

С 343

Р- 982

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

3 - 4405

Ю.В.Рябов

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РЕЗОНАНСНЫХ НЕЙТРОНОВ

С ЯДРАМИ U^{-235} И Pu^{-239}

055 - физика атомного ядра и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор

В.И. Мостовой

доктор физико-математических наук, профессор

Л.Н. Усачев

Ведущее предприятие:

Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова.

Автореферат разослан " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " 1969 г.

на заседании Объединенного Ученого совета Лабораторий нейтронной физики и ядерных реакций.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Ю.Т. Чубурков

3 - 4405

Ю.В.Рябов

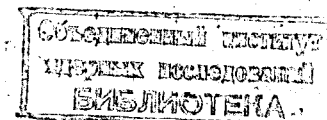
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РЕЗОНАНСНЫХ НЕЙТРОНОВ

С ЯДРАМИ U-235 И Pu-239

055 физика атомного ядра и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

611289



В в е д е н и е

Исследования взаимодействия нейтронов с делящимися ядрами в последние годы интенсивно развиваются на импульсных нейтронных спектрометрах по времени пролета ^{/1,2,3/}. Они стимулируются не только растущими требованиями реакторной физики в отношении точности измерений парциальных нейтронных сечений, но и возможностью сопоставления различных экспериментальных характеристик самого процесса деления с теоретическими моделями.

Теоретические представления о зависимости процесса деления от J^{π} (спина четности) составного ядра основываются на концепции О.Бора ^{/10/} об "охлажденном" делящемся ядре в переходном состоянии, соответствующем критической деформации. Энергетические уровни (каналы) такого ядра определяются "избыточной" энергией возбуждения над наименьшим делительным барьером. Из-за наличия энергетической щели в четно-четных составных ядрах каналы нуклонной и коллективной природы разделены на величину $\approx 1,5-2$ Мэв и поэтому возбуждения, соответствующие нижним каналам (деление S-нейтронами), имеют коллективную природу.

До последнего времени в экспериментах с резонансными нейтронами сведения о спектре и природе отдельных каналов были получены, в основном, из анализа параметров уровней и, в частности, из распределений делительных ширин и их спиновой зависимости. Отсутствие количественной теории не поз-

воляло предсказывать зависимость распределения энергии, реализуемой в делении через каналы с определенными J и π . Как известно, основную часть полного энергосодержания при делении составляют кинетическая энергия \bar{E}_k и энергия возбуждения E_0^* осколков. Последняя характеризуется количеством испущенных мгновенных нейтронов $\bar{\nu}$. На возможную связь природы делительного канала с распределением энергии между \bar{E}_k и E_0^* впервые было обращено внимание В.Н. Андреевым /11/. Измерения \bar{E}_k и E_0^* при делении ядер резонансными нейтронами позволили бы проверить наличие предсказываемой связи между квантовыми характеристиками ядра непосредственно перед разделением и состояниями образовавшихся осколков сразу после разлета.

В проводимых с 1963 года в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ исследованиях осуществлялась тенденция более полного изучения свойств возбужденных уровней путем измерения парциальных сечений взаимодействия резонансных нейтронов с делящимися ядрами при умеренном разрешении /4,5,6,7,8,9/

В диссертации описываются метод и результаты исследований парциальных сечений ^{235}U и ^{239}Pu в области энергий взаимодействующих нейтронов от 1 эв до 10+30 кэв.

В области выше 100 эв были получены средние сечения, $\alpha(E)$ и резонансные интегралы. Эти величины и, в частности, величина $\alpha(E)$ имеют важное прикладное значение в ядерной энергетике.

В диссертации также приведены результаты относительных измерений $\bar{\nu}$ для деления ^{235}U и ^{239}Pu из состояний с $J = I_0 \pm 1/2$ (где I_0 - спин основного состояния ядра-мишени).

В главе I диссертации приведен обзор литературы по изучаемому вопросу.

Методика измерений и измерения

В главе II диссертации описывается методика исследований парциальных сечений делящихся ядер резонансными нейтронами с использованием времени пролета. Измерения проводились на импульсном быстром реакторе (ИБР) ОИЯИ с разрешением $\approx 0,05$ мксек/м.

Для получения высокой абсолютной эффективности регистрации актов деления и радиационного захвата был разработан и изготовлен жидкостный сцинтилляционный детектор объемом 500 л на основе толуола с введенным в раствор пропиновокислым кадмием /12/.

