

С 341.3 + С 343

Ш-16

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

7-5647

Н.Х. Шадиева

ПОИСКИ  
СПОНТАННО ДЕЛЯЩИХСЯ  
ИЗОМЕРОВ С НАНОСЕКУНДНЫМИ  
ВРЕМЕНАМИ ЖИЗНИ В РЕАКЦИЯХ  
С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Специальность 01. 055-физика атомного ядра  
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

Дубна, 1971

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

академик Г.Н. Флеров

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник Ю.П. Гангрский

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,  
профессор К.А. Петржак

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник Ю.П. Попов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе АН СССР.

Автореферат разослан " " 1971 года.

Защита диссертации состоится " " 1971 года  
на заседании Объединенного Ученого совета ЛНФ и ЛЯР ОИЯИ,  
Дубна, Московской области, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь совета

Э.Н. Каржавина

7-5647

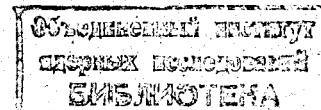
Н.Х. Шадиева

ПОИСКИ  
СПОНТАННО ДЕЛЯЩИХСЯ  
ИЗОМЕРОВ С НАНОСЕКУНДНЫМИ  
ВРЕМЕНАМИ ЖИЗНИ В РЕАКЦИЯХ  
С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Специальность 01. 055-физика атомного ядра  
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

4587.69



Явление спонтанного деления ядер из изомерного состояния, открытое в 1962 году в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ С.М.Поликановым и др. /1/, до-настоящего времени вызывает большой интерес как экспериментаторов, так и теоретиков.

Это объясняется тем, что ряд изученных свойств спонтанно делящихся изомеров указывает на их необычную природу:

1) Резкое увеличение вероятности спонтанного деления (до  $10^{30}$  раз по сравнению со спонтанным делением из основного состояния).

2) Отсутствие зависимости изомерного отношения от вносимого в ядро момента, что не характерно для обычных изомеров, и сильная зависимость этого отношения от энергии возбуждения. Последнее можно проследить на примере спонтанно делящегося  $^{242}\text{Am}$ , образующегося в реакциях, протекающих через составное ядро, и в прямых реакциях.

3) Корреляция сечения образования изомера и сечения деления.

Перечисленные свойства говорят о сложной структуре барьера деления. Расчеты В.М.Струтинского /2/ для ядер актинидной области с учетом оболочечной поправки к жидкокапельному классическому барьеру показывают, что в энергии деформации ядра проявляется второй минимум при деформации, в 2 - 2,5 раза большей равновесной, (рис. 1). Квазистационарные состояния, возникающие во второй яме, могут быть причиной существования спонтанно делящихся изомеров, которые интерпретируются как изомеры формы. Основное состояние ядра связывается с первым минимумом. Потенциальный барьер, разделяющий основное и изомерное состояния (изомерия формы) препятствует  $\gamma$ -распаду в основное состояние.

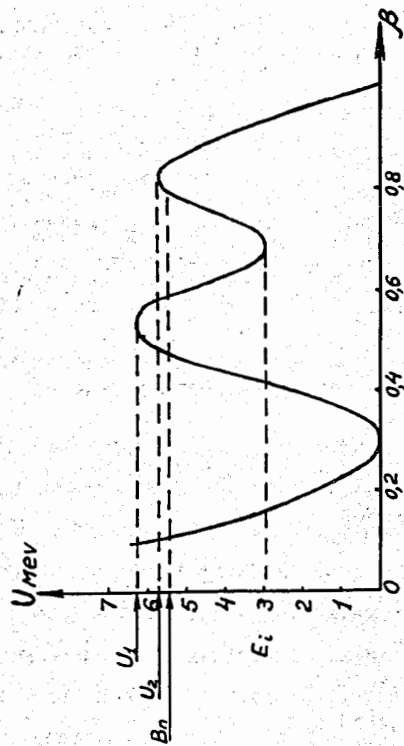


Рис. 1. Зависимость потенциальной энергии от деформации ядра  
 $U$  - потенциальная энергия,  $\beta$  - деформация,  
 $U_1$  - первый барьер (барьер деления),  
 $U_2$  - второй барьер,  $E_1$  - энергия изомерного уровня.

