в изомерном состоянии, остается открытым. Сделанный вывод об изомерии формы, по-видимому, является единственным, который можно сделать на основе современных представлений о свойствах тяжелых ядер.

VII. Основные выводы

В результате проведенных к настоящему времени исследований:

1. Установлено существование нового типа изомерных состояний ядер, для которых резко увеличена вероятность спонтанного деления (в $10^{17} - 10^{23}$ раз по сравнению с основным состоянием).
2. Показано, что этот тип изомерных состояний достаточно широко распространен среди изотопов трансурановых элементов.
3. Исследованы закономерности образования в ядерных реакциях спонтанно делящихся изомеров Am^{242m1} и Am^{240m1} .

Совокупность полученных данных позволяет высказать определенные предположения о свойствах изомерных состояний: энергия уровней близка к 3 Мэв, а спин мал (несколько единиц \hbar).

На основании полученных экспериментальных данных делается вывод о том, что наблюдаемые состояния связаны с аномально большими деформациями ядер.

Результаты, изложенные в диссертации, докладывались на 3-й Международной конференции по ядерным реакциям между сложными ядрами (Асиломар, США, 1963 г.), на Всесоюзном совещании по ядерной спектроскопии (Минск, 1965 г.), на Совещании по нейтронодефицитным изотопам (Дубна, 1966 г.) и Международной конференции по физике тяжелых ионов (Дубна, 1966 г.).

Отдельные части работы, выполненные при участии автора, изложены в статьях /5, 7-15, 20-24, 29/.

Л и т е р а т у р а

1. К.А. Петржак, Г.Н. Флеров. Экспериментальная и теоретическая физика, 10, 1013 (1940).
2. В.М. Струтинский. Physics and chemistry in fission, 1, 171, IAEA, Vienna (1965).
3. W.D. Myers and W.J. Swiatecki. Отчет UCRL - 11980 (1965).
4. V.E. Viola, B.D. Wilkins. Nucl. Phys., 82, 65 (1966).
5. С.М. Поликанов, В.А. Друин, В.А. Карнаухов, В.Л. Михеев, А.А. Плева, Н.К. Скобелев, В.Г. Субботин, Г.М. Тер-Акопян, В.А. Фомичев, ЖЭТФ, 42, 1464 (1982).
6. В.П. Перелыгин, С.П. Алмазова, Б.А. Гвоздев, Ю.Т. Чубурков. ЖЭТФ, 42, 1472 (1982).
7. С.М. Поликанов, Ван Тун-сен, Х. Кекк, В.Л. Михеев, Ю.П. Оганесян, А.А. Плева, Б.В. Фефилов. ЖЭТФ, 44, 804 (1983).
8. Г.Н. Флеров, С.М. Поликанов, К.А. Гаврилов, В.Л. Михеев, В.П. Перелыгин, А.А. Плева. ЖЭТФ, 45, 1398 (1983).
9. G.N. Flerov, S.M. Polikanov, V.L. Mikheev, V.P. Perelygin, A.A. Pleve. Proceedings of the 3-d Conference on Reactions between Complex Nuclei, Asilomare, USA (1963).
10. A.F. Linev, B.N. Markov, A.A. Pleve, S.M. Polikanov, Nucl. Phys. 63, 173 (1965).
11. G.N. Flerov, E. Ivanov, N. Martologu, A.A. Pleve, S.M. Polikanov, D. Poenaru, N. Vilkov. Revue Roumaine, 10, 217 (1965).