Принцип регистрации делений и радиационных захватов основан на том факте, что деление ядра сопровождается испусканием мгновенных γ -лучей и нейтронов, а радиационный захват - только γ -лучей. Тогда регистрации акта деления соответствует задержанное совпадение между 1) испусканием мгновенных γ -лучей деления, фиксирующих момент деления, и 2) захватом кадмием одного из замедлившихся нейтронов деления, фиксирующих сам акт деления, и дающего в результате каскад в среднем из четырех γ -квантов с суммарной энергией $\approx 9,2$ Мэв. Время, разделяющее эти события, определяется средним временем жизни нейтрона в детекторе до захвата, которое равно 8 мксек. Радиационный захват нейтрона образцом сопровождается испусканием γ -лучей с полной энергией, равной энергии связи нейтрона в образовавшемся ядре.

В зависимости от режима работы детектора пороги регистрации γ -лучей деления и радиационного захвата устанавливались такими, чтобы эффективности регистрации актов деления и радиационного захвата составляли $\epsilon_d \geq 0,40$ и $\epsilon_z \geq 0,20$. Этот детектор позволял в геометрии, близкой к 4π , проводить измерения с образцами ^{235}U и ^{239}Pu площадью до 250 см² и общим весом до 200 гр. Для уменьшения чувствительности детектора к рассеянным образцом нейтронам между образцом и детектором помещались фильтры из Li^6F толщиной до 3см.

Естественный фон детектора при пороге дискриминации 0,3 Мэв составлял ≈ 20 имп/сек по каналу регистрации радиационных захватов и менее 0,3 имп/сек - по делительному каналу.

В схеме нейтронного спектрометра детектор располагался на пролетном расстоянии 1000 м. Сигналы подавались в Измерительный центр ЛНФ, где находятся многоканальные временные анализаторы ^{/13/}; использовалась кабельная связь с электронно-вычислительной машиной (ЭВМ), с помощью которой проводилась окончательная обработка результатов измерений. Изготовленный детектор был также использован в измерениях среднего числа мгновенных нейтронов на акт деления ($\bar{\nu}$) в отдельных резонансах ²³⁵U и ²³⁹Pu. Измерения проводились по следующей схеме: сигнал, фиксирующий момент деления (от делительной камеры или мгновенных γ -лучей деления), открывал нормально закрытые ворота для пропускания импульсов от захвата кадмием мгновенных нейтронов. Ширина ворот колебалась от 10 до 25 мксек. После прохождения ворот импульсы запоминались тремя триггерами. Состояния триггеров с признаком "эффект" параллельно переносились на 20-разрядный регистратор с памятью на магнитной ленте ^{/14/}. Затем триггеры возвращались в исходное состояние. Для измерения фона ворота открывались вторично через 40 мксек после момента деления, и фоновые импульсы пересчитывались теми же триггерами. Состояния триггеров с признаком "фон" также переносились на 20-разрядный регистратор. При обработке дешифрирующее устройство многомерного анализатора позволяло получать временные спектры, соответствующие регистрации 0,1,2...7 нейтронов на акт деления. Полученная информация передавалась на ЭВМ "Минск-22", где проводилась первичная обработка с использованием вычислительной системы с визуальным каналом связи в виде осциллографа со световым карандашом ^{/15/}. Окончательная обработка проводилась на ЭВМ М-20.

В диссертации подробно описываются калибровки детектора и исследования его характеристик. Обсуждаются также вопросы, связанные со спецификой измерений парциальных сечений в низкоэнергетической области и в области энергий выше 1 кэв, методы определения фонов при работающем реакторе, нормировки сечений и нейтронных потоков, контроль стабильности работы аппаратуры и т.д.

