



Научно-исследовательский институт
атомных реакторов им. В.И.Ленина

-22(356) Б.Н.Старостов, А.Ф.Семёнов, В.Н.Шефёдов

51179

**ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРОВ
МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ
ВЫНУЖДЕННОГО ДЕЛЕНИЯ
 ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu
ТЕПЛОВЫМИ НЕЙТРОНАМИ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 0,01-5 МЭВ
И СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ ^{252}Cf
В ОБЛАСТИ 0,01-10 МЭВ**

134

**ядерная
физика**

Дмитровград-1978

Н А С Т О Я Ш Е Е И З Д А Н И Е Н И И А Р а

ЯВЛЯЕТСЯ самостоятельной, не всегда дублирующей в последствии в других изданиях ПУБЛИКАЦИЕЙ отдельных оригинальных научных трудов НИИАРа на которую можно сослаться в других публикациях, указывая при этом авторов, наименование, порядковый номер (НИИАР, П-...), год и место издания (Дмитровград).

ИЗДАЕТСЯ с целью более быстрой или более полной информации по сериям:

1. Ядерные реакторы
2. Методика и техника облучения
3. Радиационное материаловедение
4. Радиохимия
5. Ядерная физика
6. Вычислительная техника и электроника
7. Вычислительная математика и программирование
8. Информатика и управление

ПЕЧАТАЕТСЯ на ротапринтере НИИАРа тиражом 170 экз.

РАССЫЛАЕТСЯ в научные организации, научно-технические библиотеки и отдельным лицам на основе обмена и за плату.

НИИАР П-22(356)

Б.И.Старостов, А.Ф.Семенов, В.Н.Нефедов

ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРОВ МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ
ВЫНУЖДЕННОГО ДЕЛЕНИЯ ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu
ТЕПЛОВЫМИ НЕЙТРОНАМИ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ
0,01-5 МЭВ И СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ ^{252}Cf
В ОБЛАСТИ 0,01-10 МЭВ

Р е ф е р а т

Приведены результаты измерений спектров мгновенных нейтронов деления ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu тепловыми нейтронами в диапазоне энергий 0,01–5 МэВ и спонтанного деления ^{252}Cf в диапазоне 0,01–10 МэВ.

В области $E < 0,4$ МэВ отмечается превышение спектров над максвелловскими распределениями. В среднем превышение $\approx 20\%$ в диапазоне $E = 0,05-0,15$ МэВ и 5–7% в диапазоне 0,15–0,4 МэВ для спектра нейтронов деления ^{252}Cf .

Анализ спектров выполнялся после нормировки их и соответствующих максвелловских распределений к одной и той же площади. В области 0,05–0,22 МэВ выход нейтронов деления $^{235}\text{U}+n_T$ на ~ 8 и на $\sim 15\%$ больше выхода нейтронов деления ^{252}Cf и $^{239}\text{Pu}+n_T$ соответственно. В области 0,3–1,2 МэВ выход нейтронов деления $^{235}\text{U}+n_T$ на 8% больше выхода их в случае деления $^{239}\text{Pu}+n_T$. Спектры нейтронов деления $^{235}\text{U}+n_T$ и $^{233}\text{U}+n_T$ в диапазоне 0,05–0,6 МэВ различий не имеют.



1. ВВЕДЕНИЕ

Интерес к спектрам мгновенных нейтронов деления обусловлен как практическими задачами расчета ядерных реакторов, так и изучением самого механизма эмиссии нейтронов. Сейчас накоплен значительный экспериментальный материал по спектрам для энергий $E > 0,5$ МэВ. Считается, что спектры в диапазоне 0,5–8 МэВ описываются максвелловским распределением:

$$n_M(E) = C\sqrt{E} e^{-E/T}, \quad (1)$$

где

- C - константа;
- E - энергия нейтрона;
- T - параметр ядерной температуры.

При расчете реакторов принимается, что спектры согласуются с распределением (1) во всем диапазоне энергий. В действительности это не установлено. Наблюдаются существенные расхождения в данных разных авторов в области $E = 0,5-1$ МэВ. В области $E < 0,5$ МэВ, при измерении которой трудности большие, спектры нейтронов деления нуклидов $^{235}\text{U} + n_T$ и $^{239}\text{Pu} + n_T$, являющихся основными компонентами ядерного горючего, не исследованы. Спектр нейтронов $^{239}\text{Pu} + n_T$ изучен недостаточно и в области $E = 1-8$ МэВ. По спектру нейтронов деления $^{233}\text{U} + n_T$ в области $E < 0,8$ МэВ данных нет. Наиболее полно исследован спектр мгновенных нейтронов спонтанного деления

^{252}Cf . Однако результаты измерений спектра объединяются в две группы со средними энергиями 2,1 и 2,37 МэВ [1]. Кроме этого, существует несколько работ в области $E < 0,5$ МэВ вплоть до $E = 0,002$ МэВ [2-9], результаты которых также противоречивы. Данные одних работ [3-5, 7, 10] показывают превышение спектра в области $E < 0,5$ МэВ над распределением (1) в среднем на 20%, других [6,8,9] описываются распределением (1) с $T = 1,4$ МэВ в широком диапазоне энергий нейтронов 0,01-1,0 МэВ. Актуальность же изучения спектра нейтронов деления ^{252}Cf возросла в связи с рекомендацией МАГАТЭ об использовании его в качестве международного стандарта [11].

