

Г-948

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

15-94-527

На правах рукописи

ГУНДОРИН  
Николай Алексеевич

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЛЕНИЯ  $^{239}\text{Pu}$  РЕЗОНАНСНЫМИ  
НЕЙТРОНАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА  
ГАММА-СПЕКТРОСКОПИИ ОСКОЛКОВ

Специальность: 01.04.16 — физика атомного ядра и эле-  
ментарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1994

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им И.М.Франка Объединенного института ядерных исследований, Дубна.

Научный руководитель :  
доктор физико - математических наук  
профессор

Пикельнер Л.Б.

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

Гангрский Ю.П.

Говердовский А.А.

Ведущая организация: Петербургский институт ядерной физики, Гатчина.

Защита диссертации состоится " " 1995 г. в часов на заседании специализированного совета Д 047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики им И.М.Франка и Лаборатории ядерных реакций им Г.Н.Флерова Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1995 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

Таран Ю.В.

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. На протяжении более 50-ти лет исследования физики деления проводятся в различных лабораториях с использованием разнообразных возможностей его инициирования. Наряду со спонтанно делящимися источниками, для инициирования деления применяются нейтроны, заряженные частицы,  $\gamma$ -кванты, тяжелые ионы. Такое разнообразие позволяет изучать деление в широкой области масс ядер, энергий возбуждения и вносимых в ядро моментов количества движения. Обилие накопленных экспериментальных данных о массовом, зарядовом и энергетическом распределении осколков, угловой анизотропии их вылета, четно-нечетных эффектах, о нейтронах и гамма - квантах, излучаемых при делении, тем не менее, остается недостаточным для построения единой теории этого сложного процесса. Нерешенными остаются проблемы описания массового и зарядового распределения осколков. Характер этих распределений определяется динамикой спуска делящегося ядра с седловой точки к точке разрыва. Она обусловлена рельефом энергетической поверхности, вязкостью коллективного движения ядерной материи, конфигурацией предразрывных форм, флуктуациями коллективных переменных и рядом других факторов, обилие которых не позволяет объяснить массово - энергетические распределения в рамках традиционной статистической и динамической моделей [1]. Некоторый прогресс, достигнутый в рамках диффузионной модели, основанной на многомерном уравнении Фоккера - Планка [2], проблемы не решил. Для получения информации о динамике деления требуется детальное и систематическое сравнение предсказаний этой модели с результатами экспериментов.

В настоящее время продолжается накопление экспериментальной информации об энергии и множественности нейтронов и  $\gamma$ -квантов, излучаемых при делении до и после точки разрыва, анализ реального числа каналов и мод деления для различных компаунд - ядер, наблюдения изомеров формы образующихся фрагментов и поиск корреляций

между квантово - механическими характеристиками делящегося компаунда - ядра и параметрами массово - энергетического распределения осколков.

Исследование спектра гамма - излучения, сопутствующего делению, наряду с данными о массовом и зарядовом распределении осколков позволяет получать информацию об их ядерной структуре и нейтронах деления [3]. Значительная "светосила" этого метода, обусловленная возможностью применения массивных мишеней, содержащих граммные количества вещества, использовалась в исследованиях деления  $^{235}\text{U}$  резонансными нейтронами на импульсном источнике ИБР - 30 в Дубне. Полученные в этих исследованиях результаты измерений независимого выхода осколков деления [4] и данные о массовом распределении из работы [5] свидетельствуют о существовании особенностей деления из резонансных компаундов - состояний  $^{236}\text{U}$ . Особенности асимметрии массового распределения, характеризуемой отношением  $P/V$  выходов  $^{99}\text{Mo}$  и  $^{115}\text{Cd}$  в максимуме и минимуме этого распределения, наблюдались в работах [6, 7] при делении резонансными нейтронами ядер  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ . Для плутония величина этого отношения особенно сильно флюктуировала от резонанса к резонансу и отличалась от значения для деления на тепловых нейтронах в 2 - 3 раза. Эти экспериментальные данные явились катализатором интереса к изучению деления  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами.