12. N. Martologu, D. Poenaru, M. Seson, I. Vilkov, N. Vilkov, G.N. Flerov, A.A. Pleve, S.M. Polikanov, S.P. Tretjakova. Направлено в Nucl. Phys.
13. G.N. Flerov and S.M. Polikanov. Comptes rendus du congrès international de physique nucléaire, Paris, 2-8 juillet 1964, v. 1, 407.
14. Ю.В. Лобанов, В.И. Кузнецов, В.П. Перелыгин, С.М. Поликанов, Ю.П. Оганесян, Г.Н. Флеров. Ядерная физика 1, 67 (1965).
15. С.М. Поликанов, А.М. Кучер, Е.Н. Марков, А.А. Плева. Препринт ОИЯИ, Р-2116, Дубна, 1965.
16. В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Б.В. Фефилов, В.И. Кузнецов, Ю.В. Лобанов, Ю.П. Оганесян. Препринт ОИЯИ Р-1580, Дубна, 1964.
17. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. Ядерная физика, 4, 279 (1966).
18. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. Ядерная физика, 4, 99 (1966).
19. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ Р-2862, Дубна, 1966.
20. Ю.П. Гангрский, Е.Н. Марков, С.М. Поликанов, Х. Юнгклауссен. Препринт ОИЯИ, Р-2841, Дубна, 1966.
21. S. Bjorholm, J. Borggreen, L. Westgard and V. Kartaukhov. Направлено в Nucl. Phys.
22. Е.Н. Марков, А.А. Плева, С.М. Поликанов, Г.Н. Флеров. Ядерная физика, 3, 455 (1966).
23. Ю.П. Гангрский, Е.Н. Марков, С.М. Поликанов, Х. Юнгклауссен. Препринт ОИЯИ, Р-2695, Дубна, 1966.
24. Ю.П. Гангрский, Е.Н. Марков, С.М. Поликанов, Х. Юнгклауссен. Препринт ОИЯИ, Р-2769, Дубна, 1966.
25. Л.К. Пекер. Известия АН СССР, 28, 298 (1964).
26. Л.А. Слив, Ю.И. Харитонов, ЖЭТФ, 46, 811 (1964).
27. Я.Б. Зельдович. ЖЭТФ, IV в. 2, 78 (1966).
28. Г.Н. Флеров, В.А. Друин. Препринт ОИЯИ, Р-2539, Дубна, 1966.
29. А.Л. Малов, С.М. Поликанов, В.Г. Соловьев. Ядерная физика, 4, 528 (1966).
30. M. Ugin, D. Zaretski. Nucl. Phys. 75, 101 (1966).
31. В.П. Зоммер, А.И. Прокофьев. Ядерная физика, 3, 401 (1966).
32. V.M. Strutinski. Nucl. Physics (в печати).

Рукопись поступила в издательский отдел
1 марта 1966 г.

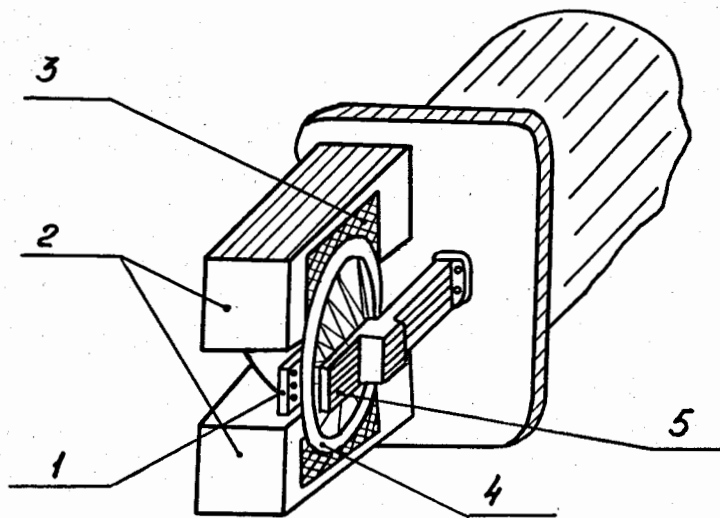


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для наблюдения спонтанного деления ядер с малым временем жизни. 1 - мишень, 2 - ионизационные камеры, 3 - окно ионизационной камеры, 4 - коллектор ядер трансураниевых элементов, 5 - коллектор тока ионов.