Результаты исследований относительных вариаций $\bar{\nu}$ для ²³⁵U и ²³⁹Pu и их обсуждения

В главе III диссертации приведены результаты измерений $\bar{\nu}$ для ²³⁵U и ²³⁹Pu. Для каждого резонанса i была получена величина $(\bar{\nu} \epsilon_n)_i$ в соответствии с выражением

$$(\bar{\nu} \epsilon_n)_i = \sum_{j=m}^{m+k} (\bar{\nu} \epsilon_n)_j = \sum_{j=m}^{m+k} \frac{\sum_{n=0}^7 p (N_{nj} - \omega_i \Phi_{nj} - F_{nj})}{Q \sum_{n=0}^7 (N_{nj} - \omega_i \Phi_{nj} - F_{nj})}, \quad (1)$$

где N_{nj} - полное число случаев регистрации p импульсов детектора в j -том канале временного анализатора, Φ_{nj} - число случаев регистрации p -фоновых импульсов ("переменный фон" случайных совпадений), F_{nj} - число случаев регистрации p -фоновых импульсов, связанных с фоном образца и радиоактивностью помещения ("постоянный фон"), ϵ_n - эффективность регистрации нейтрона деления, ω_i - поправочный коэффициент на эффект энергетического смещения при регистрации переменного фона методом задержанных совпадений, Q - поправочный коэффициент, учитывающий просчеты, связанные с разрешающим временем канала регистрации нейтронов деления. Суммирование производится по каналам временного анализатора, включающим рассматриваемый резонанс.

Таким образом, знаменатель выражения (1) представляет число зарегистрированных актов деления, а числитель - соот-

ветствующее число зарегистрированных нейтронов. Результаты серий измерений с камерой деления и образцами согласуются между собой в пределах ошибок. В каждой серии измерений, характеризуемой толщиной образца и величиной ϵ_n , был получен набор величин $\bar{\nu}_1 / \langle \bar{\nu}_1 \rangle$, где $\langle \bar{\nu}_1 \rangle$ - среднее по всем исследованным резонансам для исследуемого изотопа. Окончательная величина $\bar{\nu}_1 / \langle \bar{\nu}_1 \rangle$ для каждого резонанса получалась как средневзвешенная по всем сериям измерений. Фоны в измерениях с образцами не превышали 30% от площади большинства резонансов и определялись в основном постоянной составляющей фона.

В диссертации подробно обсуждаются упрощающие предположения, использованные при обработке результатов, метод определения погрешностей и поправок ω_1 и Q . Эти поправки были незначительны. На рис. 1 и 2 показаны вариации $\bar{\nu}_1 / \langle \bar{\nu}_1 \rangle$ для всех исследованных резонансов ^{235}U и ^{239}Pu в области энергий (1+40) эв и (5+85) эв, соответственно. На рисунках также приведены данные о спинах резонансов /16,17/ и выходе осколков симметричной массы M_c/M_a /18/ в отдельных резонансах. Для математической оценки связи между $\bar{\nu}_1 / \langle \bar{\nu}_1 \rangle$, g -фактором (спин), M_c/M_a , а также параметрами уровней Γ_{n1}^0 , Γ_{n1} и $(\sigma_0 \Gamma_f)_1$ был использован метод корреляционного анализа и рассчитанные коэффициенты корреляции приведены в таблице 1.

Отсутствие корреляций между $\bar{\nu}_1 / \langle \bar{\nu}_1 \rangle$, Γ_{n1}^0 и $(\sigma_0 \Gamma_f)_1$ говорит о том, что различия в величинах нейтронных и делительных сечений в отдельных резонансах не приводят к систематическим ошибкам при регистрации мгновенных нейтронов деления.

В диссертации на основе результатов таблицы I делается заключение о спиновой зависимости $\bar{\nu}$ и в таблице II приведены средние значения $\bar{\nu}_1 / \langle \bar{\nu}_1 \rangle$ для двух групп уровней со спинами 3^- и 4^- для ^{235}U и 0^+ и 1^+ для ^{239}Pu .

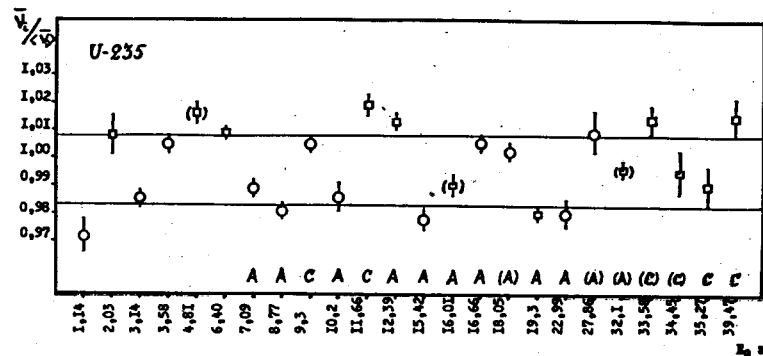


Рис.1. Значения $\bar{\nu}_1 / \langle \bar{\nu}_1 \rangle$ для резонансов ^{235}U . С, А - выход осколков преимущественно симметричной (асимметричной) массы /18/. \square, \circ - результаты косвенного определения спинов ($J = 4^-$ и 3^-) /16/.