Более поздние вычисления Цанга и Нильсона <sup>/3/</sup> для нейтронодефицитных редкоземельных ядер  $^{80}\text{Hg}$ ,  $^{82}\text{Pb}$ ,  $^{84}\text{Po}$ ,  $^{86}\text{Rn}$ ,  $^{88}\text{Ra}$  и  $^{90}\text{Th}$  также показали двугорбую структуру барьера деления. В.В.Пашкевич <sup>/4/</sup> в своих расчетах оболочечных поправок для ядер с  $Z > 80$  отмечает, что второй минимум отчетливо локализован областью значений:  $80 \leq Z \leq 92$  и двумя областями  $N$ :  $110 \leq N \leq 126$  и  $136 \leq N \leq 156$ . В области ядер с центром  $Z = 86$  наиболее четко проявляется второй минимум для ядра  $^{204}\text{Rn}$ , расположен он на 7-8 Мэв выше первого.

Обобщая результаты вычислений барьеров деления для легких ядер, можно сделать заключение, что в этой области состояния изомеров формы, вероятно, будут более предрасположены к проницаемости через малый внутренний барьер с последующим  $\gamma$ -распадом в основное состояние, чем к делению через очень большой внешний барьер.

Однако это не исключает слабой ветви деления, поскольку  $\gamma$ -распад является более медленным процессом по сравнению с делением.

Возможно, что внешний барьер переоценивается из-за недостаточной точности параметров, положенных в основу расчетов, поэтому представляет особый интерес поиски спонтанно делящихся изомеров в области легких ядер. Поскольку такие изомеры интерпретируются как основное состояние во второй яме, существование их позволило бы сделать заключение о реальной структуре барьера деления. Первые указания на существование изомеров формы в области ядер с  $Z = 66$  и  $Z = 84$  были сделаны в экспериментах Дж.Александера <sup>/5/</sup> и Петера <sup>/6/</sup>.

Дж. Александер при облучении мишеней в широком диапазоне  $Z$  и  $A$  от  $^{138}\text{Ba}$  до  $^{209}\text{Bi}$  тяжелыми ионами от  $^{11}\text{B}$  до  $^{19}\text{F}$  с энергией от 10 Мэв/нукл. и меньше наблюдал осколки запаздывающего деления на слюдяных и пластиковых детекторах с сечениями порядка 10 мб и временами жизни в области наносекунд. Петером был найден спонтанно делящийся изомер с периодом полураспада 3 нсек в реакции  $^{159}\text{Tb} + ^{14}\text{N}$ . При этом был использован пластиковый детектор.

Целью настоящей работы являлись поиски спонтанно делящихся изомерных состояний с наносекундными временами жизни в широкой области ядер как актинидных, так и более легких элементов. Для этого использовались тяжелые многозарядные ионы, ускоренные на трехметровом циклотроне Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Благодаря многообразию реакций, вызываемых тяжелыми ионами, в одном облучении можно получить десятки изотопов с различными массовыми числами. Это облегчает поиски нового явления, когда не ставится вопрос о точной идентификации изотопов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первой главе описывается экспериментальная методика.

Исходя из целей работы, мы выбрали методику времени пролета с использованием диэлектрических детекторов. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

Коллимированный пучок тяжелых ионов попадает на мишень, помещенную в специальную кассету, которая одновременно служит для отвода тепла. Выбитые ядра отдачи, пролетев некоторое расстояние, зависящее от времени жизни изомерного состояния и от скорости ядра отдачи, распадаются на два осколка, кольцевым