2. МЕТОД, ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА, ДЕТЕКТОРЫ И ГЕОМЕТРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Использовался метод времени пролета в наносекундном диапазоне (рис.1). Время-амплитудный конвертор описан в работе [12]. Применялись нейтронные детекторы на основе ^{235}U , не чувствительные к γ -квантам и имеющие известную зависимость эффективности регистрации нейтронов в широком диапазоне их энергий.

Использовались два типа нейтронных детекторов. В первом цикле измерений спектры определялись с помощью газового сцинтилляционно-ионизационного детектора со слоем металлического ^{235}U 90%-ного обогащения [7] (ГСДИК). Камера детектора выполнялась из нержавеющей стали диаметром 110 и высотой h 170 мм. Толщина стенок камеры e 0,5-0,7 мм. Урановая пластина d 110 и e 0,1 мм крепилась на дне камеры. На расстоянии 5 мм от пластины устанавливалось алюминиевое кольцо с сеткой из нихромовой проволоки, на которое подавалось напряжение ~ 100 В. Камера наполнялась ксеноном до атмосферного давления. Световые вспышки в газе регистрировались фотоумножителем ФЭУ-36, импульсы с которого поступали на время-амплитудный конвертор.

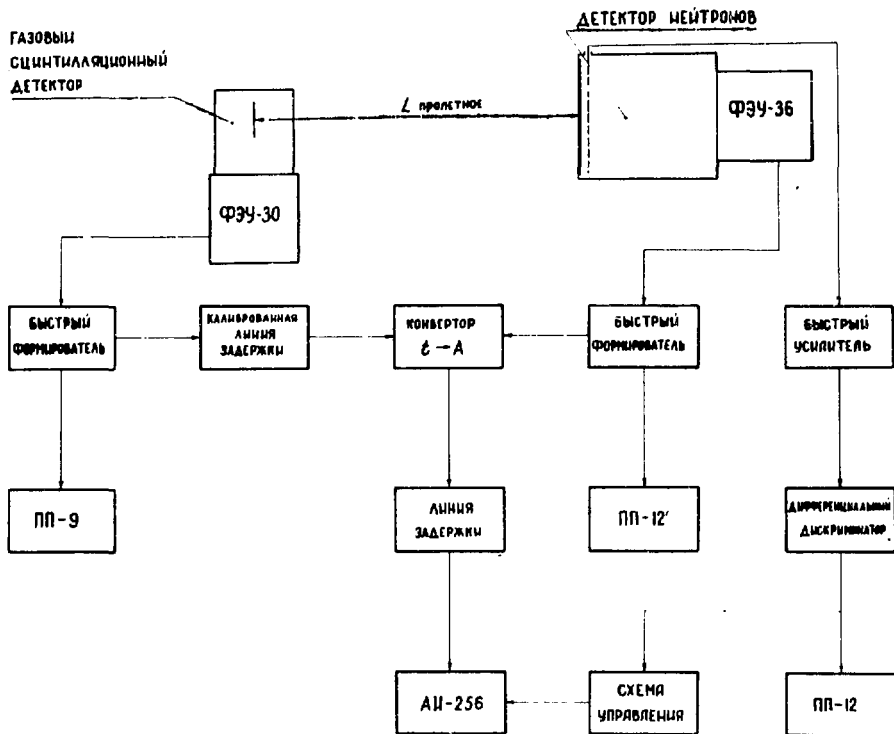


Рис.1. Упрощенная блок-схема электронной аппаратуры

Импульсы ионизации от тех же осколков деления $^{235}\text{U}+n_T$ поступали на "медленный" тракт управления спектрометра (рис.1). Это позволило существенно устранить фон шумов ФЭУ-36 и α -частиц. Осколки деления $^{235}\text{U}+n_T$ детектировались из поверхностного слоя пластины с эффективной толщиной $\sim 2 \text{ мг/см}^2$.

Во втором цикле в качестве нейтронного детектора применялась ионизационная камера (ИК) в токовом импульсном режиме [13]. Камера выполнялась из нержавеющей стали $\phi 140$, $h = 50$, $e = 1 \text{ мм}$. 18 слоев окиси-закиси ^{235}U 90%-ного обогащения наносились на 9 алюминиевых подложек $\phi 90 \text{ мм}$. Общее количество $^{235}\text{U} \sim 1,3 \text{ г}$. Камера наполнялась метаном и импульсы

с ИК усиливались двумя предусилителями [14]. Эффективность регистрации осколков $^{235}\text{U} + n_T \sim 80-90\%$.

В качестве детекторов осколков деления использовались два идентичных газовых сцинтилляционных детектора (ГСД): один со слоем ^{252}Cf и второй со слоями других нуклидов [15]. Камеры ГСД электрополированы и выполнены из нержавеющей стали в виде цилиндров ϕ 60 и $h = 170$ мм. Толщина стенок переменная от 0,2 до 0,5 мм. Камеры наполнялись очищенной газовой смесью аргона с 10% азота до атмосферного давления. Вспышки света регистрировались фотоумножителем ФЭУ-30 со стабилизированным делителем напряжения [16]. Мишени делящихся нуклидов устанавливались перпендикулярно дну камер на тонких проволочных каркасах. Слои ^{252}Cf наносились на подложки из нержавеющей стали. Слои окисей-закисей ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu размерами 38×38 мм² наносились на обе стороны алюминиевых фольг ($\sim 1,5$ мг/см²). В первом цикле использовалось по 16 мг каждого изотопа, а во втором — по 50 мг.