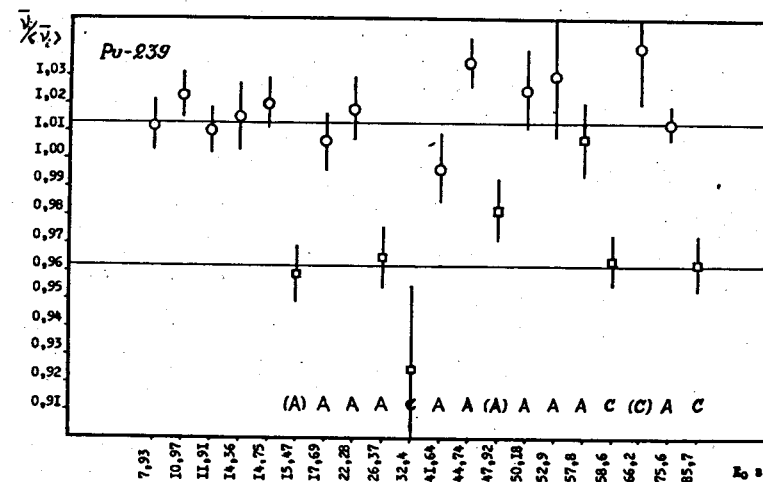


Рис.2. Значения $\bar{\nu}_1 / \langle \bar{\nu}_1 \rangle$ для резонансов ^{239}Pu . С, А - то же /18/. \square, \circ - определение g -фактора ($J = 0^+, 1^+$) /17/.

Таблица I
Значения коэффициентов корреляции
для ^{235}U и ^{239}Pu

$r(a_i, b_i)$	$U -235$	$Pu -239$
$\bar{y}_i / \langle \bar{y}_i \rangle$ относительный выход осколков симметричной массы, M_c / M_a	$0,42 \pm 0,16$	$-0,59 \pm 0,15$
$\bar{y}_i / \langle \bar{y}_i \rangle$ спин уровней (g -фактор)	$0,34 \pm 0,18$ $0,50 \pm 0,17$ (до 20 эв)	$0,84 \pm 0,08$
$\bar{y}_i / \langle \bar{y}_i \rangle, \Gamma_{fi}$	$-0,46 \pm 0,16$	$-0,56 \pm 0,15$
$\bar{y}_i / \langle \bar{y}_i \rangle, \Gamma_{ni}^c$	$-0,11 \pm 0,20$	$-0,02 \pm 0,22$
$\bar{y}_i / \langle \bar{y}_i \rangle, (\sigma_0 \Gamma_{fi})_i$	$-0,07 \pm 0,20$	$0,04 \pm 0,22$

Таблица II
Средние значения $\bar{y}_i / \langle \bar{y}_i \rangle$ и Γ_i для
двух групп уровней ^{235}U и ^{239}Pu

Способ разделения	$\bar{y}_i / \langle \bar{y}_i \rangle$ U -235		$\bar{y}_i / \langle \bar{y}_i \rangle$ Pu -239	
	Группа I	Группа 2	Группа I	Группа 2
По величине $\bar{y}_i / \langle \bar{y}_i \rangle$	$1,007 \pm 0,001$	$0,983 \pm 0,001$	$1,013 \pm 0,003$	$0,962 \pm 0,005$
По спине (g -фактор)	$1,005 \pm 0,002$	$0,990 \pm 0,002$	$1,014 \pm 0,003$	$0,977 \pm 0,005$
По относительному выходу осколков симметричной массы (M_c / M_a)	$1,007 \pm 0,002$	$0,990 \pm 0,002$	$1,007 \pm 0,003$	$0,973 \pm 0,008$
По величине $\langle \Gamma_f \rangle$	U -235		Pu -239	
$\bar{y}_i / \langle \bar{y}_i \rangle$	31 ± 3	70 ± 6	50 ± 8	432 ± 85