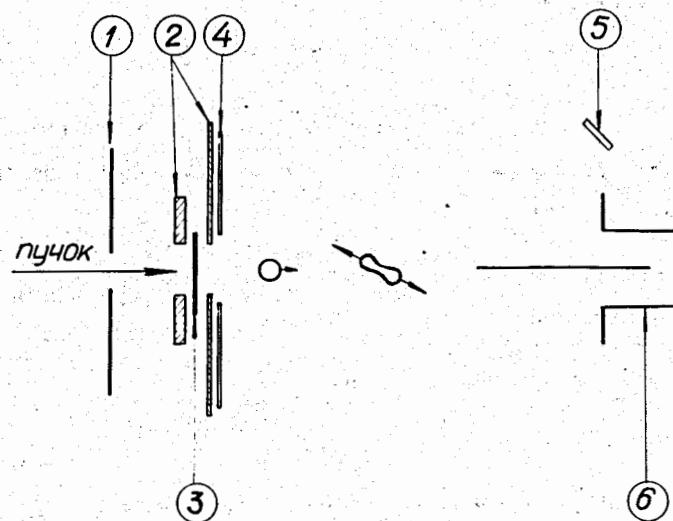


Рис. 2. Схема эксперимента. 1 - коллиматор, 2 - кассета для мишени, 3 - мишень, 4 - кольцевой детектор (следа) осколков запаздывающего деления, 5 - слюдяной детектор осколков мгновенного деления, 6 - коллектор ионного тока.

диэлектрическим детектором может быть зарегистрирован только один из осколков, который летит в заднюю полусферу. Взаимное расположение мишени и детектора было такое, что осколки мгновенного деления не попадали на детектор.

Эффективность регистрации экспериментальной установки достаточно велика (более 1%) для изомеров с периодами полураспада от 0,2 до 100 нсек. Падение эффективности при больших периодах полураспада изомерных ядер можно компенсировать, поставив сборник ядер отдачи.

Возможные источники фона в наших экспериментах определяются:

- 1) содержанием урана в детекторе,
- 2) рассеянными ионами и продуктами ядерных реакций.

В качестве детектора мы использовали слюду-мусковит с содержанием урана  $10^{-8}$  г/г.

В месте расположения детектора всегда существует нейтронный фон, обусловленный мгновенным делением ядер мишени, реакциями взаимодействия пучка со стенками камеры. Количество треков "индуцированного" деления примесей урана в слюде определяет нижнюю границу сечений, измеримых в нашем эксперименте. Фоновые опыты, проведенные на нейтронном генераторе НГ-200, показали, что число треков индуцированного деления соответствует сечению  $< 10^{-34}$ .

Для устранения фона от рассеянных ионов и продуктов ядерных реакций необходимо было подобрать диэлектрический детектор для данных экспериментов, а также провести некоторые методические разработки.

Во второй главе обоснована необходимость использования слюдяных детекторов в наших экспериментах, описаны методические разработки, связанные с дискриминацией на слюде следов осколков деления от ионов  $Az$ ,  $Ca$ ,  $V$  [7,8].

Диэлектрический детектор характеризует величина  $(dE/dx)_{\text{крит.}}$  [9], область регистрации детектора лежит выше этого значения. Для слюды  $(dE/dx)_{\text{крит.}} = 13 \text{ Мэв/мг/см}^2$ . Заряженные частицы, начиная от ионов  $Az$  и с большей массой, оставляют на слюде протяженные следы. Применение более низкочувствительных детекторов, таких как топаз, диопсид, эгирин и др. [10] ограничено наличием дислокаций и малыми площадями отдельных образцов.

Исследовались две возможности устранения фона от ионов  $Az$ ,  $Ca$ ,  $V$  - слабое травление и избирательный отжиг. Слабое травление не дает видимых результатов.

Избирательный отжиг при температуре  $(410 \pm 10)^\circ\text{C}$  в течение 6-8 часов полностью исключает фон от следов ионов  $^{40}Az$ , при этом следы ионов  $Ca$  и  $V$  имеют форму пирамидальных углублений длиной меньше 1,0 - 1,5 мк, в то время как осколки деления характеризуются широким распределением длин треков от 4 мк до 9 мк с максимумом в области 7,5 мк.

Отжиг в описанных условиях снижает порог чувствительности слюды до  $Z \geq 23$ . Этим методом можно полностью исключить фон, обусловленный ионами  $Az$  энергией 300 Мэв, плотностью до  $10^{10}/\text{см}^2$ .