Измерения спектров выполнялись на пучке тепловых нейтронов реактора СМ-2. Тепловой пучок фильтровался кварцем (~ 16 см) и формировался стальным коллиматором с размерами щели 2×20 мм². Детектор осколков деления устанавливался на пучке, а нейтронный детектор — в защите.

В первом цикле применялась комбинированная защита. С внешней её стороны помещались баки $90 \times 90 \times 10$ см³, наполненные раствором борной кислоты в воде. Во внутрь полости из баков вставлялся цилиндр с парафином и карбидом бора с внешним диаметром, равным 55, и внутренним 35 см, длиной 50 см. В этот цилиндр помещался другой с карбидом бора с $\ell = 4$ см. По оси его закреплялся детектор нейтронов. Во втором цикле применялась простейшая защита, состоящая из блоков с парафином и карбидом бора, образующих полость с внутренними размерами $80 \times 80 \times 50$ см³. Толщина стенок составляла 25 см; передняя и задняя стенки отсутствовали. Нейтронные детекторы были покрыты кадмием ($\ell = 0,5$ мм) и ^{10}B 90%-ного обогащения тол-

шиной $\sim 0,3 \text{ г/см}^2$. Все измерения проводились в дополнительной защите, представляющей собой комнату размерами $3 \times 3 \times 3 \text{ м}^3$. Принятые меры снизили фон нейтронов реактора последовательно:

- при покрытии детекторов кадмием и ^{10}B в 100 раз;
- при фильтрации пучка в 20 раз;
- при защите в первом цикле в 6 раз, во втором - в 2,5 раза;
- в отдельной комнате в 2-2,5 раза.

Применение детекторов, нечувствительных к γ -квантам, вообще устранило проблему борьбы с фонами от γ -излучения реактора.

3. ПРОЦЕДУРА ИЗМЕРЕНИЙ

Использовался метод измерения спектров нейтронов деления по времени пролета на разных пролетных расстояниях L . Несмотря на трудоемкость этот метод оправдывает себя, поскольку он чувствителен к неточностям определения уровня случайных совпадений и фона рассеянных нейтронов. В первом цикле выполнены эксперименты на $L = 0,104; 0,214; 0,295$ м. Расстояния изменялись перемещением детектора внутри защиты. Во втором цикле данные получены на расстояниях $L = 0,12; 0,214; 0,4$ м, которые изменялись перемещением детектора нейтронов и защиты как единого целого. На каждом расстоянии L измерения велись суточными сериями продолжительностью 10-20 сут для каждого нуклида.

При выбранном уровне дискриминации импульсов осколков деления эффективность их регистрации в обоих циклах $\sim 95\%$. Скорости счета осколков деления ^{252}Cf в зависимости от мишени составляли $1,2-5,5 \cdot 10^5$ дел с^{-1} , а осколков деления $^{233}\text{U}+n_T$, $^{235}\text{U}+n_T$, $^{239}\text{Pu}+n_T$ - $1,2 \cdot 10^5$ дел с^{-1} в первом цикле измерений и $2 \cdot 10^5$ дел с^{-1} во втором.

Оценка временного разрешения выполнялась путем сравнения расчетных и экспериментальных распределений, измеренных на $L \sim 4,5$ см. Разрешение в первом цикле было $\sim 2,5$ нс, во втором $\sim 5,5$ нс. Дифференциальная нелинейность спектрометра была $\leq 1,5\%$, интегральная $\leq 0,5\%$. Нулевая отметка времени определялась по зависимости положения пика временного распределения нейтронов в каналах анализатора от L и экстраполяцией этой зависимости к нулевому расстоянию.

Все измерения чередовались с измерениями спектра нейтронов деления ^{252}Cf в тех же геометрических условиях (с точностью до размеров мишеней). При этом ФЭУ-30 с блоком питания переставлялся с камеры с нуклидом ^{235}U или ^{239}Pu на камеру ГСД с ^{252}Cf . Дополнительная проверка состояла также в том, что спектр нейтронов деления ^{252}Cf измерялся в начале и в конце первого и второго циклов, когда детекторы нейтронов не были помещены в защиту. В результате были установлены повторяемость данных, стабильность амплитудных и временных характеристик детекторов и аппаратуры.

4. ОБРАБОТКА ИЗМЕРЕНИЙ

После суммирования серий было получено по 6 временных распределений нейтронов деления $^{233}\text{U}+n_T$, $^{235}\text{U}+n_T$, $^{239}\text{Pu}+n_T$, ^{252}Cf . Из всех распределений вычитался уровень случайных совпадений и уровень случайных совпадений между нейтронами и осколками, рожденными в разных актах деления (фон так называемых рециклических нейтронов). После этого все временные спектры, в том числе и спектры нейтронов деления ^{252}Cf , измеренные без защитного устройства, нормировались к одному и тому же числу зарегистрированных нейтронов. Проводилось преобразование временных спектров в энергетические. Эффективность нейтронного детектора принималась пропорциональной сечениям деления ^{235}U , которые брались из работы [17]. В энергетические спектры вводилась поправка на

разрешение, предложенная в работе [18]. Поправка на угловую анизотропию вылета осколков деления ^{235}U в нейтронном детекторе не учитывалась, поскольку в первом цикле измерений по расчету она $\leq 3\%$, а во втором пренебрежимо мала. Экспериментально влияние этой поправки на спектры нейтронов также не было обнаружено.