В диссертации рассматриваются различные возможные объяснения наблюдаемого эффекта спиновой зависимости \bar{y} . Одно из объяснений основано на капельной модели, предполагающей квазистатичность движения ядра в районе седловой точки и нарушение квазичастичности при спуске с барьера деления к точке разрыва на два осколка. Рассматриваются различные механизмы перехода избыточной над делительным барьером энергии в энергию возбуждения осколков, связанные с временем и характером обмена энергией между коллективными и нуклонными степенями свободы при спуске с барьера, учетом вязкости ядерной жидкости при разделении на осколки и т.д. Рассмотрены также объяснения, предложенные другими авторами /11,19/ на основе канальной теории, конкретизирующие спектр и природу делительных каналов. Обсуждается антикорреляция \bar{y} и E_k для ^{235}U /20/.

На основе полученных данных сделана оценка разницы ΔE^* в энергиях возбуждения осколков при делении через состояния 3^- и 4^- для ^{235}U и 0^+ и 1^+ ^{239}Pu ; $\Delta E^* = 0,31 \pm 0,04$ Мэв и $1,13 \pm 0,39$ Мэв, соответственно. (Привлекались известные значения dv/dE в области нескольких Мэв). Величины ΔE^* находятся в хорошем согласии с последними данными о барьерах деления, полученными из анализа (d, pf) и (t, pf) реакций /21/.

После завершения данной работы поступило сообщение из лаборатории Окриджа о том, что там были также проведены измерения вариаций \bar{y} подобной методикой для ^{235}U и ^{239}Pu в энергетическом диапазоне, частично перекрывающемся с нашим. Для ^{235}U при разбросе отдельных значений \bar{y} , достигающих $(2+3)\%$, не наблюдается в пределах ошибок разделения на две группы уровней. Для ^{239}Pu наблюдаются две группы уровней, и эффект составляет $2,6\%$, но в среднем знак эффекта обратен наблюдаемому в настоящей работе. В диссертации обсуждаются возможные причины несогласия этих результатов с нашими, причем на данной стадии исследования

нельзя утверждать, что между ними имеется противоречие. Так, можно предполагать, что в окриджской работе, выполненной с большой интегральной делительной камерой, за счет высоких порогов регистрации осколков деления отбираются определенные группы осколков (в частности, осколки с большей, в среднем, кинетической энергией), которым соответствуют $\bar{\nu}$, отличающиеся от $\bar{\nu}$, усредненному по всем видам деления. В нашей же работе величины $\bar{\nu}$ усреднены по всем видам деления.

Результаты исследований парциальных сечений ^{235}U и ^{239}Pu и их обсуждение

Глава IV посвящена исследованиям парциальных сечений σ ^{235}U и ^{239}Pu в области энергий от 0,1+30 кэв. Особое внимание уделяется обсуждению вопросов, связанных со спецификой измерений при высоких энергиях и учетом фонов.

Измерения при небольших временах пролета относительно нейтронного импульса реактора предъявляют жесткие требования к точности учета фонов. Постоянные фоны определялись достаточно точно в измерениях без работающего реактора. Фоны при работающем реакторе максимально подавлялись с помощью 1) фильтров из В и ^6Li с парафином, окружающих образец (уменьшение эффективности регистрации рассеянных образцом нейтронов), 2) оборудования вакуумного тракта внутри детектора (уменьшение рассеяния на воздухе), 3) формирования нейтронного пучка с помощью коллиматоров и фильтров за пределами экспериментального помещения (уменьшение рассеяния быстрых нейтронов импульса реактора на коллиматорах, конструкционных материалах и т.д.). Это все позволило уменьшить суммарный фон в канале регистрации радиационного захвата с 50% в первых измерениях до $\approx 30\%$ в последующих для ^{235}U (постоянный фон $\approx 20\%$) и с 70% до $\approx 40\%$ - для ^{239}Pu