Поскольку предполагались поиски спонтанно делящихся изомеров в широкой области масс и энергий составных ядер, чтобы оценить пробеги, нами были проведены калибровочные опыты с осколками мгновенного деления. Пучок ионов  $^{16}O$  с энергией 137 Мэв попадал на мишень  $Ba$  или  $Au$  толщиной  $200 \text{ мкг/см}^2$ , расположенную под углом  $45^\circ$  к пучку. Осколки мгновенного деления регистрировались слюдяными детекторами, расположенными под углами от  $90^\circ$  до  $180^\circ$

к пучку с интервалом  $15^\circ$ , в геометрии опытов по поискам спонтанно делящихся изомеров. Были измерены распределения по длинам треков осколков деления, летящих с разной энергией для обеих мишеней. Энергия осколков деления в лабораторной системе координат была рассчитана по кинематике реакции

$$E_{fL} = E_{fc} + \frac{A_f \cdot A_B}{A_c^2} E_B - 2 \cos \theta_c \sqrt{\frac{A_f \cdot A_B}{A_c^2} E_B \cdot E_{fc}}$$

$E_{fL}$  - энергия осколка в лабораторной системе координат,

$E_{fc}$  - энергия осколка в системе центра масс,

$E_B$  - энергия бомбардирующей частицы,

$A_f$  - масса осколка,

$A_c$  - масса компаунд-ядра,

$A_B$  - масса бомбардирующей частицы,

$\theta_c$  - угол вылета осколка относительно пучка в с.ц.м.

Оказалось, что даже самые низкоэнергетичные осколки деления в реакции  $^{137}\text{Ba} + ^{16}\text{O}$ ,  $E_{\text{оск}} = 20$  Мэв имеют широкое распределение длин треков, от 1,5 мк до 4,5 мк с максимумом при трех микронах. Осколки деления в реакции  $^{197}\text{Au} + ^{16}\text{O}$  имеют пробеги в диапазоне от 2 до 14 мк.

В третьей главе описаны опыты по поиску спонтанно делящихся изомеров с наносекундными временами жизни в реакциях с тяжелыми ионами для ядер актинидной области и нейтронодефицитных редких земель /II/.

Тяжелые мишени  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$  облучались ионами  $^{11}\text{B}$ ,  $^{12}\text{C}$  и  $^{16}\text{O}$ . Во всех реакциях наблюдался выход осколков запаздывающего деления. Для каждой комбинации мишень + тяжелый ион треки, зарегистрированные на поверхности детектора, обмерялись, т.е. измерялась длина пробега, направление трека и его положение

относительно пучка. Зная перечисленные характеристики трека, путем геометрического построения можно определить точку развала составного ядра, место возникновения осколка. При этом реальная ширина пучка ионов не учитывалась. Определив, таким образом, расстояние, которое пролетало ядро отдачи от мишени до распада, строим зависимость числа осколков запаздывающего деления от пролетного расстояния, затем, учтя скорость ядра отдачи и эффективность регистрации нашей методики, получаем кривую распада, из которой вычисляем период полураспада. Все данные по взаимодействию тяжелый ион + тяжелая мишень представлены в таблице I.

Для некоторых сочетаний мишень + тяжелый ион наблюдаются два периода полураспада. Например, для реакции  $^{238}\text{U} + ^{12}\text{C}$  при энергии ионов  $^{12}\text{C}$  84 Мэв наблюдается изомер с периодами 20 нсек и 2 нсек. Период полураспада  $\sim 20$  нсек относится, вероятно, к известному изомеру  $^{243}\text{Cm}/12/$ , идентифицированному с  $T_{1/2} = 38$  нсек, а изомер с  $T_{1/2} \sim 2$  нсек можно отнести к  $^{240}\text{Pu}/13/$ , имеющему  $T_{1/2} = 4$  нсек. Спонтанно делящиеся изомеры, наблюдаемые в других реакциях с тяжелыми мишенями, принадлежат, по-видимому, к изомерам U - Вк. Идентификация этих изомеров в реакциях с тяжелыми ионами затруднительна из-за многообразия продуктов реакции и поэтому будет проведена в реакциях с легкими частицами.

Опыты в области редкоземельных ядер были проведены с многоизотопными мишенями. Мишени из элементов с четным  $Z$  от  $\text{Te}$  до  $\text{Pt}$  облучались ионами  $^{16}\text{O}$  с энергией 137 Мэв и  $^{11}\text{B}$  с энергией 89 Мэв.

При облучении всех мишеней оказалось, что на поверхности слюдяных детекторов наблюдается большое число треков, по диаметру близких к тем, которые оставляют осколки деления урана, но имеющих значительно меньший пробег, (не превышающий 1 мк).

Таблица I.