После усреднения точек в пределах энергетического разрешения из спектров вычитался фон рассеянных нейтронов. Он определялся по разности спектров нейтронов деления ^{252}Cf , измеренных в защите и без неё. Поправки на фон рассеянных нейтронов во втором цикле измерений показаны на рис.2.

После вычитания фона рассеянных нейтронов было получено по шесть энергетических спектров для каждого нуклида. По этим данным рассчитывались средневзвешенные значения точек спектра $\hat{n}_i(E_i)$ и соответствующие средневзвешенные значения энергий E_i .

Каждой точке спектра приписывался статистический вес:

$$\rho_i = \frac{1}{\left(\frac{\Delta E_i}{E_i}\right) \cdot \left[\frac{\Delta n_i(E_i)}{n_i(E_i)}\right]^2}, \quad (2)$$

где

ΔE_i - энергетический диапазон, по которому усреднено значение $n_i(E_i)$ i -й точки;

E_i - энергия, соответствующая i -й точке спектра;

$\frac{\Delta n_i(E_i)}{n_i(E_i)}$ - ошибка i -й точки спектра, в которую входит статистическая ошибка с учетом погрешности в определении уровня случайных совпадений, фона рециклических нейтронов, а также ошибок, связанных с неопределенностями расстояний ΔL и с определением "нуля" времени.

Предполагая, что вес ρ_i равномерно распределен в интервале ΔE_i i -й точки, рассчитывался вклад в этот интервал значений $n(E)$ от других точек с весом

$$\rho_j = \delta \rho_k, \quad (3)$$

где $\delta = \Delta E_j / \Delta E_k$ - отношение доли интервала ΔE_k k -й точки спектра, равной ΔE_j , которая перекрывается с диапазоном ΔE_i i -й точки, ко всему интервалу ΔE_k . Если величина δ была меньше 0,1, то вклад k -й точки в средневзвешенные значения $\hat{n}_i(E_i)$ и \hat{E}_i i -й точки спектра не учитывался. Значения $\hat{n}_i(E_i)$ и \hat{E}_i вычислялись по формулам их определения. Величина каждого выбранного значения $\hat{n}_i(E_i)$ и \hat{E}_i спектров нейтронов деления $^{233}\text{U} + n_T$, $^{235}\text{U} + n_T$, $^{239}\text{Pu} + n_T$ находилась по 5 - 12 точкам, а для спектра нейтронов ^{252}Cf - по 10 - 35 точкам. Методом наименьших квадратов распределения (1) подгонялись к экспериментальным. Затем вместе с экспериментальными точками они нормировались к единичной площади, т.е.

$$\int_0^{\infty} n_N(E) dE = 1.$$

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРА МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ ^{252}Cf

Как уже указывалось в разделе 4, для определения фона нейтронов, рассеянных в защитных устройствах, необходимо знать спектр нейтронов деления ^{252}Cf . Для области $E < 0,8$ МэВ нет данных, которые можно было бы взять за основу. Поэтому измерениям спектра в этой области было уделено значительное внимание. Изменялись конструкции детекторов, толщины их стенок, газовое наполнение, мишени и их активность, а также расстояния L и временные цены канала анализатора T_k . Были выполнены систематические исследования фона нейтронов, рассеянных на конструкционных деталях детекторов нейтронов и осколков деления. Это влияние определялось путем измерения спектров при последовательном увеличении толщины стенок ГСД и ИК в 4-10 раз. Истинные значения спектра $n(E)$ находились экстраполяцией зависимостей $n(E) = f(v_{ГСД}, v_{ИК})$ к нулевой толщине стенок ГСД и ИК. Исследовался и фон нейтронов, рассеянных в помещении и на воздухе. Он находился из измерений, когда нейтронный

поток от детектора осколков на детектор нейтронов был перекрыт защитным конусом из латуни длиной 32 см. Во все данные по спектру были введены поправки.

Рассмотрим отдельные группы измерений спектра нейтронов деления ^{252}Cf . В первую группу (рис.3) включены данные, полученные с усовершенствованными детекторами нейтронов и осколков деления. Использовался ГСД осколков деления с увеличенной длиной камеры до 27 см и толщиной стенок от 0,1 до 0,5 мм. Слой ^{252}Cf наносился на золотую фольгу толщиной ~ 100 мкг/см². В качестве детектора нейтронов применялась ИК из алюминия ϕ 160, $h = 150$, $e = 0,8$ мм. 32 слоя окиси-закиси ^{235}U (ϕ 85 мм) с общим количеством $^{235}\text{U} \sim 3,1$ г [19] наносились на 17 дюралюминиевых подложек, толщиной 0,05 и ϕ 100 мм. ИК наполнялась метаном. Использовались два предусилителя, собранных по схеме работы [19]. Фременное разрешение спектрометра $\sim 5,5$ нс. На $L = 0,124$ м поправка на фон рассеянных нейтронов была $\sim 15\%$ в области $E < 0,05$ МэВ и $\sim 2\%$ в области 0,06 - 0,2 МэВ. На $L = 0,214$ м фон нейтронов, рассеянных на стенках ИК и ГСД, завывшал спектр только в диапазоне 0,3 - 0,8 МэВ и поправка была $\sim 1,3\%$. На $L = 0,4$ м диапазон 0,07 - 0,8 МэВ не искажался фоном рассеянных нейтронов. Фон нейтронов, рассеянных на воздухе, был $\leq 1,8\%$ от полного числа зарегистрированных нейтронов на $L = 0,4$ м и имел в первом приближении равномерное распределение на временной шкале. Фон нейтронов, рассеянных в помещении, надежно отделялся от истинного спектра на всех $L < 0,4$ м.

