

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К 492

15-88-581

УДК 539.173.4

КЛИМАН Ян

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА ГАММА-КВАНТОВ
ИЗ ОДИНОЧНЫХ ОСКОЛКОВ
ПРИ ДЕЛЕНИИ ^{235}U
РЕЗОНАНСНЫМИ НЕЙТРОНАМИ

Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1988

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики
Объединенного института ядерных исследований, Дубна.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

ГАНГРСКИЙ Ю.П.

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

ПЕТРОВ Г.А.

Ведущая организация: физико-энергетический институт,
Обнинск.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1988 г.
в _____ часов на заседании Специализированного совета
Д 047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории
ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований,
г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1988 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета

ТАРАН Ю.В.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Большой объем экспериментальных данных, накопленный в течение 50 лет с момента открытия деления ядра, а также разнообразные теоретические модели, созданные для описания данного явления, не дают на сегодняшний день ответов на многие вопросы, касающиеся динамических и квантовомеханических характеристик этого сложного ядерного превращения.

Особые возможности для изучения механизма процесса предоставляет деление резонансными нейтронами, когда их кинетическая энергия не вносит существенного вклада в энергию возбуждения компаунд-ядра. В этом случае динамические эффекты можно изучать на основании квантовомеханических и статистических характеристик резонансов компаунд-ядра.

Результаты таких экспериментов позволяют, в принципе, для индивидуальных делящихся состояний с известным значением спина и четности исследовать формирование массы и заряда осколков, распределение их кинетических энергий, множественность нейтронов деления и другие физические характеристики продуктов деления. Дополнительные сведения, углубляющие наши представления о динамике ядерного вещества в условиях больших деформаций, можно получить из детального анализа формы и дисперсий распределений выходов осколков.

Особо ценную информацию удалось получить путем изучения флуктуаций (от одного компаунд-резонанса к другому) разнообразных характеристик продуктов деления. Изучение флуктуаций различных характеристик осколков, которое требует сложных многомерных измерений в условиях высокой светосилы и разрешения по энергии нейтронов, дает уникальную информацию о ряде квантовомеханических особенностей процесса деления, получение которой невозможно другими методами. Импульсный нейтронный источник ДНФ ОИЯИ ИБР-30 предоставляет благоприятные возможности проведения указанных экспериментов.

В качестве ядра-мишени (n, f)-реакции естественно было выбрать изотоп ^{235}U , для которого в предшествующих сложных экспериментах была получена необходимая для данных информация о характеристиках компаунд-резонансов.

Основная цель настоящей работы заключается в следующем:

- Разработка экспериментальной аппаратуры и методики измерения выхода мгновенных гамма-квантов из деления ^{235}U на пучке резонансных нейтронов ИБР-30.

- Измерение интегральных характеристик - полной энергии и множественности гамма-квантов, сопутствующих делению.

- Измерение интенсивности мгновенных гамма-квантов при распаде возбужденных уровней отдельных осколков деления с целью определения их независимых выходов в индивидуальных компаунд-резонансах ядра ^{236}U .

- Анализ полученных данных с целью извлечения физических характеристик динамики процесса деления.

Научная новизна. Создан прецизионный гамма-спектрометр для исследований мгновенной гамма-эмиссии из осколков деления ^{235}U резонансными нейтронами, в котором впервые применен метод, позволяющий заметно улучшить спектрометрические характеристики Ge (Li)-детекторов.

Проведены систематические исследования зависимости гамма-эмиссии от массы и заряда осколков деления, а также от квантовых и статистических характеристик компаунд-резонансов ^{236}U в области энергий нейтронов от 0,5 до 35,5 эВ.

Впервые определены множественность и полная энергия гамма-квантов, сопутствующих делению ^{235}U резонансными нейтронами, и зависимость этих характеристик от задержанных распадов. Изучена слабая зависимость средней энергии гамма-квантов от спинового состояния компаунд-ядра ^{236}U .