#### Основная цель работы

- Создание экспериментального оборудования и развитие методики исследования спектра мгновенного гамма - излучения, сопутствующего делению  $^{239}\text{Pu}$  на пучке резонансных нейтронов реактора ИБР-30.

- Определение интегральных характеристик спектра : множественности и полной энергии гамма - излучения.

- Проведение прецизионных измерений гамма - спектра, определение абсолютной интенсивности выделенных гамма - линий, соответствующих разрядке возбужденных состояний осколков деления, с целью их идентификации и определения независимого выхода.

- Анализ накопленных экспериментальных данных для извлечения сведений об особенностях деления  $^{239}\text{Pu}$  из изолированных компаундов - состояний и оценки динамических характеристик деления.

#### Научная новизна

Создана уникальная камера деления, содержащая 1.6г изотопа плутония - 239. На ее основе собран гамма - спектрометр и разработана методика многомерных измерений и анализа выхода продуктов деления  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами на пучке реактора ИБР-30.

Впервые проведено измерение спектра гамма - лучей с помощью германиевого детектора в совпадении с делением  $^{239}\text{Pu}$  в ионизационной камере для резонансных нейтронов.

В экспериментах, проведенных с использованием плутониевой камеры деления и гамма - спектрометра с  $\text{Ge(Li)}$  детектором на пучке импульсного реактора ИБР-30, впервые получены значения интегральных параметров гамма - излучения при делении  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами: средней множественности, полной и средней энергии. Получены данные о множественности  $\gamma$ -квантов для резонансов  $0^+$  и  $1^+$ .

На основе прецизионного анализа гамма - спектра определен независимый выход четно - четных осколков, найдено значение отношения интенсивностей переходов ротационной полосы  $6^+ - 4^+ : 4^+ - 2^+ : 2^+ - 0^+$  для них и оценена средняя величина углового момента образующихся осколков, а также, измерены временные характеристики задержанного гамма - излучения для долгоживущих изомерных состояний осколков:  $^{134}\text{Te}$ ,  $^{97}\text{Zr}$ ,  $^{137}\text{Xe}$ ,  $^{95}\text{Sr}$ .

По данным о независимом выходе идентифицированных осколков построено изобарическое распределение и определена дисперсия заряда осколков, сделана оценка ряда динамических характеристик компаундов - ядра вблизи точки разрыва.

Практическая ценность работы. Многосекционная ионизационная камера деления с плутонием - 239, являясь одним из основных элементов гамма - спектрометра осколков, может быть использована для уточнения нейтронных констант  $^{239}\text{Pu}$ . Высокая эффективность регистрации осколков дает возможность исследовать резонансное самоэкранирование и Доплер - эффект в сечении деления и измерять характеристики резонансной структуры сечений в области энергий (10 - 100)кэВ.

Полученные в работе данные о множественности и полной энергии мгновенных гамма - квантов деления могут быть использованы при

расчетах и оптимализации ядерных установок.

Разработанная методика и аппаратура позволяют при проведении  $\gamma$  - спектроскопии осколков совместно с измерением их выхода на установках типа "Cosy Fan Tutte" или "Twin Ionisation Chamber" получать новые спектроскопические данные для ядер - осколков деления.

Экспериментальные данные о параметрах процесса деления в отдельных резонансах содержат информацию о его квантовой природе и могут быть полезными для углубления теоретических представлений.

В работе предложен и апробирован путь усовершенствования гамма - спектрометра для повышения точности анализа и расширения круга идентифицируемых фрагментов.

На защиту выносятся следующие основные положения и результаты.

1. Разработана методика многомерных измерений и анализа выхода продуктов деления  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами на пучке реактора ИБР-30, позволяющая определять характеристики сопутствующего гамма - излучения и независимый выход осколков как в индивидуальных резонансах, так и для широкого интервала энергий нейтронов.

