

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Г 948

РЗ-87-718

**Н.А.Гундорин, А.Дука-Зойоми, Я.Климан,
В.И.Фурман**

**ВАРИАЦИИ ВЫХОДА ГАММА-КВАНТОВ
ПРИ ДЕЛЕНИИ ^{235}U
РЕЗОНАНСНЫМИ НЕЙТРОНАМИ**

1987

ВВЕДЕНИЕ

Поскольку деление ядер оказывается сложным процессом, то и большой объем экспериментальных данных, полученных при исследованиях деления тяжелых ядер, остается все еще недостаточным для детального понимания этого явления. Особый интерес представляет деление резонансными нейтронами. Кинетическая энергия нейтрона в этом случае не превосходит нескольких десятков эВ и не вносит существенного вклада в энергию возбуждения образующегося компаунд-ядра. Структура возникающих переходных состояний и формирование делительных каналов определяются квантовомеханическими параметрами отдельных резонансов. Наличие их корреляций с параметрами конечной фазы — кинетической энергией, массовым, зарядовым распределением осколков или других особенностей такого деления — может быть очень полезным для понимания динамики этого механизма.

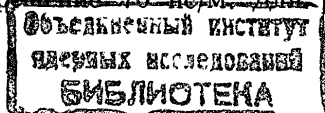
Экспериментальные исследования особенностей деления резонансными нейтронами проводятся уже четверть века. Противоречивые данные об измерении множественности нейтронов от резонанса к резонансу так же, как и некоррелированные зависимости изменений кинетических энергий^{1/1'} или асимметрии массового распределения^{2/2'} с основными резонансными параметрами сложного ядра ^{236}U , вызывают много вопросов.

В Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ была разработана методика, позволяющая определять независимые выходы осколков деления посредством спектроскопии гамма-излучения, сопутствующего делению. При этом характерные гамма-линии, связанные с разрядкой возбужденных состояний осколков, используются для их идентификации.

В настоящей работе представлены результаты сравнения выходов возбужденных состояний осколков деления в отдельных резонансах.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Эксперименты по поиску вариаций выхода гамма-эмиссии из возбужденных состояний осколков деления проводились при работе реактора в бустерном режиме с линейным ускорителем электронов. Нейтронная спектрометрия проводилась по методу времени пролета. При средней мощности бустера 8 кВт, частоте повторения 100 Гц и ширине импульса 4 мкс, было обеспечено на времяпролетной базе⁵⁷ м энергетическое разрешение 70 нэ/м. Для регистрации актов деления



применялась быстрая ионизационная камера, содержащая 10 г ^{235}U . Гамма-излучение регистрировалось Ge(Li) -детектором. Применялась методика мгновенной гамма-спектрометрии. Аппаратура для детектирования и система накопления и обработки информации описаны в работе^{/3/}. Было проведено три независимых измерения, где зарегистрировано $1,5 \cdot 10^9$ делений, из которых $2 \cdot 10^7$ — в совпадении с гамма-квантами, зарегистрированными Ge(Li) -детектором.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

В процессе сортировки многомерной информации построены матрицы данных размером 1024 x 4096 каналов, представляющих время пролета T на энергию гамма-кванта E_γ .

Дальнейшая обработка экспериментальной информации проводилась методом дифференциальных разрезов.

В суммарном гамма-спектре (по всему энергетическому интервалу нейтронов) для определенного пика, в данном случае гамма-линии 212 кэВ, соответствующего $2^+ - 0^+$ переходу ^{100}Zr , определялось энергетическое окно, которое в разрезе матрицы представляет времяпролетный спектр данного гамма-перехода с фоновой подложкой. Второй времяпролетный спектр, построенный таким же образом, соответствовал фоновой подложке под гамма-пиком и поканально вычитался из первого. Разность временных спектров представляет чистый вклад определенной гамма-линии в отдельных резонансах.