На основе гамма-спектрометрических измерений получен ряд распределений выходов осколков деления, а также сведения о влиянии оболочечных эффектов на процесс фрагментации массы и заряда. Из анализа данных оценен ряд динамических характеристик компаунд-ядра, относящихся к моменту его разрыва.

Анализ флуктуаций в выходах отдельных осколков ^{95}Sr , ^{100}Zr , ^{134}Te и ^{144}Ba в изолированных компаунд-резонансах со спином $J^{\pi} = 4^{-}$, которые наблюдаются впервые, а также флуктуаций других более интегральных величин позволил установить статистические и квантовые свойства каналов Бора, участвующих в делении ^{235}U резонансными нейтронами, и определить влияние этих каналов на формирование массы осколков деления.

Предложенная модель впервые позволила удовлетворительно описать наблюдаемые флуктуации для полного набора имеющихся данных по делению компаунд-ядра ^{236}U .

Практическая ценность работы. Созданная экспериментальная аппаратура может быть использована для прецизионных дистанционных измерений гамма-эмиссии в ядерных реакциях, вызванных нейтронами или заряженными частицами.

Разработанная методика дискриминации по времени нарастания, позволяющая значительно улучшить спектрометрические характеристики Ge (Li)-детекторов, нашла применение в других научных центрах (ИЯФ ЧСАН, Ржез, ЧССР; ИФ ЦЭФИ, Братислава, ЧССР), а также и на Ge (Li)-спектрометрах, работающих на пучках нейтронов в ОИЯИ.

Уточненные данные о множественности и полной энергии мгновенных гамма-квантов, как и найденная зависимость указанных величин от времени их определения относительно акта деления, относятся к ядерным данным. Они могут быть использованы при оптимизации ядерных установок.

Результаты анализа флуктуаций выходных характеристик процесса деления в отдельных резонансах дают сведения о квантовой и статистической природе процесса и могут быть применены для развития новых теоретических представлений, углубляющих наши знания о физике деления.

На защиту выносятся следующие положения и результаты.

1. Создан комплекс регистрирующей аппаратуры, в которой впервые применена дискриминация по времени нарастания импульса, предложенная автором и позволяющая заметно улучшить спектрометрические характеристики Ge (Li)-детекторов.

2. На пучке резонансных нейтронов впервые определена множественность и полная энергия мгновенных гамма-квантов деления ^{235}U и обнаружена зависимость этих величин от примеси задержанных распадов.

3. Получены интенсивности гамма-эмиссии, приведенные к одному акту деления ^{236}U , которые приписаны 50 осколкам деления. Установлена связь между интенсивностями характеристических гамма-переходов и независимыми выходами соответствующих осколков.

4. Впервые получены сведения, указывающие на зависимость заселенности уровней четно-нечетных и нечетных по Z осколков от степени заполнения нейтронных оболочек, что связано с изменением формы исследуемых нейтроноизбыточных ядер-осколков.

5. На основании характеристик полученных изобарических, элементных и изотонных распределений выхода осколков деления определены значения четно-нечетного протонного и нейтронного эффектов, а также дисперсия распределения выходов ядер-изобар. Нерегулярность четно-нечетного нейтронного эффекта в области $80 < N < 84$ обнаружена впервые.

Из анализа распределений независимых выходов осколков с привлечением нескольких моделей удалось оценить ряд динамических характеристик ядра на предразрывной стадии деления.

6. Впервые для индивидуальных резонансов компаунд-ядра ^{236}U получены независимые выходы ядер осколков ^{95}Sr , ^{100}Zr , ^{134}Te , ^{144}Ba .

7. Флуктуации независимых выходов фиксированных осколков рассмотрены совместно с литературными данными о флуктуациях других характеристик деления. Установлено, что все эти флуктуации вызываются общей физической причиной – величиной случайной примеси каналов деления к данному компаунд-состоянию. Этот результат получен на основе объединения гипотезы Бора о каналах деления и представлений о путях деления, допускаемых в капальной модели с оболочечными поправками Струтинского.