2. Создана уникальная многосекционная камера деления, содержащая 1.6 грамма изотопа плутония - 239 с обогащением 99.9%, с рабочим газом - изобутаном при давлении 20 Торр. Временное разрежение камеры составляет 2.6нс. Использование комбинированного отбора импульсов по амплитуде и длительности, приводит к существенному подавлению эффекта наложений от альфа - частиц и позволяет добиться эффективности регистрации осколков  $60 \pm 8\%$ . Интенсивность счета камеры, установленной на пролетной базе 57м ИБР-30, превышает  $10^3\text{с}^{-1}$ , что делает возможным анализ гамма - спектра в индивидуальных резонансах.

3. В измерениях на пучке ИБР-30 впервые определены множественность и полная энергия гамма - квантов деления  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами. Получены данные о времени жизни возбужденных состояний  $^{95}\text{Sr}$ ,  $^{97}\text{Zr}$ ,  $^{134}\text{Te}$ ,  $^{137}\text{Xe}$ , характеризующие ядерную структуру образующихся осколков.

4. Измерены интенсивности 40 гамма - переходов, сопутствующих делению, идентифицированы 13 легких и 14 тяжелых осколков. Для четно - четных осколков вычислено соотношение заселенности уро-

вней ротационной полосы возбуждений, определен независимый выход этих осколков.

Из анализа изобарического распределения полученных интегральных выходов осколков оцениваются некоторые динамические характеристики предразрывной фазы деления ядра.

5. Для индивидуальных резонансов наблюдается качественная зависимость средневзвешенного относительного значения независимого выхода осколков от делительной ширины резонанса. Сопоставленная с литературными данными, эта зависимость увязывается с существованием  $(n, \gamma f)$  - процесса.

6. Исходя из необходимости повышения точности измерений апробирована возможность подавления комптоновской подложки спектра с использованием "активной защиты" гамма - детектора и подтверждена эффективность такого пути развития метода гамма - спектроскопии осколков на пучке нейтронов реактора ИБР-30.

Апробация работы и публикации. Апробация результатов проведения на Международном рабочем совещании "Динамические аспекты деления ядра" (Смоленце, 1991), на Международном симпозиуме "Возбужденные состояния ядер" (Лодзь, 1992), на 2-й Международной конференции "Динамические аспекты деления ядра" (Смоленце, 1993), на XII Совещании по физике деления ядер (Обнинск, 1993), на Международной конференции "Ядерные данные для науки и техники" (Гатлинбург, 1994)

Основные материалы диссертации опубликованы в 7 печатных работах, приведенных в конце автореферата.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Работа содержит 125 страниц машинописного текста, включая 38 рисунков, 19 таблиц и список литературы из 95 позиций.

## 2. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении определена актуальность и значимость изучаемых в работе проблем. Приводится краткое изложение основного содержания проведенных исследований и полученных результатов.



В первой главе описывается принципиальная основа метода, приводятся характерные параметры разрядки возбужденных состояний чётно - чётных легких и тяжелых осколков по литературным данным. Дается характеристика нейтронного спектрометра по времени пролета на реакторе ИБР - 30.

При описании гамма - спектрометра осколков описываются конструктивные особенности одного из основных его элементов - камеры деления, содержащей 1.6 г изотопа плутония - 239. Трудности при работе со значительным количеством изотопа  $^{239}\text{Pu}$  связаны с его высокой альфа - активностью. Период полураспада для него составляет  $2.4 \cdot 10^4$  лет. Если в камере содержится 1г этого элемента, то в рабочий объем ее попадает около  $2.3 \cdot 10^9$  альфа - частиц в секунду. Благодаря разбиению камеры на секции, содержащие не более 100мг плутония и имеющие емкость менее 100пф, использованию быстрых предусилителей и усилителей - формирователей, а также применению комбинированного отбора импульсов по амплитуде и длительности, удалось в значительной мере подавить фон, связанный с наложением импульсов от альфа - частиц и добиться эффективности регистрации осколков около 60% . При этом, временное разрешение камеры составляет 2.6 нс.