Назовем относительным нормированным выходом гамма-квантов перехода с энергией E_γ в отдельном резонансе λ , отношение

$$\frac{Y_{E_\gamma}}{\lambda} = \frac{I_\lambda(E_\gamma)}{I(E_\gamma)} \cdot \frac{N_f}{N_{f\lambda}},$$

где $I(E_\gamma)$ представляет площадь гамма-пика по всему интервалу энергий нейтронов, в данном случае от 0,7 до 36 эВ, $I_\lambda(E_\gamma)$ — площадь пика в резонансе λ , N_f — количество делений во всем интервале энергий нейтронов и $N_{f\lambda}$ — количество делений, принадлежащих резонансу λ . Пример результата обработки для пика 199 кэВ, соответствующего $2^+ - 0^+$ переходу ^{144}Ba , показан на рис. 1.

Результатом настоящей работы является определение для отдельных резонансов вариаций выхода гамма-квантов из распада первого возбужденного уровня на основное состояние ротационной полосы соответствующих осколков: ^{95}Sr , $^{100, 1,2}\text{Zr}$, $^{142, 4,6}\text{Ba}$.

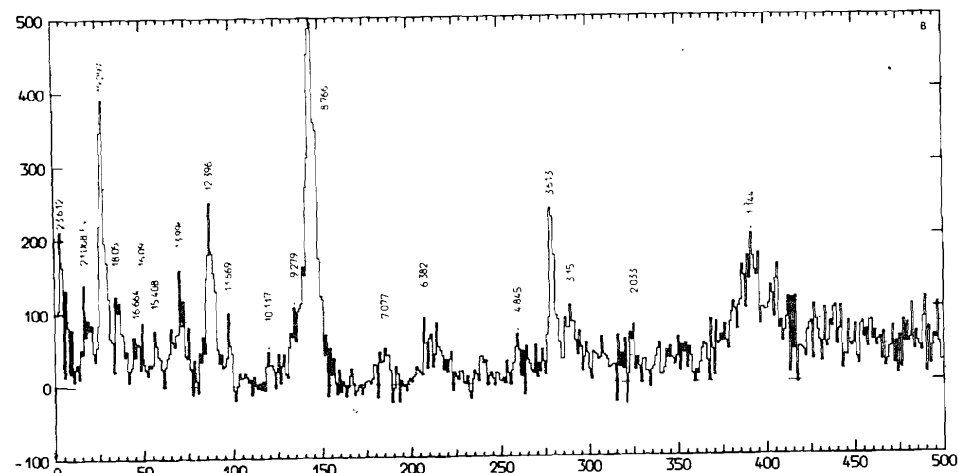


Рис. 1. Пример результата обработки $2^+ - 0^+$ перехода ^{144}Ba с энергией 199 кэВ, представляющей времяпролетный спектр. Энергии резонансов показаны над пиками в эВ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Вариации от резонанса к резонансу выхода гамма-квантов, относящихся к определенному осколку, полезно сопоставить с аналогичными вариациями других характеристик деления компаунд-ядра ^{236}U , таких, как коэффициенты анизотропии углового распределения осколков для s-нейтронов^{/4/}, отношения выходов двух осколков с фиксированными массами, представляющих масс-асимметрию^{/2/}, средние кинетические энергии^{/5/}.

Наличие данных^{/5/} по спинам s-резонансов в исследуемой области позволяет провести анализ указанных вариаций отдельно для наборов резонансов с $J^\pi = 3^-$ и 4^- . С точки зрения каналовой теории деления^{/6/} наиболее интересным является случай резонансов с $J^\pi = 4^-$, для которых канал с проекцией спина $K = 0$ запрещен по четности, а соотношения вкладов с $K = 1$ и 2 составляет

$$\frac{\langle \Gamma_f^{4^-, 2} \rangle}{\langle \Gamma_f^{4^-, 1} \rangle} = \frac{1}{2},$$

тогда как каналами с $K = 3$ и 4 в первом приближении можно пренебречь.