Апробация работы и публикации. Результаты, изложенные в диссертации, докладывались на Еврофизической конференции "Реакции, вызванные нейтронами" (Смоленице, 1985), на XXXII Сессии по ядерной спектроскопии и структуре ядра (Ирмала, 1987), на Всесоюзном симпозиуме "Физика деления ядер" (Обнинск, 1987), на Международной конференции по нейтронной физике (Киев, 1987), на Всесоюзном семинаре по структуре атомного ядра и ядерным реакциям (Дубна, 1988) и на XXIII Зимней школе ДИЯФ по физике атомного ядра и элементарных частиц (Гатчина, 1988). Материалы диссертации опубликованы в 9 печатных работах, приведенных в конце автореферата.

Объем и структура работы. Диссертация содержит 141 страницу машинописного текста, включая 43 рисунка, 14 таблиц и список литературы из 106 наименований. Состоит из введения и четырех глав с заключениями.

II. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы физическая актуальность и важность исследуемых в диссертации проблем. Кратко изложено основное содержание отдельных глав и приведены основные результаты, полученные автором в данной работе.

Первая глава посвящена методической постановке эксперимента. Кроме описания основных характеристик времяпролетного нейтронного спектрометра приведены также основные характеристики исследуемой мишени – быстрой ионизационной камеры деления с большим содержанием ^{235}U (10 г). Дано описание основных узлов детектирующей части спектрометра мгновенных гамма-квантов и способ цифровой передачи измеряемых величин при дистанционном сборе данных, позволяющем проводить прецизионные спектрометрические измерения.

Детально пояснены оригинальное аппаратное решение и способ применения дискриминатора по времени нарастания импульсов с целью улучшения спектрометрических характеристик Ge (Li)-детекторов. Принцип его

работы состоит в том, что дефектные зарядовые импульсы с удлиненным относительно остальных временем нарастания, которые возникают на p-i-n переходах, контактах, дефектах решетки Ge (Li)-кристалла или из-за многократного рассеяния гамма-квантов в детекторе, исключаются из измерения. Показано, что таким способом можно улучшить основные характеристики Ge (Li)-спектрометра благодаря подавлению комптоновского фона, улучшению симметрии фотопиков и, следовательно, повысить его энергетическое и временное разрешение.

В этой главе приводятся также основные методические приемы, которые применялись при калибровке спектрометра и при измерении мгновенного гамма-излучения из осколков деления.

Во второй главе изложены результаты измерения интегральных характеристик гамма-эмиссии, сопутствующей делению ^{236}U нейтронами с энергией от 0,7 до 36 эВ.

С применением метода $1/\lambda$ и экспериментально определенной функции отклика Ge (Li)-детектора определены для основной части спектра гамма-квантов (от 0,1 до 1,6 МэВ) полная энергия \bar{E}_γ и множественность \bar{N}_γ , составляющие $4,64 \pm 0,03$ МэВ/дел. и $6,08 \pm 0,06$ γ -квант/дел., соответственно. Измерение проводилось при временном окне регистрации гамма-квантов 33 нс.

С применением данных $1/\lambda$ для высокоэнергетической части спектра гамма-квантов получено, что в диапазоне энергий от 0,1 до 10 МэВ полная энергия и множественность составляют $\bar{E}_\gamma = 6,7 \pm 0,1$ МэВ/дел. и $\bar{N}_\gamma = 6,9 \pm 0,1$ γ -квант/дел., соответственно.

Из подробного анализа методических различий между разными экспериментами найдена прямая зависимость интегральных характеристик гамма-эмиссии от длительности временного окна, в котором проводилось измерение. Найденные зависимости позволяют оценить вклад задержанных распадов и определить характеристики мгновенной гамма-эмиссии, величина которой при учете временного разрешения Ge (Li)- и NaI(Tl)-детекторов составляет $\bar{E}_\gamma = 6,4 \pm 0,3$ МэВ/дел. и $\bar{N}_\gamma = 6,2 \pm 0,7$ γ -квант/дел.