Во вторую группу данных (рис.4) вошли измерения, в которых применялась усовершенствованная ИК, а ГСД осколков деления был заменен миниатюрной ИК. Слой ^{252}Cf был нанесен на подложку из нержавеющей стали с $e = 0,1$ мм.

В третью группу включены измерения с детекторами первого цикла [7]. В этой группе (рис.5) фон нейтронов, рассеянных на детекторах, был замечен на $L = 0,104$ м. Максимальная поправка на этот фон была $\sim 40\%$ в области $E < 0,03$ МэВ.

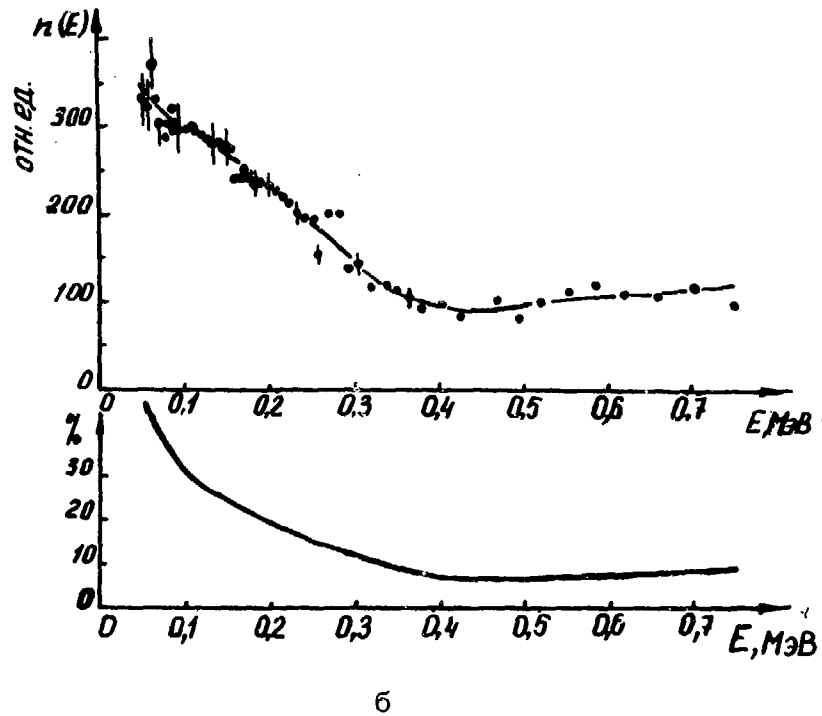
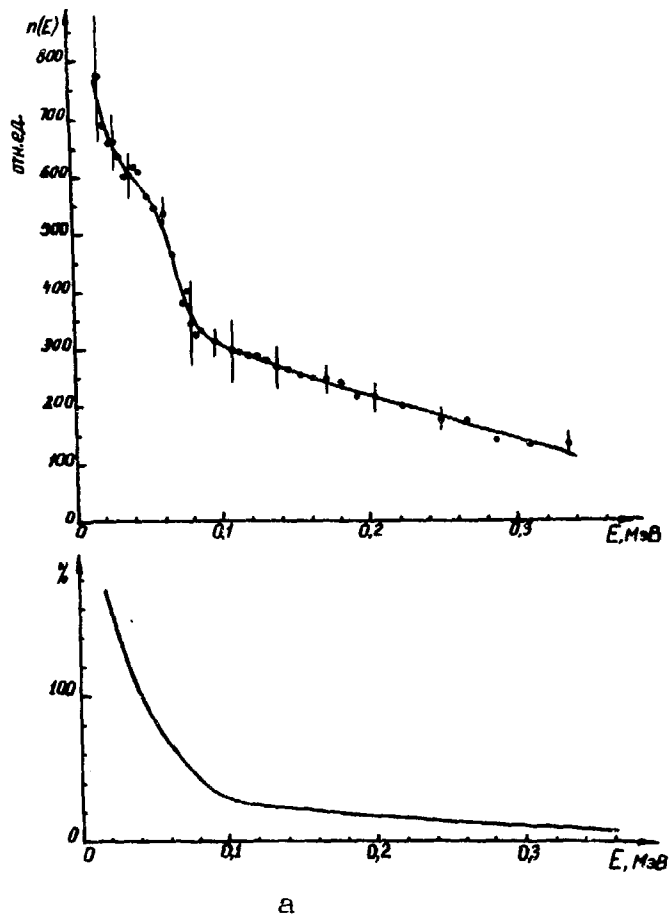
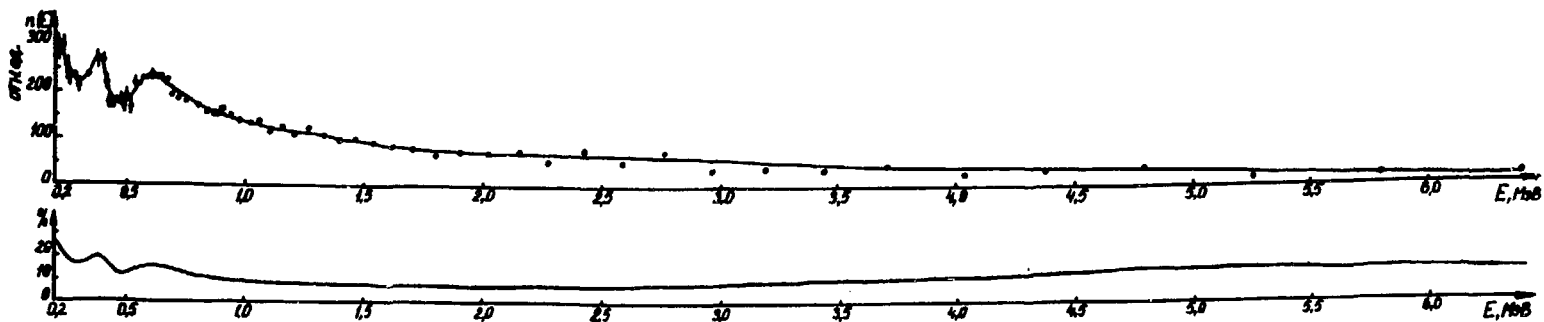
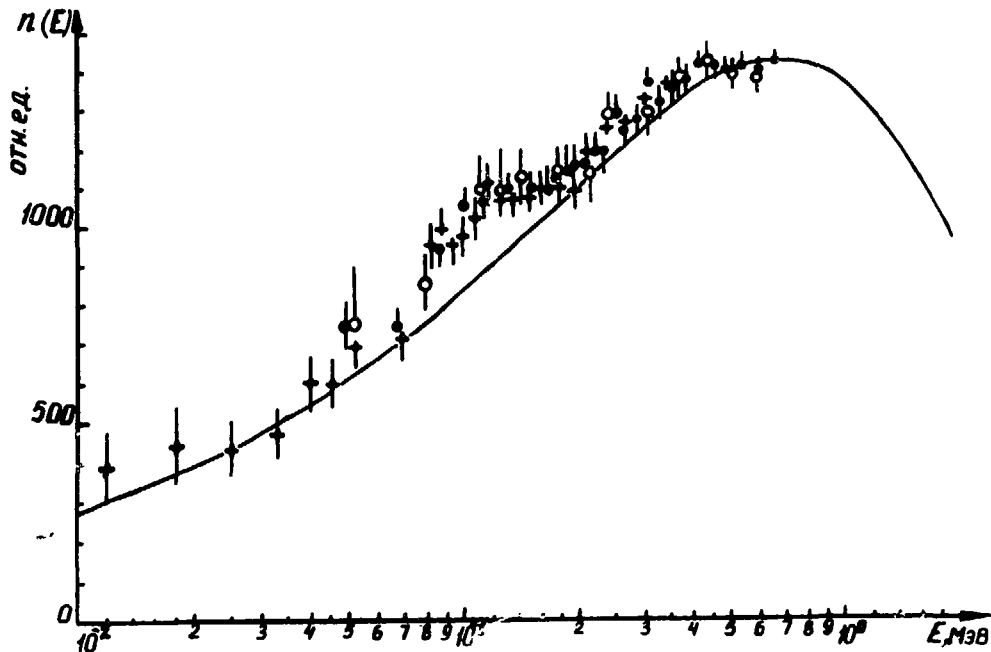