Описывается регистрирующая аппаратура и программное обеспечение эксперимента. Многопараметрическая измерительная система и сортировка экспериментальных данных в режиме off - line с построением матрицы позволяет значительно уплотнить информацию и сократить длительность обработки экспериментальных данных.

Для энергетической калибровки спектрометра и определения его абсолютной эффективности применялся подход, сочетающий экспериментальный и аналитический методы. Экспериментальные значения эффективности регистрации для отдельных значений энергии гамма - квантов определялись в реальной геометрии спектрометра при измерении спектров калибровочных гамма - источников ОСГИ и многоперных источников.

Отмечается сочетание принципиальной простоты метода гамма - спектрометрии осколков с техническими трудностями при его практическом применении. Обсуждаются особенности прецизионного из-

мерения спектра гамма - квантов на пучке нейтронов, необходимость оптимизации геометрии спектрометра, целесообразность увеличения числа параметров при проведении измерений и использования гамма - излучения естественной радиоактивности  $^{239}\text{Pu}$  для контроля за параметрами спектрометра и коррекции результатов. Особо отмечается необходимость улучшения качества спектра путем подавления комптоновской подложки и экспериментально проверяется возможность использования для этой цели "активной защиты" гамма - детектора.

Во второй главе представлено описание экспериментов по определению независимого выхода осколков деления  $^{239}\text{Pu}$  тепловыми нейтронами, проведенных с целью сравнения получаемых с помощью гамма - спектроскопии результатов с литературными данными и апробации, тем самым, работоспособности используемой аппаратуры и алгоритмов обработки экспериментальных данных.

В работе продемонстрировано три варианта формирования пучка тепловых нейтронов, позволяющие использовать как импульсный реактор ИБР-30, так и изотопный источник спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$ . Проведено сравнение интегральных счетных характеристик спектрометра и качества получаемого спектра, отмечена предпочтительность измерений на рециклических нейтронах реактора с использованием кадмиевой разницы.

Делается сравнение средневзвешенных величин измеренных выходов осколков для всех трех вариантов с рекомендованными значениями. Близкая к единице величина среднеквадратичного отклонения  $\chi^2/n$  свидетельствует об отсутствии систематической ошибки экспериментальных результатов и подтверждает возможность применения метода гамма - спектроскопии для измерения независимого выхода осколков, работоспособность используемой аппаратуры и правильность выбора алгоритмов обработки экспериментальных данных.

Третья глава посвящена определению интегральных характеристик мгновенного гамма - излучения: множественности, полной и средней энергии гамма - квантов, сопутствующих делению  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами. Приводится описание эксперимента, в ходе которого было зарегистрировано  $5 \cdot 10^8$  делений, число гамма - квантов в совпадении с делением составило  $4 \cdot 10^6$ , а полный объем зарегистрированной спек-

тросметром трехмерной информации - около 10Мб.

Полученные в результате эксперимента гистограммы множественности для двух групп резонансов  $1^+$  и  $0^+$  не позволяют говорить об их различии, превышающем погрешность измерений 8-10%.

Полные значения множественности гамма-кантов и их средней энергии, измеренные в эксперименте для интервала от 100кэВ до 1.8МэВ, составили соответственно

$$\bar{N}_\gamma^{tot} = (6.1 \pm 0.2)\gamma/\text{деление} \quad \bar{E}_\gamma^{tot} = (4.3 \pm 0.3)\text{МэВ}/\text{деление}$$

После экстраполяции измеренного спектра с использованием результатов работы [8] в интервале энергии гамма - квантов от 1.8 до 10МэВ для деления на тепловых нейтронах вычислены интегральные характеристики в интервале энергии от 0.1 до 10МэВ:

$$\bar{N}_\gamma^{tot} = (7.0 \pm 0.6)\gamma/\text{деление} \quad \bar{E}_\gamma^{tot} = (6.8 \pm 0.5)\text{МэВ}/\text{деление}$$

$$\bar{\epsilon}_\gamma = (1.0 \pm 0.2)\text{МэВ}/\gamma$$

Эти результаты согласуются с данными работы [9], демонстрирующими зависимость параметров гамма - излучения от массового числа делящегося компаунд - ядра.