Из сравнения средних энергий гамма-квантов, полученных для двух групп резонансов со спинами $J^\pi = 3^-$ и 4^- компаунд-ядра ^{236}U , сделан вывод об их слабом различии, составляющем (16 ± 10) кэВ. Это не дает возможности сделать статистически значимое заключение об спиновой зависимости этих энергий, что отмечено и в заключении к этой главе. Заметим, однако, что при сравнении аппаратных гамма-спектров наблюдается некоторое превышение гамма-эмиссии при делении ^{236}U в резонансах со спином 3^- по сравнению с состояниями, отвечающими $J^\pi = 4^-$.

В третьей главе приведены результаты измерения гамма-эмиссии из возбужденных уровней осколков деления. Путем анализа спектров мгновенных гамма-квантов, сопутствующих делению, определены энергии и интенсивности 77 гамма-переходов, нормированных на один акт деления в области энергий нейтронов от 0,5 до 35,5 эВ. На основе этих данных идентифицировано 50 осколков деления.

Из значений интенсивности гамма-переходов в четно-четных осколках следует, что заселенность первого возбужденного уровня 2^+ практически не зависит от A и Z и близка к 1, что позволяет использовать интенсивности таких переходов для определения независимых выходов осколков.

Распределение внутрикаскадной заселенности для четно-четных осколков согласуется с результатами расчета ^{12/}, проведенного на основе статистической модели в предположении, что величина первичного углового момента осколков в момент разрыва составляет в среднем $7,5 \hbar$.

Заселенность низших возбужденных уровней в четно-нечетных и нечетных по Z осколках составляет в среднем 60% от заселенности четно-четных ядер. В наблюдаемых зависимостях заселенности от нейтронного числа осколков минимумы объясняются влиянием замкнутых нейтронных оболочек и, следовательно, изменением статической деформации таких ядер относительно остальных.

Полученные изобарические распределения интенсивностей - выходов гамма-квантов, приведенных к одному акту деления, - для четно-четных, четно-нечетных и нечетных по Z осколков приводят к одинаковым значениям дисперсий распределений - $\sigma^2 = 0,42$, что позволяет в группах осколков, нечетных по Z и N , сделать нормировку выходов гамма-квантов и оценить независимые выходы осколков.

В той же главе приводятся результаты по элементному и изотонному распределениям выходов осколков.

Увеличение выходов четных относительно нечетных по Z осколков в элементных распределениях дает среднюю величину четно-нечетного протонного эффекта, равную $(35,7 \pm 3,9)\%$. Его увеличение с понижением асимметрии масс осколков, коррелирующее с увеличением их полной кинетической энергии, указывает на уменьшение энергии, которая реализуется при разрыве протонных пар.

Величина четно-нечетного нейтронного эффекта, полученная из изотонных распределений выходов осколков деления, составляет $(6,8 \pm 5,2)\%$. Ее наблюдаемое увеличение при $N = 60+64$ и в связанной с ней области $N = 80+84$ объясняется присутствием пар осколков с заполненной и деформированной оболочками, образующими более компактные конфигурации относительно кулоновского взаимодействия, что, следовательно, приво-

дит к занижению энергии возбуждения такой комбинации осколков. Отмечается также, что наблюдаемое влияние заполненной и деформированной нейтронных оболочек на процесс фрагментации ядра наблюдается одновременно и для протонных оболочек, заполненных при $Z = 52$ и деформированных в области $Z = 40$.

На основе значений дисперсии изобарического распределения выходов осколков деления, величин четно-нечетного протонного и нейтронного эффектов оценены некоторые динамические характеристики компаунд-ядра ²³⁶U на предразрывной стадии деления.

С применением модели "точки разрыва" ^{13/} определено, что значение изобарической дисперсии, ответственной за уравнивание между осколками отношения N/Z , соответствует коллективной температуре $T_{col} = 1,56$ МэВ. Ее высокое значение показывает, что статистическое равновесие между коллективными и внутренними степенями свободы, определяющими флуктуации зарядового распределения, в процессе не устанавливается. При рассмотрении релаксации отношения N/Z в модели нулевых квантовых колебаний коллективной изовекторной моды с учетом инерции массы компаунд-ядра удалось оценить среднюю энергию фона, равную $E = 1,42$ МэВ, и время уравнивания такой моды $\tau \leq 1,7 \cdot 10^{-21}$ с. При условии линейной зависимости изменения деформации от времени оценка предкинетической энергии осколков деления составляет 5,4 МэВ.