Реакция	Энергия обombардирующей частицы E (Мэв)	Период полураспада $Sf$ -изомера $T_{I/2}$ (нсек)	Сечение образования изомера $\sigma$ (см <sup>2</sup> )
$^{232}\text{Th} + ^{16}\text{O}$	137	~ 0,2	$1,3 \cdot 10^{-33}$
$^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$	137	~ 1 ~ 20	$2,1 \cdot 10^{-32}$ $2,4 \cdot 10^{-32}$
$^{232}\text{Th} + ^{12}\text{C}$	84	~ 0,2 ~ 20	$1,4 \cdot 10^{-31}$ $2,5 \cdot 10^{-33}$
$^{238}\text{U} + ^{12}\text{C}$	84	~ 1 ~ 20	$1,1 \cdot 10^{-31}$ $1,2 \cdot 10^{-31}$
$^{232}\text{Th} + ^{12}\text{C}$	70	~ 0,2 ~ 20	$5 \cdot 10^{-32}$ $10^{-33}$
$^{238}\text{U} + ^{12}\text{C}$	70	~ 20	$1,1 \cdot 10^{-31}$
$^{238}\text{U} + ^{11}\text{B}$	89	~ 2,5 ~ 10	$0,9 \cdot 10^{-31}$ $1 \cdot 10^{-31}$

Была определена плотность распределения треков и их расположение на поверхности детектора, оценены углы погружения по наклону стенок трека, определено преимущественное направление треков относительно пучка. Эти треки исчезали, когда детектор закрывался  $Al$ -фольгой толщиной 5 мк. Результаты такого анализа показали, что наблюдаемые треки летят под углом, близким к  $90^\circ$  к поверхности детектора, т.е. образуются на достаточно большом расстоянии от мишени, они низкоэнергетичны, но имеют большую ионизирующую способность. Треки с малым пробегом оставались, если мишень была закрыта тонкой алюминиевой фольгой, которая пропускала ионы и осколки деления и поглощала ядра отдачи. Тот же эффект был и при замене мишени алюминиевой фольгой, которая заведомо не могла давать ни осколков деления, ни спонтанно делящихся изомеров. В то же время треки исчезали, если в 4-5 см от мишени помещался экран из полиэтиленовой пленки толщиной 20 мк с узким отверстием (диаметром 1 см) для прохождения пучка. Из этих опытов следует, что причиной появления треков с малым пробегом являются, по-видимому, рассеянные на задней стенке камеры ядра отдачи или продукты прямых реакций.

Отсутствие на детекторах треков, вызываемых осколками деления, позволяет сказать, что спонтанно делящиеся изомеры с периодом полураспада  $\gg 0,2$  нсек в ядрах от  $Nd$  до  $Au$ , либо не существуют, либо сечение образования изомерных состояний в рассматриваемых реакциях менее  $10^{-34}$  -  $10^{-33}$ .

В таблице II перечислены изученные нами реакции: легкая мишень + тяжелый ион.



Таблица П.

Реакции	Энергия бомбардирующей частицы E (МэВ)	Максимальное сечение образования $\sigma_f$ изомера ( $\text{см}^2$ )	Предполагаемое ядро
$^{52}\text{Te} + ^{16}\text{O}$	137	$< 10^{-33}$	$^{60}\text{Nd}$
$^{56}\text{Ba} + ^{16}\text{O}$	137	$< 10^{-33}$	$^{64}\text{Gd}$
$^{58}\text{Ce} + ^{16}\text{O}$	137	$< 0,5 \cdot 10^{-33}$	$^{66}\text{Dy}$
$^{60}\text{Nd} + ^{16}\text{O}$	137	$< 0,5 \cdot 10^{-33}$	$^{68}\text{Er}$
$^{60}\text{Nd} + ^{11}\text{B}$	89	$< 5 \cdot 10^{-34}$	$^{65}\text{Tb}$
$^{62}\text{Sm} + ^{16}\text{O}$	137	$< 0,5 \cdot 10^{-33}$	$^{70}\text{Yb}$
$^{64}\text{Gd} + ^{16}\text{O}$	137	$< 0,5 \cdot 10^{-33}$	$^{72}\text{Hf}$
$^{66}\text{Dy} + ^{16}\text{O}$	137	$< 0,5 \cdot 10^{-33}$	$^{74}\text{W}$
$^{68}\text{Er} + ^{16}\text{O}$	137	$< 0,5 \cdot 10^{-33}$	$^{76}\text{Os}$
$^{68}\text{Er} + ^{40}\text{Ar}$	220	$< 10^{-32}$	$^{86}\text{Rn}$
$^{70}\text{Yb} + ^{16}\text{O}$	137	$< 0,5 \cdot 10^{-33}$	$^{78}\text{Pt}$
$^{72}\text{Hf} + ^{16}\text{O}$	137	$< 0,5 \cdot 10^{-33}$	$^{80}\text{Hg}$
$^{74}\text{W} + ^{16}\text{O}$	137	$< 0,5 \cdot 10^{-33}$	$^{82}\text{Pb}$
$^{74}\text{W} + ^{11}\text{B}$	89	$< 5 \cdot 10^{-34}$	$^{79}\text{Au}$
$^{78}\text{Pt} + ^{16}\text{O}$	137	$< 2 \cdot 10^{-33}$	$^{86}\text{Rn}$
$^{78}\text{Pt} + ^{11}\text{B}$	89	$< 10^{-33}$	$^{83}\text{Bi}$
$^{79}\text{Au} + ^{11}\text{B}$	89	$< 10^{-33}$	$^{84}\text{Po}$