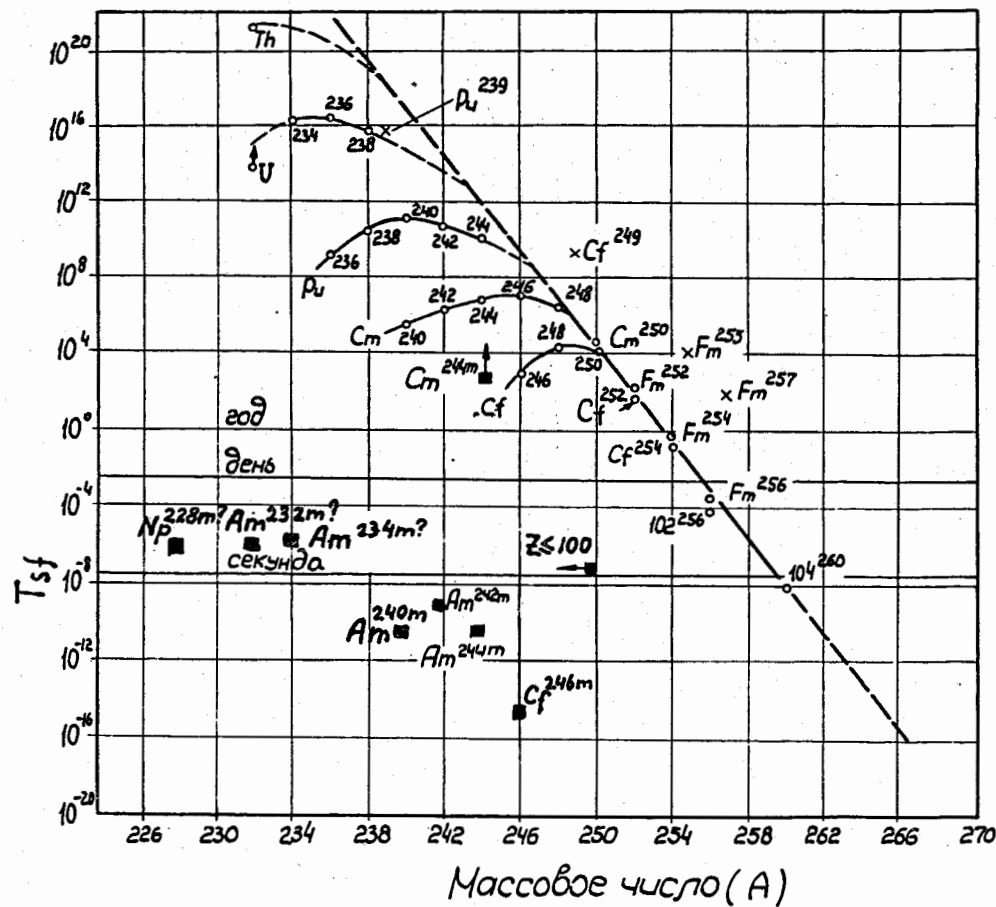


Рис. 2. Зависимость периода спонтанного деления ядер от массы ядер.
 ■ - изомеры, ○ - четно-четные ядра, × - нечетные ядра.