Рассмотрение физических причин, приводящих к разрыву пар нуклонов и, следовательно, к возникновению четно-нечетного эффекта в зарядовом и изотонном распределениях выхода осколков, проведено в диссертации с привлечением модели точки разрыва ^{13/}, модели ферми-газа с зависящей от температуры энергией спаривания ^{14/} и учитывающей определение четно-нечетного эффекта. В результате анализа получены оценки энергии возбуждения, связанной с внутренними степенями свободы, равной $(5,9 \pm 1,5)$ МэВ, и энергии диссипации, связанной с трением и нагревом ядерной материи при быстро нарастающей деформации компаунд-ядра и составляющей $(5 \pm 1,5)$ МэВ. С учетом энергетического баланса дана оценка энергии деформации, лежащая в пределах $13,6 \pm 16,6$ МэВ. Оценки даны как средние по трем модельным значениям, так как искомые величины не зависят от применяемой модели. Оцененная величина энергии возбуждения согласуется с микроскопическими расчетами ^{15/} диссипации энергии между двумя осколками в предположении, что динамический коэффициент вязкости ядерной материи составляет $1 \cdot 10^7$ Па·с.

Четвертая глава посвящена изучению влияния статистических и квантовых свойств s -волновых делительных резонансов компаунд-ядра ²³⁶U на процесс формирования осколков деления. Она содержит резуль-

таты измерений экспериментальных значений независимых выходов и их флуктуаций в отдельных резонансах для ^{100}Zr , ^{144}Ba , ^{95}Sr в абсолютных и для ^{134}Te в относительных единицах. На основании результатов методических проверок и сравнения наблюдаемых флуктуаций в выходах осколков с флуктуациями аналогичных физических величин, измеренных другими авторами, показана статистически значимая достоверность наблюдаемых экспериментальных эффектов.

С привлечением резонансных параметров — парциальных (двухканальных) делительных ширин Γ_{β} , вычисленных в рамках R-матричного многоуровневого анализа разделенного по спинам сечения деления, определены величины "степени открытия каналов" для ряда делительных резонансов компаунд-ядра ^{236}U в области энергий нейтронов от 0,5 до 35,5 эВ. Данные о флуктуациях (в индивидуальных компаунд-резонансах) независимых выходов фиксированных осколков проанализированы совместно с литературными данными о соответствующих флуктуациях угловой анизотропии β полной кинетической энергии β , множественности нейтронов деления β и отношения симметричного к асимметричному делению β . Показано, что корреляции, наблюдаемые для флуктуаций различных характеристик, свидетельствуют о их общем физическом механизме.

С учетом того, что распределение делительных ширин компаунд-резонансов указывает на присутствие двух каналов деления в резонансах со спином $J^{\pi} = 4^{-}$ и на участие не менее трех каналов в резонансах с $J^{\pi} = 3^{-}$, изучено влияние указанных каналов на флуктуации наблюдаемых величин.

Определено, что в резонансах со спином $J^{\pi} = 4^{-}$ работают, в основном, каналы с квантовыми числами $K = 1$ и $K = 2$ и что средние делительные ширины таких каналов составляют $\langle \Gamma_{\beta} \rangle^{4^{-1}} = (38,5 \pm 10,2) \text{ мэВ}$ и $\langle \Gamma_{\beta} \rangle^{4^{-2}} = (73,1 \pm 19,3) \text{ мэВ}$.

В этой же главе развита модель, основанная на объединении гипотез О.Бора о каналах деления β и представлений о путях деления, допускаемых в капельной модели с оболочечными поправками Струтинского. Предложенная модель позволяет совместить сильные флуктуации вкладов каналов деления со слабыми флуктуациями выходов осколков, полной кинетической энергии и множественности нейтронов и объяснить, таким образом, всю совокупность экспериментальных данных. Констатируется, что физической причиной случайных флуктуаций вкладов каналов деления является сильное смешивание по проекции спина на ось ядра K в компаунд-резонансах.