(постоянный фон $\approx 30\%$) в области 10+20 кэв. Фоны при работающем реакторе определялись с помощью "черных" фильтров Ag, Co, Mn, Na, Ti, перекрывающих нейтронный пучок. Число отсчетов в данном временном канале анализатора по каналам регистрации делений и радиационных захватов при учетных фонах равняется

$$N_f = n_f \epsilon_f,$$

$$N_c = n_\gamma \epsilon_\gamma + n_f \epsilon_{f\gamma},$$

где n_f, n_γ - число делений и радиационных захватов в образце, $\epsilon_f, \epsilon_\gamma, \epsilon_{f\gamma}$ - эффективности регистрации делений, радиационных захватов и делений в канале регистрации радиационных захватов. Величина $a(i)$ для i -того канала анализатора может быть записана в виде

$$a(i) = A \frac{N_c(i)}{N_f(i)} - B,$$

где константы А и В определялись методом наименьших квадратов из нормировки на известные значения a для изолированных низкоэнергетических резонансов. Измерения временной зависимости числа делений использовались для получения $\sigma_f(E)$; нормировка проводилась также по разрешенным резонансам с хорошо известными параметрами и по тепловому сечению. Относительный ход нейтронного потока определялся из измерений с борными счетчиками. В диссертации подробно обсуждаются вопросы, связанные с калибровкой аппаратуры, нормировкой сечения деления и нормировкой a . Проводится анализ влияния фонов и поправок на многократные взаимодействия в образце, причем особое внимание обращалось на корректную оценку методических ошибок, т.к. статистические ошибки малы и не превышают 3%. Получена точность 15+20% в определении a для ^{235}U и ^{239}Pu . В диссертации проводится сравнение полученных данных по $a(E)$ с данными других авторов

и обсуждаются возможные причины несогласия результатов для ^{239}Pu в области энергий 3+15 кэв (рис. 3,4).

Основные результаты диссертации состоят в следующем:

1. Создана и применена в экспериментах по времени пролета эффективная методика регистрации актов деления, радиационного захвата и мгновенных нейтронов деления с помощью 500-литрового жидкостного сцинтилляционного детектора на основе толуола с пропионатом кадмия.

2. Проведены измерения вариаций $\bar{\nu}$ от резонанса к резонансу для ^{235}U ($E = 1+40$ эв) и ^{239}Pu ($E_n = 5+85$ эв) с точностью $0,2+1\%$. Обнаружено, что при делении через состояния 4^- для ^{235}U и 1^+ для ^{239}Pu испускается в среднем на 0,048 и 0,147 нейтронов на акт деления больше, чем для состояний 3^- и 0^+ , соответственно. Предложено качественное объяснение полученного результата.

3. Проведены измерения $\alpha(E)$ и $\sigma_f(E)$ в области энергий от нескольких эв до ≈ 30 кэв для ^{235}U и ^{239}Pu . Данные по $\alpha(E)$ для ^{235}U в пределах точности измерений согласуются с более поздними результатами групп Харуэлла и Окриджа [22,23,24,25]. Данные по $\alpha(E)$ для ^{239}Pu согласуются с результатами, полученными на электростатических генераторах в области энергий выше 15 кэв, и на 30+50% ниже данных групп Харуэлла в области 3+10 кэв.

Основные результаты настоящей диссертации были опубликованы в работах [4,5,6,7,8,9,12] и докладывались на Международных и Всесоюзных конференциях и рабочих совещаниях.

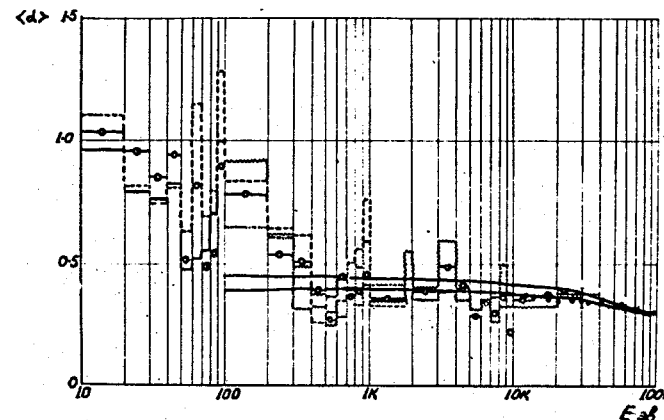


Рис.3. Зависимость $\alpha(E)$ для ^{235}U
 — данные, приведенные в диссертации для двух серий измерений,
 - - - данные работы [22],
 ····· данные работы [23],
 ● — данные, полученные на электростатических генераторах,
 сплошные кривые — расчет по каналовой теории.