Если воспользоваться результатами работы^{/7/}, где в многоуровневом двухканальном R-матричном анализе для резонансов с $J^\pi = 4^-$ были извлечены вклады Γ_f ширины в отдельные каналы, то каждому резонансу λ можно поставить в соответствие величину

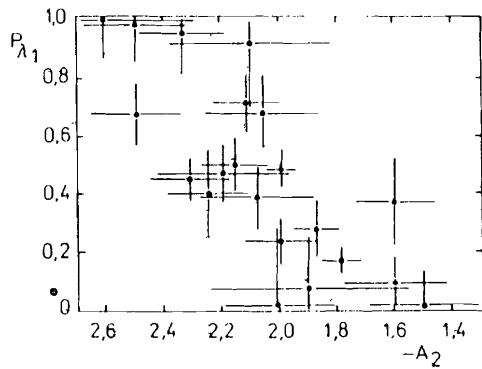


Рис. 3. Зависимость выхода гамма-квантов Y_{λ}^{γ} с энергией 212 кэВ, принадлежащих $2^+ - 0^+$ переходу ^{100}Zr , от степени открытия делительного канала $P_{\lambda}^{K=1}$,

$$P_{\lambda}^1 = \frac{\Gamma_{\lambda f}^{K=1}}{\Gamma_{\lambda f}^{K=1} + \Gamma_{\lambda f}^{K=2}},$$

которая представляет собой степень открытия канала с $K=1$. На рис. 2 показано соотношение величин $-A_2$, коэффициента при полиноме Лежандра $P_2(\cos\theta)^{4'}$, входящем в дифференциальное сечение деления, и значений P_{λ}^1 для резонансов с $J^{\pi} = 4^-$ в интервале энергий от 1 до 60 эВ.

Поскольку

$$A_2(J, K) = 3 \sum_K \left(\frac{3K}{J(J+1)} - 1 \right) \cdot \frac{\Gamma_f^{J\pi K}}{\sum_K \Gamma_f^{J\pi K}},$$

то рис. 2 подтверждает, что величины P_{λ} действительно соответствуют вкладам каналов с разными K .

Рассмотрим теперь корреляции $\{P_{\lambda}^1, Y_{\lambda}^{\gamma}\}$, $\{P_{\lambda}^1, \Delta E_{K\lambda}\}$, $\{P_{\lambda}^1, R_{\lambda}\}$. На рис. 3 показана зависимость выхода гамма-квантов с энергией 212 кэВ, принадлежащих переходу $2^+ - 0^+$ ^{100}Zr , от степени открытия канала $P_{\lambda}^{K=1}$. Анализ результатов эксперимента дал такую же сильную взаимную корреляцию и в случае ^{95}Sr , $^{101.2}\text{Zr}$, $^{142.4,6}\text{Ba}$. Ввиду методических ограничений эксперимента были проанализированы только осколки, находящиеся в максимуме массовой кривой.

Рис. 2. Зависимость степени открытия делительного канала $P_{\lambda}^{K=1}$, от величины $-A_2$, коэффициента при полиноме Лежандра $^{4'}$.

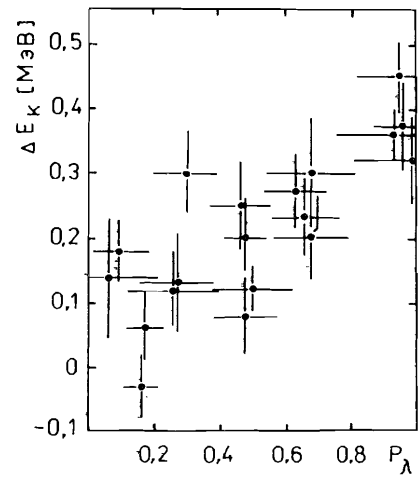
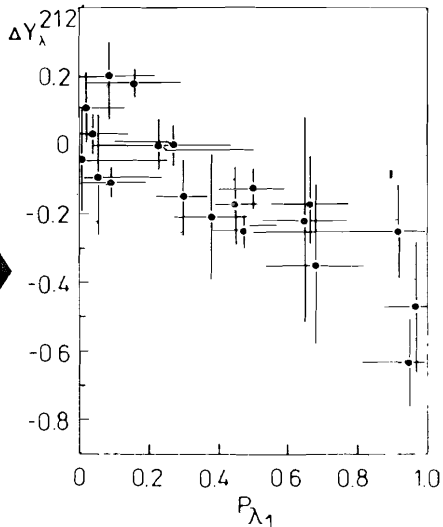