В заключениях к каждой главе даны основные итоги полученных физических результатов, суммированные ниже.

— Определена множественность и полная энергия мгновенных гамма-квантов из деления ^{235}U резонансными нейтронами и обнаружена зависимость этих величин от примеси задержанных распадов.

— Получены сведения, указывающие на зависимость заселенности уровней четно-нечетных и нечетных по Z осколков от степени заполнения нейтронных оболочек.

— Определены характеристики элементного, изотонного и изобарических распределений независимых выходов осколков деления компаунд-ядра ^{236}U , как и значения четно-нечетного протонного и нейтронного эффектов.

— Обнаружена нерегулярность четно-нечетного нейтронного эффекта в области $80 < n < 84$.

— Из анализа распределений выходов осколков оценены величины коллективной температуры, энергии нулевых квантовых колебаний изовекторной моды и времени установления зарядового равновесия на предразрывной стадии. Оценены величины предкинетической энергии осколков и энергии внутреннего возбуждения, диссипации и деформации в момент разрыва. Оценено также значение коэффициента динамической вязкости ядерного вещества.

— В индивидуальных резонансах получены независимые выходы осколков ^{95}Sr , ^{100}Zr , ^{134}Te и ^{144}Ba .

— Определено, что в резонансах компаунд-ядра ^{236}U со спином и четностью $J^{\pi} = 4^{-}$ работают два канала деления с квантовыми числами $K = 1$ и $K = 2$ и отношением канальных делительных ширин $1:2$.

— Установлено, что флуктуации выходных характеристик деления (независимых выходов, полной кинетической энергии, множественности нейтронов деления, угловых распределений осколков деления) вызваны общей физической причиной — величиной случайной примеси каналов деления к данному компаунд-резонансу, которая, в свою очередь, определяется сильным смешиванием по K .

— Проведено объединение гипотезы Бора о каналах деления и представлений о путях деления, допускаемых в капельной модели с оболочечными поправками Струтинского, которое позволило удовлетворительно описать наблюдаемые флуктуации в резонансах с $J^{\pi} = 4^{-}$ выходных характеристик деления.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Богдзель А.А., Гундорин Н.А., Лука-Зойоми А., Климан Я., Кристик Д., Пресперин В., Тишин В.Г., Фо Дык Тоан. Многодетекторный спектрометр для исследования эмиссии нейтронов и гамма-квантов из деления тяжелых ядер. (Мат. XI Междунар. симп. по ядер. электронике, Братислава, 1984). — Дубна, 1984, ОИЯИ ДПЗ-84-53, с.285-289.
2. Duka-Zolyomi A., Kliman J., Kristiak J. A rise-time discriminator for background suppression in the Ge(Li) detector spectrum. — In: Low-Level Counting and Spectrometry. (Proc. III Intern. Conf. Low Radioactivities'85, Bratislava, 21.-25.10.1985). — Bratislava: Veda, 1987, p.165-169.