Рис.2. Поправки на фон рассеянных нейтронов во втором цикле измерений: а - $L = 0,12$ м; б - $L = 0,214$ м; в - $L = 0,4$ м



В

Рис. 2. Окончание



13

Рис.3. Энергетический спектр мгновенных нейтронов спонтанного деления ^{252}Cf :
 \square - $L = 0,124$ м, $\tau_k = 0,984$ нс, $n_{\text{дел}} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$;
 \square - $L = 0,214$ м, ϕ - $L = 0,4$ м;
 распределение (1) = $1,428$ МэВ

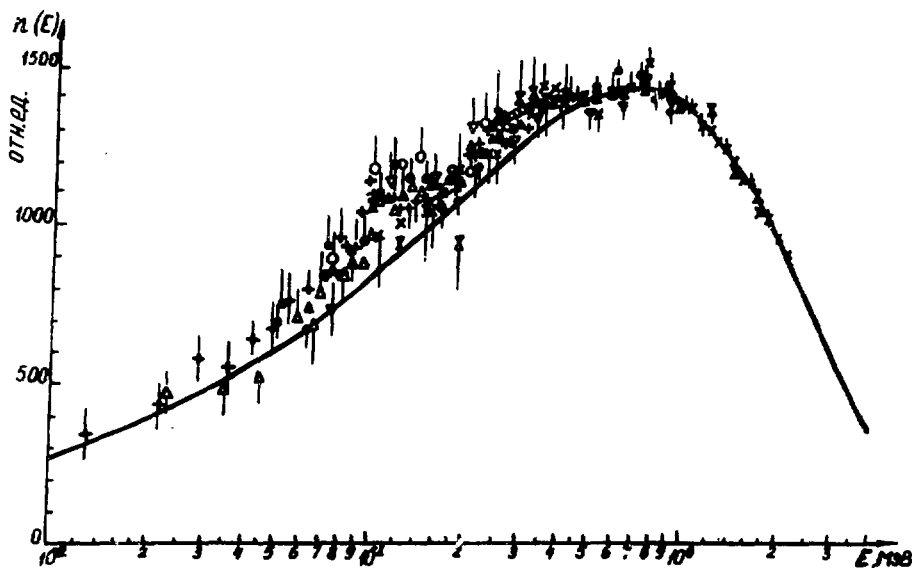


Рис.4. Энергетический спектр мгновенных нейтронов спонтанного деления ^{252}Cf : $\bar{\Gamma}$ - $L = 0,147$ м, $n_{\text{дел}} = 0,75 \cdot 10^5$ с $^{-1}$, $\epsilon_U = 30\%$, подложка $\ell = 0,1$ мм; $\bar{\Delta}$ - $L = 0,147$ м, $n_{\text{дел}} = 2,52 \cdot 10^5$ с $^{-1}$, $\epsilon_U = 30\%$; $\bar{\Pi}$ - $L = 0,247$ м, $n_{\text{дел}} = 2,52 \cdot 10^5$ с $^{-1}$, $\epsilon_U = 30\%$, подложка $\ell = 0,2$ мм; $\bar{\Theta}$ - $L = 0,247$ м, $n_{\text{дел}} = 2,52 \cdot 10^5$ с $^{-1}$, $\epsilon_U = 80\%$; $\bar{\Psi}$ - $L = 0,247$ м, $n_{\text{дел}} = 0,75 \cdot 10^5$ с $^{-1}$, $\epsilon_U = 30\%$; $\bar{\Sigma}$ - $L = 0,497$ м, $n_{\text{дел}} = 2,52 \cdot 10^5$ с $^{-1}$, $\epsilon_U = 80\%$; $\bar{\chi}$ - $L = 0,497$, $n_{\text{дел}} = 2,52 \cdot 10^5$ с $^{-1}$, $\epsilon_U = 30\%$

Средневзвешенные значения спектров трех групп измерений согласуются между собой, несмотря на очень разные условия измерений (рис.6). Поэтому окончательные значения $\hat{n}_i(E_i)$ и \hat{E}_i были определены по всем данным и полученный спектр нейтронов деления ^{252}Cf (рис.7) использовался для нахождения поправок на фон нейтронов, рассеянных в защитных устройствах первого и второго циклов измерений.

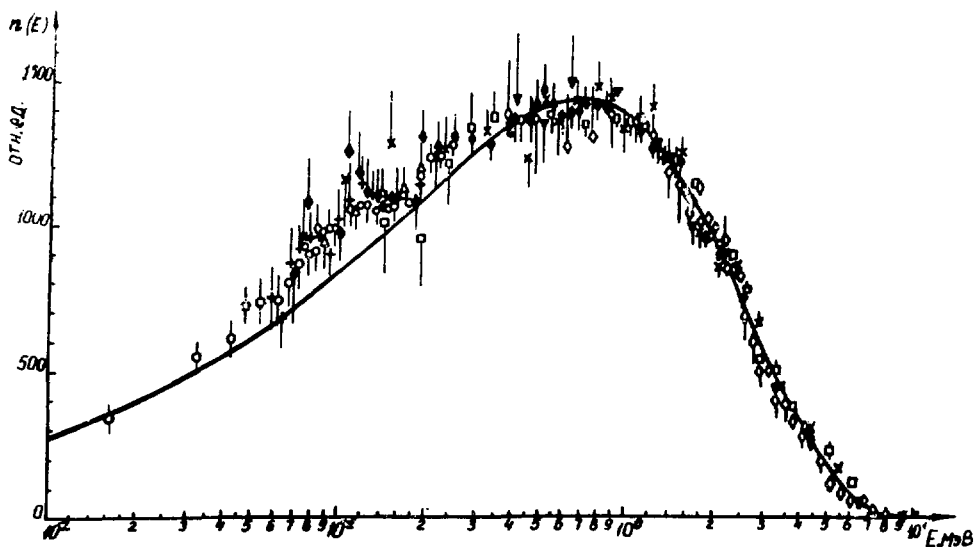


Рис.5. Энергетический спектр мгновенных нейтронов спонтанного деления ^{252}Cf : \circ - $L = 0,104$ м, $n_{\text{дел}} = 3,8 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, $\tau_k = 0,68$ нс; \square - $L = 0,1$ м, $n_{\text{дел}} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, $\tau_k = 0,95$ нс, [7]; \times - $L = 0,25$ м [7]; \square - $L = 0,25$ м, $n_{\text{дел}} = 5,5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, $\tau_k = 0,632$ нс; \blacklozenge - $L = 0,214$, $n_{\text{дел}} = 3,8 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, $\tau_k = 0,68$ нс; ∇ - $L = 0,5$ м [7]; Δ - $L = 0,131$ м, $n_{\text{дел}} = 5,5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, $\tau_k = 0,632$ нс; \diamond - $L = 0,5$ м, $n_{\text{дел}} = 5,5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, $\tau_k = 0,632$ нс

Методом наименьших квадратов распределение (1) подгонялось к спектру нейтронов деления ^{252}Cf в диапазоне 0,7 - 5 МэВ. Найдено, что параметр $T = 1,43 \pm 0,02$ МэВ. В диапазонах 0,05 - 0,15 и 0,15 - 0,4 МэВ получено ~ 20 и 5-7%-ное превышение спектра над распределением (1) с $T = 1,43$ МэВ соответственно.