Рис. 4. Изменение полной кинетической энергии фрагментов деления $E_{K\lambda}^{1'}$, в зависимости от степени открытия делительного канала $P_{\lambda}^{K=1}$.

Результаты измерения полной кинетической энергии осколков деления в резонансах от 1 эВ до 130 эВ $^{1'}$ в зависимости от величины $P_{\lambda}^{K=1}$ даны на рис. 4. Видна взаимная корреляция между ΔE_K и P_{λ}^K , что подтверждает явное проявление отдельных каналов деления.

На рис. 5 показана зависимость изменения массовой асимметрии $R^{2'}$ от изменения коэффициента анизотропии A_2 . Взаимные корреляции этих величин так же, как и ΔE_K и P_{λ}^K , указывают на сильное влияние отдельных каналов при делении резонансными нейтронами. Физически значимой для состояний с $J^{\pi} = 4^-$ оказывается и корреляция типа $\{Y_{\lambda}^{\gamma}, \Delta E_{K\lambda}\}$, (рис. 6). Эта корреляция обусловлена, по-видимому, перераспределением энергии между энергией возбуждения осколка (интенсивность эмиссии гамма-квантов) и его кинетической энергией для данного канала деления.

Отмеченные выше корреляции интегральных характеристик деления, а также их вариаций для различных компаунд-резонансов ядра

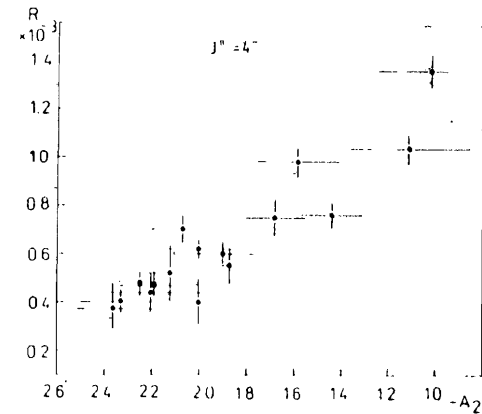


Рис. 5. Зависимость изменения массовой симметрии R (отношения выходов ^{115}Cd к ^{99}Mo) $^{2'}$, в зависимости от степени открытия делительного канала $P_{\lambda}^{K=1}$.

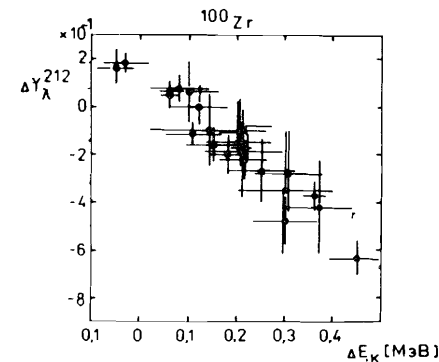


Рис. 6. Зависимость изменения выхода гамма-квантов Y_{λ}^{γ} , соответствующих $2^+ - 0^+$ переходу ^{100}Zr , от изменения полной кинетической энергии $\Delta E_K^{1'}$ в отдельных резонансах.

^{236}U с $J^\pi = 4^-$, могут быть непротиворечиво объяснены только при условии, что вибрационные делительные состояния $\Psi^{J^\pi K}$, примесь которых случайно меняется от резонанса к резонансу, полностью определяют дифференциальные свойства продуктов деления. Указанные корреляции детализируют механизм сильных ($c \nu = 1$) флуктуаций полных делительных ширин.