В четвертой главе произведена оценка энергии изомерного уровня в рамках модели двугорбого барьера, на основе значений изомерного отношения  $\sigma_i/\sigma_g$ , полученных в данной работе.

Выше отмечалось, что сечение образования спонтанно делившихся изомеров при облучении мишени из  $Tl$  ионами  $^{16}\text{O}$  и  $^{12}\text{C}$   $\sim 10^{-33}$  и  $\sim 10^{-32}$  соответственно, на порядок меньше сечения для урановой мишени. Это, вероятно, объясняется тем, что в первом случае образуется более нейтронодефицитное ядро с меньшим значением  $\Gamma_n/\Gamma_f$ .

При облучении  $^{238}\text{U}$  ионами  $^{16}\text{O}$ ,  $\text{C}^{12}$ ,  $\text{B}^{11}$  в основном имеют место реакции типа  $(HJ, xn)$ ,  $(HJ, \alpha xn)$  с сечениями  $(10^{-28} - 10^{-27})\text{см}^2$  /14/. При таком предположении получаем значение изомерных отношений в пределах  $(10^{-3} - 10^{-4})$ . Это обычная величина изомерных отношений, характерная для реакций с легкими частицами  $(p, n)$ , идущих через составное ядро. Можно предполагать, что изомерные отношения для  $Tl$ -мишени не выйдут за пределы этих значений.

Сечения образования изомера в реакциях легкая мишень + тяжелый ион меньше  $10^{-33}\text{см}^2$ , в этом случае также в основном имеют место реакции  $(HJ, xn)$  и  $(HJ, \alpha xn)$  с сечениями  $(10^{-27} - 10^{-26})\text{см}^2$  /15/. При образовании ядер в области  $Rn$ - $\text{Po}$ , вероятно, следует ожидать реакций типа  $(HJ, xn)$  с сечениями в тех же пределах. Значения изомерных отношений оказываются меньше  $(10^{-6} - 10^{-7})$ .

Из модели двугорбого барьера следует, что отношение сечения образования ядра в изомерном состоянии к сечению образования в основном состоянии определяется плотностью конечных состояний в минимумах, вычисленной при некоторой энергии:

$$\frac{\sigma_i}{\sigma_g} \approx \frac{p_{II}}{p_I} = e^{2\sqrt{a}(\sqrt{E_{II}} - \sqrt{E_I})}$$

параметр плотности уровней принимаем один и тот же для обоих минимумов и равен он  $\frac{A}{10}$ .

Рассчитываем это отношение для энергии, близкой к первому барьеру. Для актинидной области высота первого барьера (5,5-6)Мэв, отсюда получаем энергию изомерного уровня  $E_i = (3-3,5)$ Мэв. Это значение хорошо согласуется с экспериментальным значением энергии изомерного уровня для некоторых ядер актинидной области.

Нейтрондефицитные ядра  $Rn-Po$  имеют барьер деления 10-15 Мэв, соответственно получаем:  $E_i > (4-6)$ Мэв.