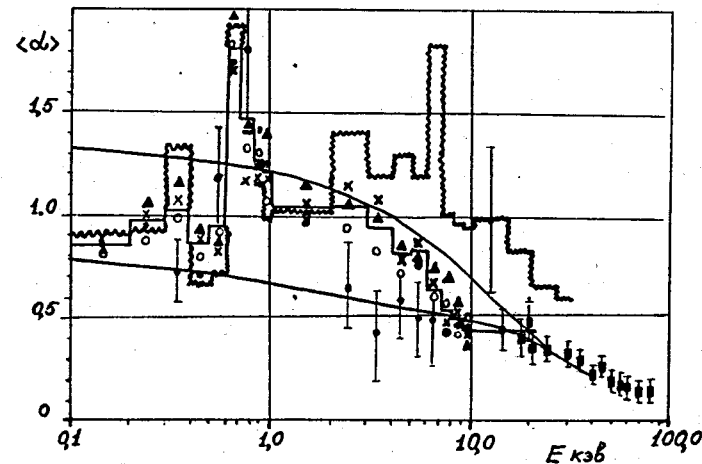


Рис.4. Зависимость $\alpha(E)$ для ^{239}Pu . ●, ×, ○, ▲ — данные, приведенные в диссертации для серий измерений с образцами различной толщины, ~ - данные работы [24,25], сплошные кривые — расчет по каналовой теории.

Л и т е р а т у р а

1. A. Michoudon et al. Nucl. Phys. 69, 545 (1965).
2. H. Derrien et al. Proceedings of Conference on Nucl. Data for Reactors (Paris) IAEA, Vienna, 2, 195 (1967).
3. M. G. Cov et al. Journ. Nucl. Energy, 22, 211 (1968).
4. Ван Ши-ди, Ван Юн-чан, Е. Дерменджиев, Ю. В. Рябов.
"Physics and Chemistry of Fission," IAEA, Vienna, 1, 287 (1965)
5. Ю. В. Рябов и др. Ядерная физика, 5, в. 5, 925 (1967).
Препринт ОИЯИ Р-2713, Дубна, 1966.
6. Ван Ши-ди, Ван Юн-чан, Е. Дерменджиев, Ю. В. Рябов.
Атомная энергия, 19, в. 1, 43 (1965). Препринт ОИЯИ Р-1761,
Дубна, 1964.
7. Ю. В. Рябов и др. Атомная энергия 24, в. 4, 351 (1968).
8. Y. V. Ryabov et al. Intern. Symposium on Nucl. Structure,
Contributions. Dubna, July (1968).
9. Ю. В. Рябов, Со Ден Сик, Н. Чиков, Н. Янева. Англо-совет-
ский семинар по ядерным данным для реакторов, Дубна,
июнь (1968).
10. О. Бор. Материалы международной конференции по мирному
использованию атомной энергии (Женева, 1955), т. 2, Физ-
матгиз, стр. 176.
11. В. Н. Андреев. Тезисы докладов совещания по физике деления
атомных ядер. Ленинград. Изд. АН СССР (1961).
12. Ван Ши-ди, Ю. В. Рябов. ПТЭ № 4, 63 (1965).
13. Г. П. Жуков и др. ПТЭ № 6, 34 (1964).
14. Г. П. Жуков. Диссертация, Дубна (1966).
15. Ю. В. Рябов и др. Препринт ОИЯИ Р10-3761, Дубна 1968.
16. M. Asghar. Phys. Letters 26B, 11, 664 (1968).
17. M. Asghar. Nucl. Phys. A98, 33, (1967).
18. G. A. Cowan et al. Phys. Rev, 130 2380 (1963),
Phys. Rev, 144, 3 (1966).
19. Б. Т. Гейликман. Физические исследования. Доклады сов.
делегации по 1 Женевской конференции. Изд. АН СССР,
стр. 310 (1955).
20. L. G. Miller, M. S. Moore, Phys. Rev, 157, 4, 1055 (1967).
21. H. C. Britt, F. A. Richey. Bull. Amer. Phys. Soc, 13, 36 (1968).
22. F. D. Brooks et al. UKAEA report AEKE-M-1670 (1966).
23. G. de Saussure et al. ORNL-TM-1804 (1967).
24. M. G. Schomberg et al. UK/USSR seminar, Dubna (1968).
25. B. H. Patrick et al. UK/USSR seminar, Dubna (1968)

Рукопись поступила в издательский отдел
8 апреля 1969 года.