Спектрометрия высокого разрешения гамма - излучения из осколков деления дает возможность наряду с определением интегральных характеристик получать уникальные данные о структуре образующихся ядер. Временное разрешение используемой системы регистрации (камера деления - Ge(Li) детектор) составляет 14нс, что позволяет наблюдать изомеры с временем жизни, близким к этой величине и более долгоживущие. Из полученных в работе данных о периоде полураспада ряда возбужденных состояний  $^{134}\text{Te}$ ,  $^{97}\text{Zr}$ ,  $^{137}\text{Xe}$ ,  $^{95}\text{Sr}$  извлекаются сведения об изомерном состоянии этих ядер.

В четвертой главе приводятся экспериментальные результаты определения независимого выхода осколков деления  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами. После обработки гамма - спектра, полученного в ходе нескольких серий измерений на пучке нейтронов с суммарным числом зарегистрированных совпадений  $3.4 \times 10^7$  по всему интервалу энергии нейтронов, от 0.2 до 230эВ, были определены интенсивности 40 гамма

- переходов и идентифицированы 13 легких и 14 тяжелых осколков. На основе этих данных определен независимый выход осколков. Полученные из измерений значения интегральных выходов осколков для интервала энергий нейтронов от 0.2 до 230эВ сопоставляются с рекомендованными литературными данными для деления тепловыми нейтронами и, в большинстве своем, согласуются с ними.

Усредненное отношение интенсивностей переходов между уровнями возбуждения ротационной полосы  $6^+ - 4^+ : 4^+ - 2^+ : 2^+ - 0^+$  для четно - четных осколков, наблюдаемых в эксперименте, составило  $47 \pm 3 : 75 \pm 4 : 100$ .

Для понимания динамики деления чрезвычайно важно знание механизма распределения заряда между разделившимися осколками. За неимением детальной информации о таком распределении по каждой наблюдаемой массе для изучения этого механизма пользуются моделью неискаженного заряда при построении изобарического распределения наиболее вероятного заряда изотопической цепочки и определяют дисперсию этого распределения. Для построенного в работе изобарического распределения измеренных выходов четно - четных осколков величина дисперсии составила величину  $\sigma_z^2 = 0.36 \pm 0.03$ .

Представленные в работе экспериментальные значения выхода  $^{100}\text{Zr}$  и  $^{142}\text{Ba}$  для отдельных резонансов демонстрируют разброс в пределах экспериментальной точности измерений. Разброс данных об усредненном относительном выходе по 17 осколкам для резонансов в интервале энергий от 0.2 до 150эВ, в основном, не превышает величину экспериментальной погрешности и свидетельствует об отсутствии систематической ошибки при обработке результатов.

В главе пятой обсуждаются полученные в работе экспериментальные результаты. Исходя из сравнения экспериментальных значений выхода осколков деления резонансными нейтронами с рекомендованными литературными данными при делении на тепловых нейтронах, верхний предел различий определяется величиной 15 - 20% от их абсолютных величин.

Измеренные в работе интенсивности переходов, характеризующие заселенность нижних возбужденных уровней осколков оказываются близкими к литературным данным для деления  $^{235}\text{U}$  резонансными ней-

тронами и спонтанного деления  $^{248}\text{Cm}$  и  $^{252}\text{Cf}$ , несмотря на различия в угловом моменте и четности компаунд - состояния. Из статистической модели следует, что средняя величина углового момента осколков деления при такой заселенности нижних уровней составляет  $7.5\hbar$ . Независимость этой характеристики от спина делящегося компаунд - ядра представляется удивительной.