Область редкоземельных ядер характеризуется наиболее высоким барьером деления (20-30)Мэв,  $E_i$  для них  $> (8-10)$ Мэв.

Из оценок энергии изомерного уровня следует, что второй минимум в легких ядрах расположен выше первого больше чем на 5 Мэв. Если второй минимум мелкий, то вероятность образования изомеров формы мала. При достаточно глубоком втором минимуме возникает большая вероятность снятия возбуждения во второй яме посредством проникновения через внутренний барьер, более низкий в данном случае, с последующим  $\gamma$ -распадом в основное состояние, а ветвь спонтанного деления в сечении при этом будет незначительна, кажущееся сечение образования изомера формы мало.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ, которые можно сделать из данной работы, сводятся к следующему:

1. Разработана методика времени пролета, позволяющая наблюдать спонтанно делящиеся изомеры с  $T_{1/2} \gg 0,2$  нсек и  $b \gg 10^{-34}$  см<sup>2</sup>.

2. Разработаны режимы обработки диэлектрических детекторов, позволяющие дискриминировать осколки деления от рассеянных ионов с  $Z \approx 23$ .

3. В реакциях с тяжелыми ионами получены спонтанно делящиеся изомеры в изотопах  $U, Pu, Cm, Bc$ , измерены сечения их образования.

4. Показано отсутствие спонтанно делящихся изомеров в ядрах с  $Z < 92$ .

5. Проведено обсуждение полученных результатов на основе модели двугорбого барьера.

Диссертация написана по материалам опубликованных работ /8,9,10,11/. Отдельные результаты докладывались на VI Международной конференции по ядерной фотографии (Флоренция, 1966г.), на I Международной конференции по трековым детекторам (Клермонт-Ферранд, Франция, 1969г.) и на Международной конференции по физике тяжелых ионов (Дубна, 1971г.).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. С.М.Поликанов, В.А.Друин, В.А.Карнаухов, В.Л.Михеев, А.А.Плеве, Н.К.Скобелев, В.Г.Субботин, Г.М.Тер-Акопян, В.Л.Фомичев. ЖЭТФ, 42, 1464 (1962).
2. V.M.Strutinsky, Nucl.Phys. A95, 420 (1967).  
V.M.Strutinsky, Nucl.Phys. A122, 1 (1969).
3. Chin Fu Tsang and S.G.Nilsson, Nucl.Phys. A140, 275 (1970).
4. В.В.Пашкевич. Препринт ОИЯИ, Р4-4383, Дубна, 1969г.
5. F.H.Ruddy and J.M.Alexander, Phys.Rev. 187, 1672 (1969).
6. J.Peter, Phys.Lett. 31B, 124 (1970).
7. A.Kapuscik, V.P.Perelygin, S.P.Tretiakova and N.H.Shadieva, in Proc. Vth Jnt. Conf. on corpuscular photography, Florence, July 19-23, 1966 (CEPY, Roma, 1966) P.458.
8. V.P.Perelygin, S.P.Tretiakova, N.H.Shadieva and E.Cieslak, in Proc. Jnt. Conf. on nuclear track registration in insulating solids. Clermont-Ferrand, France, May 6-9, 1969.
9. R.Fleischer, P.Price, Ann.Rev.Nucl.Sci. 15, 1 (1965).
10. В.П.Перельгин, Н.Х.Шадиева. ПТЭ № 4, 1969.

11. Г.Н.Флеров, Д.П.Гангрский, Б.Н.Марков, Нгуен Конг Кхань,  
Д.Д.Пулатов, Н.Х.Шадиева. Препринт ОИЯИ, P7-5018, Дубна 1970г.
12. S.M.Polikanov and G.Sletten, Nucl.Phys. A151,656 (1970).
13. N.L.Lark, G.Sletten, J.Pedersen and S.Björnholm, Nucl.Phys. A139,  
481 (1969).
14. T.Sikkeland, S.G.Thompson and A.Chiorso, Phys.Rev. 112,543  
(1958)  
Э.Хайд, И.Перлман, Г.Сиборг "Ядерные свойства тяжелых элементов",  
Атомиздат 1968г.
- 15; R.D.Macfarlane, Phys.Rev. 136, B941 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел

1 марта 1971 года.