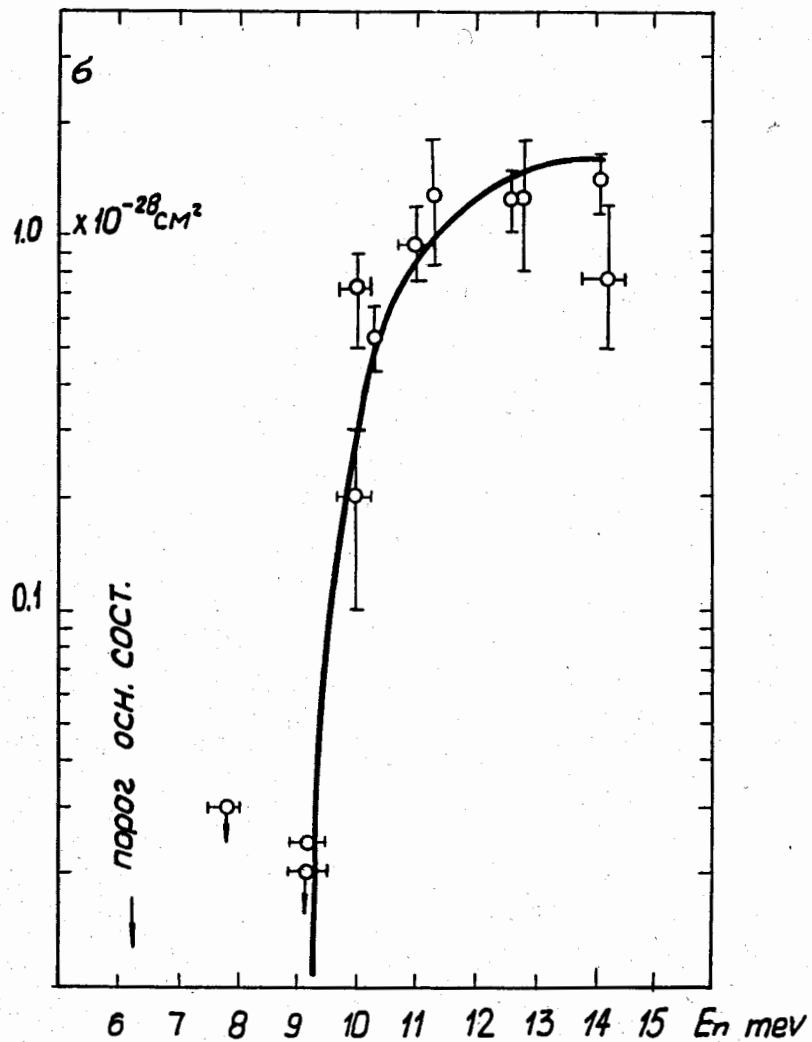


Рис. 3. Зависимость сечения реакции $\text{Am}^{243}(n,2n)\text{Am}^{242m1}$ от энергии нейтронов.

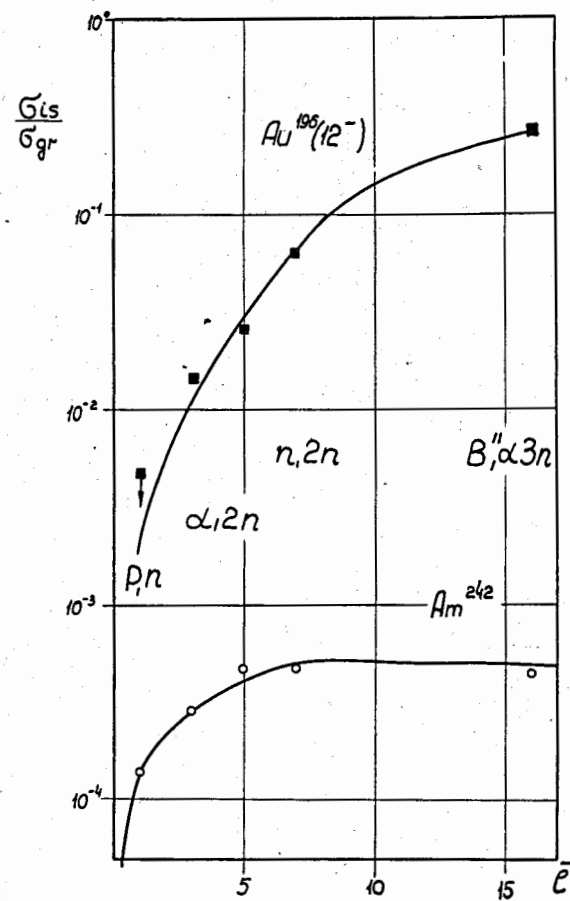


Рис. 4. Зависимость изомерного отношения для Am^{242} и Au^{196} от среднего значения спина.

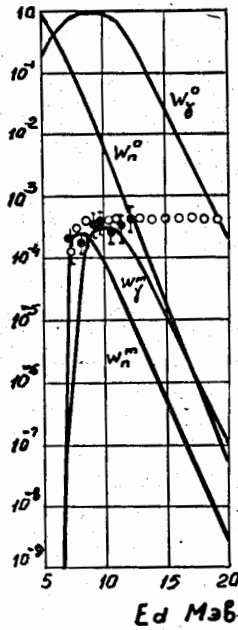


Рис. 5. Зависимость вероятностей изомерного отношения от энергий дейтронов.
 W_n^m , W_γ^m - вероятность образования изомерного состояния после испускания нейтронов или γ -лучей; W_n^0 , W_γ^0 - вероятность перехода в основное состояние после испускания нейтронов или γ -лучей;
 ● - экспериментальные результаты /11/. ○ - теоретические данные работы /31/.