Временные характеристики задержанного гамма - излучения, измеренные в работе, используются для получения дополнительных сведений о структуре образующихся осколков. Проводится анализ приведенной вероятности возможных переходов, основанный на матричном представлении об одночастичных электромагнитных взаимодействиях. Для наиболее вероятного перехода делается предположение о его природе с учетом известных систематик спектроскопических данных для ядер средней массы.

Результаты такого анализа для ядер  $^{97}\text{Zr}$  и  $^{134}\text{Te}$  согласуются с известными схемами гамма - излучения продуктов  $\beta$ -распада [10].

Из полученных результатов для  $^{137}\text{Xe}$  следует, что испускание гамма - кванта с энергией 314кэВ происходит при разрядке изомерного состояния с периодом полураспада  $T_{1/2} = (10 \pm 1)\text{нс}$  путем смешанного E2 + M1 перехода между уровнями 1935кэВ и 1621кэВ, наблюдаемыми ранее в спонтанном делении  $^{252}\text{Cf}$  [11]. Это противоречит схеме распада, полученной в  $^{136}\text{Xe}(d,p)$  и  $^{136}\text{Xe}(n,\gamma)$  реакциях [10].

Для осколка  $^{95}\text{Sr}$  результат такого анализа не согласуется с известной схемой уровней этого ядра после  $\beta$ -распада  $^{95}\text{Rb}$  [10]. Из полученных данных следует, что изомерное состояние с периодом полураспада  $T_{1/2} = (22 \pm 7)\text{нс}$  соответствует уровню с энергией возбуждения 556кэВ, который распадается путем E2 перехода или смешанного E2 + M1 перехода на уровень с энергией 352кэВ. Этот результат согласуется с работой [12], в которой при спонтанном делении  $^{252}\text{Cf}$  в ядре осколка  $^{95}\text{Sr}$  наблюдался уровень 556кэВ с периодом полураспада  $T_{1/2} = (22 \pm 2)\text{нс}$ .

По величине дисперсии зарядового распределения с применением модельных представлений в работе оценивается коллективная температура ядра  $T_{coll} \approx 1.6\text{МэВ}$ , высокое значение которой говорит об отсутствии равновесия между внутренними и коллективными степенями

свободы вблизи точки разрыва.

Основываясь на предположении о квантово - механической природе дисперсии заряда и взаимосвязи ее с эффективным моментом инерции ядра, зависящим от формы предразрывной конфигурации, с учетом оценки длины шейки ядра  $d \approx 6.4\text{fm}$ , следующей из расчетов работы [13], и найденной величины дисперсии выхода осколков сделана оценка радиуса шейки  $c \approx 2.4\text{fm}$ .

Поскольку, при таких параметрах шейки характерная частота гармонического осциллятора, представляющего движение заряда в параболическом потенциале [14] составляет  $\omega_z \approx 3.9 \cdot 10^{21}\text{с}^{-1}$ , из предположения, что любые изменения в системе должны происходить быстрее длительности периода гармонических колебаний  $T_z$ , делается оценка верхней границы длительности спуска от седловой точки до точки разрыва:  $t_z \leq T_z \approx 1.6 \cdot 10^{-21}\text{с}$ . Эта величина согласуется с расчетными результатами работ [15, 16] :  $(1.7 - 12.9) \cdot 10^{-21}\text{с}$ .

Возможностью оценки динамических характеристик процесса деления объясняется интерес к изучению изобарического распределения при делении через изолированные компаунд - состояния для различных ядер.

Из анализа спектра гамма - излучения осколков деления в отдельных резонансах следует некоторое его "ужесточение" для резонансов с малой делительной шириной, которое может объясняться проявлением  $(n,\gamma f)$ -процесса. Наблюдается тенденция снижения величины средневзвешенного выхода осколков с уменьшением делительной ширины резонанса. Это сопоставляется с литературными данными об асимметрии массового распределения P/V и энергии гамма - излучения, предполагается их взаимосвязь с существованием  $(n,\gamma f)$  процесса.

В заключении приводятся основные результаты работы.