3. Богдзель А.А., Дука-Зойоми А., Климан Я., Пресперин В. Использование дискриминации по времени нарастания импульса для улучшения параметров Ge (Li)-спектрометров. - Дубна, 1982. - 6 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн.исслед.: П13-82-737).
4. Kliman J., Duka-Zolyomi A., Gundorin N.A., Kristiak J. Measurements of the multiplicity and total energy of gamma-quanta from the fission of U-235 induced by resonance neutrons. - Acta Phys.Slov., 1986, vol.46, No.4, p.245-254.
5. Богдзель А.А., Гундорин Н.А., Дука-Зойоми А., Климан Я., Криштиак И. Изучение зависимости выхода гамма-лучей от массы и заряда осколков деления ^{236}U . - Дубна, 1987. - 12 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн.исслед.: П3-87-862).
6. Богдзель А.А., Гундорин Н.А., Дука-Зойоми А., Климан Я., Криштиак И. Изучение фрагментации заряда и массы осколков при делении ^{235}U резонансными нейтронами. - Дубна, 1988. - 16 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн.исслед.: П15-88-385).
7. Гундорин Н.А., Дука-Зойоми А., Климан Я., Криштиак И. Анализ динамических характеристик деления ^{235}U резонансными нейтронами на основе данных о фрагментации заряда и массы осколков. - Дубна, 1988. - 17 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн.исслед.: П15-88-386).
8. Гундорин Н.А., Дука-Зойоми А., Климан Я., Фурман В.И. Вариации выхода гамма-квантов при делении ^{235}U резонансными нейтронами. - Дубна, 1987. - 6 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн.исслед.: П3-87-718).
9. Furman V.I., Kliman J. Fluctuations of fission characteristics and the structure of fission channels. - In: Nuclear reactions (Proc. 17th Int.Symp. on Nucl.Phys., Gaussig, 9.-13.10.1987). - Dresden: ZfK, 1988, p.86-91.

Цитируемая литература

- I. Pleasonton F., Ferguson R.L., Schmitt H.W. Prompt Gamma-Rays Emitted in the Thermal-Neutron-Induced Fission of ^{235}U . - Phys. Rev., 1972, vol.C6, No.3, p.1023-1039.
2. Wilhelmy J.B., Cheifetz E., Jared R.C., Thomson S.G., Bowman H.R., Rasmusen J.O. Angular Momentum of Primary Products Formed in the Spontaneous Fission ^{252}Cf . - Phys.Rev., 1972, vol.C5, No.4, p.2041-2060.
3. Wilkins B.D., Steinberg E.P., Chasman R.R. Scission-point model of nuclear fission based on deformed-shell effects. - Phys.Rev., 1976, vol.C14, No.5, p.1832-1863.

4. Matzouranis G., Nix J.R. Excitation Energy at Scission in Thermal-neutron-induced Fission. - Phys.Rev., 1982, vol.C25, No.2, p.918-923.
5. Davies K.T.R., Sierk A.J., Nix J.R. Effect of viscosity on the dynamics of fission. - Phys.Rev., 1976, vol.C13, No.6, p.2385-2403.
6. Moore M.S., de Saussure G., Smith J.R. Problems and Progress regarding Resonance Parametrization of ^{235}U and ^{239}Pu for ENDF/B. - In: Uranium and Plutonium Isotope Resonance Parameters/Ed. E.Cullen. (Proc. IAEA Consult.Meeting, Vienna, 28 Sept. - 2 Oct. 1981). - Vienna: IAEA, 1981, INDC(NDS)-129/GJ, p.74-82.
7. Pattenden N.J., Postma H. Fission of Aligned ^{235}U Nuclei Induced by Neutrons of 0,2 to 2000 eV. - Nucl.Phys., 1971, vol.A167, No.2, p.225-246.
8. Hamsch F.-J., Knitter H.-H., Budtz-Jorgensen C., Theobald J.P. Fission fragment properties of $^{235}\text{U}(n,f)$ in the neutron energy range from thermal to 1 MeV. - In: Proc. "Seminar on Fission"/Ed. Wagemans C. (Habay-la-Neuve, 22.-23. May 1986). - Mol: Studiecentrum voor Kernenergie, 1986, BLG 586, p.135-139.
9. Howe R.E., Phillips T.W., Bowman C.D. Prompt Fission Neutrons from eV Resonances in ^{235}U . - Phys.Rev., 1976, vol.C13, No.1, p.195-205.
10. Cowan G.A., Bayhurst B.P., Prestwood R.J., Gilmore J.S., Knobeloch G.W. Symmetry of Neutron-Induced ^{235}U Fission at Individual Resonances III. - Phys.Rev., vol.C2, No.2, p.615-620.
- II. Бор О. К теории деления ядер. - В кн.: Мат.Межд.конф. по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1956). - М.: Физматгиз, 1958, т.2, с.175-179.

Рукопись поступила в издательский отдел
I августа 1988 года.