Мы считаем своим приятным долгом выразить благодарность Л.Б.Пикельнеру, А.Б.Попову и Ю.П.Попову за постоянный интерес к работе, за ценные дискуссии и советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hamsch F.J. et al. *Proceedings on the "Seminars of Fission", Castle of Pont d'Oye, ed. C.Wagemans, 1986, p.135.*
2. Cowan G.A. et al. – *Phys. Rev.*, 1970, C2, p.615.
3. Антонов С.А. и др. *Препринт ОИЯИ 13-85-701, Дубна, 1985.*
4. Pattenden N.J., Postma H. – *Nucl. Phys.*, 1971, A167, p.225.
5. Moore M.S. et al. – *Phys. Rev.*, 1978, C18, p.1328.
6. Bohr A. *Proc. Ist. Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy. Geneva, 1956, vol.2, p.151.*
7. Moore M.S. et al. *IAEA Consultants Meeting on Uranium and Plutonium Isotope Resonance Parameters, ed. D.E.Cullen. INDC NDS – 129/GJ, 1982, p.75.*

Рукопись поступила в издательский отдел
30 сентября 1987 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р.55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программирования и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	13 р.50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. /2 тома/	13 р.45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986	7 р.10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа-86". Дубна, 1986	4 р.45 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Гундорин Н.А. и др.
Вариации выхода гамма-квантов при делении ^{235}U
резонансными нейтронами

P3-87-718

Представлены новые экспериментальные результаты по выходам γ -квантов из осколков деления ^9Sr , $^{100-102}\text{Zr}$, $^{142,144,146}\text{Ba}$, ядра ^{235}U , вызванного нейтроном с энергиями $0,5 \leq E_n \leq 75$ эВ в отдельных резонансах. Применялась методика мгновенной γ -спектрометрии с фиксацией энергии нейтронов по времени пролета. Вариации выхода гамма-квантов от резонанса к резонансу сопоставлялись с аналогичными вариациями других характеристик деления компаунд-ядра ^{236}U , таких, как коэффициенты анизотропии углового распределения осколков, отношения массового выхода осколков, средние кинетические энергии. Найдены значимые взаимные корреляции вариаций этих величин для 23 исследованных резонансов с $J^\pi = 4^-$; кроме того, установлено, что каждая из указанных величин коррелирует со значениями вкладов отдельных делительных каналов $J^\pi K = 4^-,1$ и $J^\pi K = 4^-,2$ в данном резонансе. Выявленные корреляции доказывают, что основные характеристики продуктов деления определяются свойствами вибрационных делительных состояний, с фиксированными J, K , смесь которых случайно меняется от резонанса к резонансу.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Gundorin N.A. et al.
Variations of the Gamma-Ray Yields from the Fission ^{235}U
Induced by Resonance Neutrons

P3-87-718

New experimental results on the prompt gamma-ray yields from ^9Sr , $^{100,102}\text{Zr}$ and $^{142,144,146}\text{Ba}$ fragment of the ^{235}U fission by resonance neutrons for the energy range between 0.5 and 36 eV are given. The measurements were performed at the TOF neutron spectrometer based on the IBR-30 fast pulse reactor and the Ge(Li) prompt gamma-ray spectrometry. It has been established that observed variations of the gamma-ray yields in the ^{236}U compound nucleus resonances are correlated with fragment angular anisotropy coefficients, the peak to valley ratio in mass distribution, average kinetic energies and statistics of the fission widths. The significant multiple correlations between these values have been found for 23 resolved resonances at $J^\pi = 4^-$ spin states. Besides, it is observed that each characteristic under study is correlated with a contribution to the given resonance of the specific fission channels with $J^\pi K = 4^-,1$ and $J^\pi K = 4^-,2$ states. The observed correlations demonstrate that the main characteristics of the fission fragments in individual resonances are determined by the properties of the vibration fission states with the fixed J, K values, while their admixture is randomly changed from resonance to resonance.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987