-Разработана методика многомерных измерений и анализа выхода продуктов деления  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами на пучке реактора ИБР-30, позволяющая определять характеристики сопутствующего гамма - излучения и независимый выход осколков как в индивидуальных резонансах, так и для широкого интервала энергий нейтронов.

-Создана быстрая многосекционная камера деления, содержащая 1.6 грамма изотопа плутония - 239, с эффективностью регистрации осколков  $60 \pm 8\%$  и временным разрешением 2.6нс.

-В экспериментах, проведенных с использованием плутониевой камеры и Ge(Li) детектора на пучке импульсного реактора ИБР-30, получены данные об интегральных параметрах гамма - излучения при делении  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами: средней множественности, полной и средней энергии, о спектре множественности для резонансов  $0^+$  и  $1^+$ .

-Прецизионный анализ гамма - спектра позволил идентифицировать 13 легких и 14 тяжелых осколков и наблюдать их ядерную структуру. Определено отношение интенсивностей переходов ротационной полосы  $6^+ - 4^+ : 4^+ - 2^+ : 2^+ - 0^+$  для четно - четных осколков и оценена средняя величина углового момента образующихся осколков. Измерены характеристики времени распада задержанного гамма - излучения для нескольких долгоживущих изомеров и проведен анализ природы наблюдаемых переходов.

-Проведенное сравнение измеренных в работе абсолютных значений независимого выхода осколков деления  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами с рекомендованными литературными данными для деления на тепловых нейтронах привело к оценке возможных вариаций, не превышающей 15 - 20%. Полученная зависимость среднезвешенных значений выхода осколков в отдельных резонансах от их делительной ширины рассмотрена в предположении существования ( $n, \gamma f$ )-процесса.

-По полученным данным о выходе идентифицированных осколков построено изобарическое распределение и сделана оценка некоторых динамических характеристик процесса деления.

-Рассмотрена возможность повышения точности измерений, проведены модельные эксперименты и показаны перспективы развития методики.

Часть представленных в работе результатов получена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований по гранту 94-02-05121.

#### Список публикаций с основными результатами диссертации:

1. Антонов С.А., Богдзель А.А., Гундорин Н.А., Дука - Зойоми А., Климан Я., Кржистек Д., Островной А.И., Островная Т.М., Попов А.Б., Пресперин В., Тишин В.Г., Ширикова Н.Ю., Методика многомерных

измерений и анализа выхода продуктов деления ядер резонансными нейтронами: Сообщение ОИЯИ. -Дубна, 1985. -13-85-701. -10С.

2. Bogdzel A.A., Gundorin N.A., Duka - Zölyomi À., Kliman J., Grigoriev Yu.V. Fast multilayer fission chamber with  $^{239}\text{Pu}$  // Nucl. Inst. Meth. -1993. -V.A343. -P.545-549.

3. Bogdzel A.A., Gundorin N.A., Gohs U., Duka - Zolyomi À., Kliman J., Polgorski V., Popov A.B., Dao Anh Minh Peculiarity of the fission of  $^{239}\text{Pu}$  by resonance neutrons // Nuclear Data for Science and Technology: Proc. of Int. Conference, Jülich, 1991. -Jülich, 1992. -P.150-152.

4. Гундорин Н.А. Применение гамма - спектроскопии осколков для изучения деления  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами: Сообщение ОИЯИ. -Дубна, 1994. -P15-94-53. -22С.

5. Гундорин Н.А. О подавлении комптоновской подложки при гамма - спектроскопии осколков деления на пучке нейтронов реактора ИБР-30: Сообщение ОИЯИ. -Дубна, 1994. -P15-94-54. -11С.

6. Гундорин Н.А. Возможность развития метода  $\gamma$  - спектроскопии фрагментов для изучения особенностей деления ядра  $^{239}\text{Pu}$  из резонансных компаунд состояний // Ядерная Физика. -1994. -Т.57. -N.7. -С.1215-1220.

7. Polhorský V., Kliman J., Křištiak J., Bogdzel A.A., Gundorin N.A., Popov A.B., Gohs U. Fission of  $^{239}\text{Pu}$  by resonance neutrons // Ядерная Физика. -1994 -Т.57. -N.7. -С.1198-1203.

## Литература

- [1] Oganessian Yu.Ts., Lazarev Yu.A. Heavy - ions and nuclear fission // Treatise on Heavy Ion Science / Ed. D.A. Bromley. - New York and London: Plenum Press, 1985. V.4. P.145-200.
- [2] Adeev G.D., Pashkevich V.V. Theory of macroscopic fission dynamics // Nucl. Phys. -1989. -V.A502. -p.405-421.
- [3] Kliman J., Polhorský V. et al. Study of  $^{252}\text{Cf}$  spontaneous fission  $\gamma$ -Rays with a 20 Ge detector ball at HHIRF // Dynamical Aspects



of Nuclear Fission: Proc. of the Second International Conference, Bratislava, 1993. - Dubna, 1994.-P.254-257.

- [4] Климан Я. Исследование выхода гамма-квантов из одиночных осколков деления при делении U-235 резонансными нейтронами: Диссертация канд. физ. - мат. наук. - Дубна 1988.
- [5] Hambsch F.-H., Knitter H.-H., Budtz-Jørgensen C., Theobald J.P. Fission mode fluctuation in the resonances of  $^{235}\text{U}(n,f)$  // Nucl. Phys. -1989. -A491. -P.56-90
- [6] Cowan G.A., Bayhurst B.P. and Prestwood R.G. Symmetry of neutron - induced  $^{235}\text{U}$  fission at individual resonances II // Phys. Rev. -1963. -V.130. -N.6. -P.2380-2383.
- [7] Cowan G.A., Bayhurst B.P., Prestwood R.G., Gilmore J.S. and Knobloch G.W. Symmetry of neutron - induced  $^{239}\text{Pu}$  fission at individual resonances III // Phys. Rev. -1970 -V.2. -N.2. -P.615-620.
- [8] Verbinski V.V., Weber H., Sund R.E. Prompt gamma - rays from  $^{235}\text{U}(n,f)$ ,  $^{239}\text{Pu}(n,f)$  and spontaneous fission of  $^{252}\text{Cf}$  // Phys. Rev. -1971. -V.C3. -N.1. -P.373-390.
- [9] Hoffman D.C., Hoffman M.M. Post fission phenomena // Ann. Rev. Nucl. Sci. -1974. -V.24. -P.151-207.
- [10] Lederer C.M., Shirley V.S. Table of Isotopes. - New York: Wiley-Intersci.Pub., 1978. -P.1523.
- [11] Clark R.G., Glendenin L.E., Talbert W.L. Nuclear Data Sheets for A=137 // Nuclear Data Sheets. -1990. -V.59. -N.4. -P.776.
- [12] Selic H.A., Cheifetz E., Wilhelmy J.B. Nuclear Data Sheets for A=95 // Nuclear Data Sheets. -1993. -V.68. -N.3. -P.653.
- [13] Brosa U., Grossmann S. and Müller A. Nuclear scission // Phys.Reports. -1990. -V.197. -p.167.
- [14] Berlinger M., Gobbi A., Hannape F., Lysen V., Ngo C., Olmi A., Sarm H., Stelzer H., Richel H., Rivet M.F. Study of fast mode in

deep inelastic reactions: quantal fluctuations // Zeitschr. für Phys. -1979. -V.A291. -N.2. -P.133-143.

- [15] Negele J. W., Koonin S. O., Moller P., Nix J. R. and Sierk A. J. Dynamics of induced fission // Phys. Rev. -1978. -C17. -P.1098-1115.
- [16] Nix J.R. and Sierk A.J. A new picture of dissipation in fission and heavy ion reaction: Preprint. -Los Alamos, 1986. -LA-UR-698. -15P.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 декабря 1994 года.