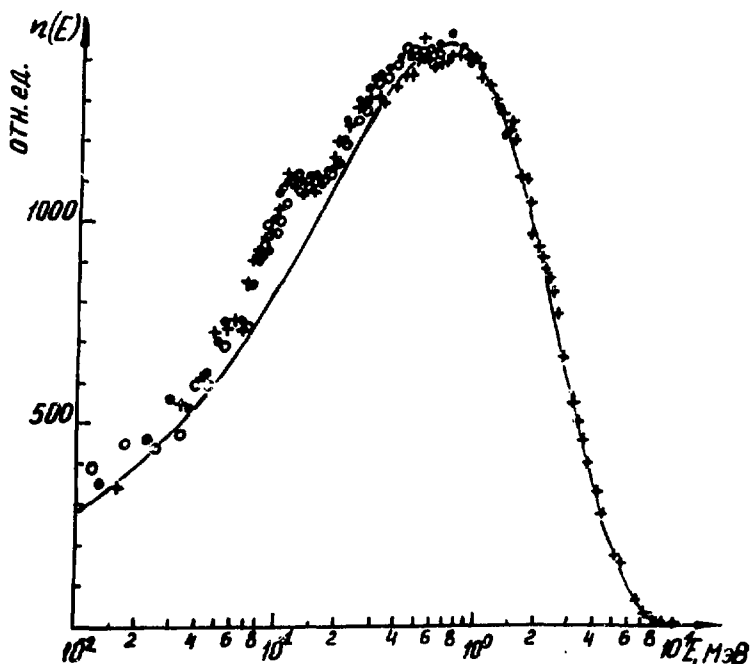


Рис.6. Энергетический спектр мгновенных нейтронов спонтанного деления ^{252}Cf : ● - средневзвешенные значения спектра из измерений с ионизационными камерами в осколочном и нейтронном трактах; + - средневзвешенные значения спектра из измерений с ГСД осколков деления и ГСДИК-детекторов нейтронов; ○ - средневзвешенные значения спектра из измерений с ГСД ($\ell = 27$ см) и ИК-детектор нейтронов

6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРОВ МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ $^{233}\text{U}+n_T$, $^{235}\text{U}+n_T$, $^{239}\text{Pu}+n_T$

Спектры нейтронов деления $^{233}\text{U}+n_T$, $^{235}\text{U}+n_T$, $^{239}\text{Pu}+n_T$ значительно искажались фоном рассеянных нейтронов (рис.2). Поэтому необходимо было выяснить гра-

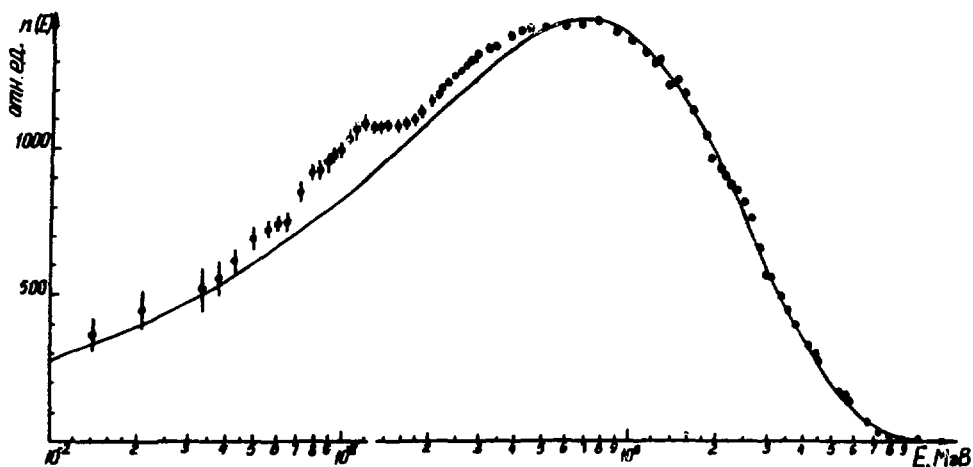


Рис.7. Средневзвешенные значения спектра нейтронов деления ^{252}Cf , полученные по всем данным

ницы применимости приближения одинаковой энергетической зависимости фона рассеянных нейтронов для всех изучавшихся спектров нейтронов деления. Эта задача решалась тремя способами. Во-первых, было проведено два существенно различающихся цикла измерений. В первом цикле поправки на фон рассеянных нейтронов были в 2-4 раза больше, чем во втором. Во-вторых, в каждом цикле измерения выполнены на разных L . При этом для одних и тех же энергетических диапазонов спектров обсуждаемые поправки различались в несколько раз. В-третьих, при измерении спектра нейтронов деления $^{235}\text{U} + n_T$ защитное устройство второго цикла было специально изменено с целью увеличения фона рассеянных нейтронов примерно в 2 раза (измерения на $L = 0,214^*$ м рис.8). Очевидно, что фон рассеянных нейтронов должен быть несколько разным, например, для ^{252}Cf и $^{235}\text{U} + n_T$, так как форма спектров нейтронов деления этих изотопов различна. Изменяя величину и спектр фона рассеянных нейтронов, предполагалось получить разли-

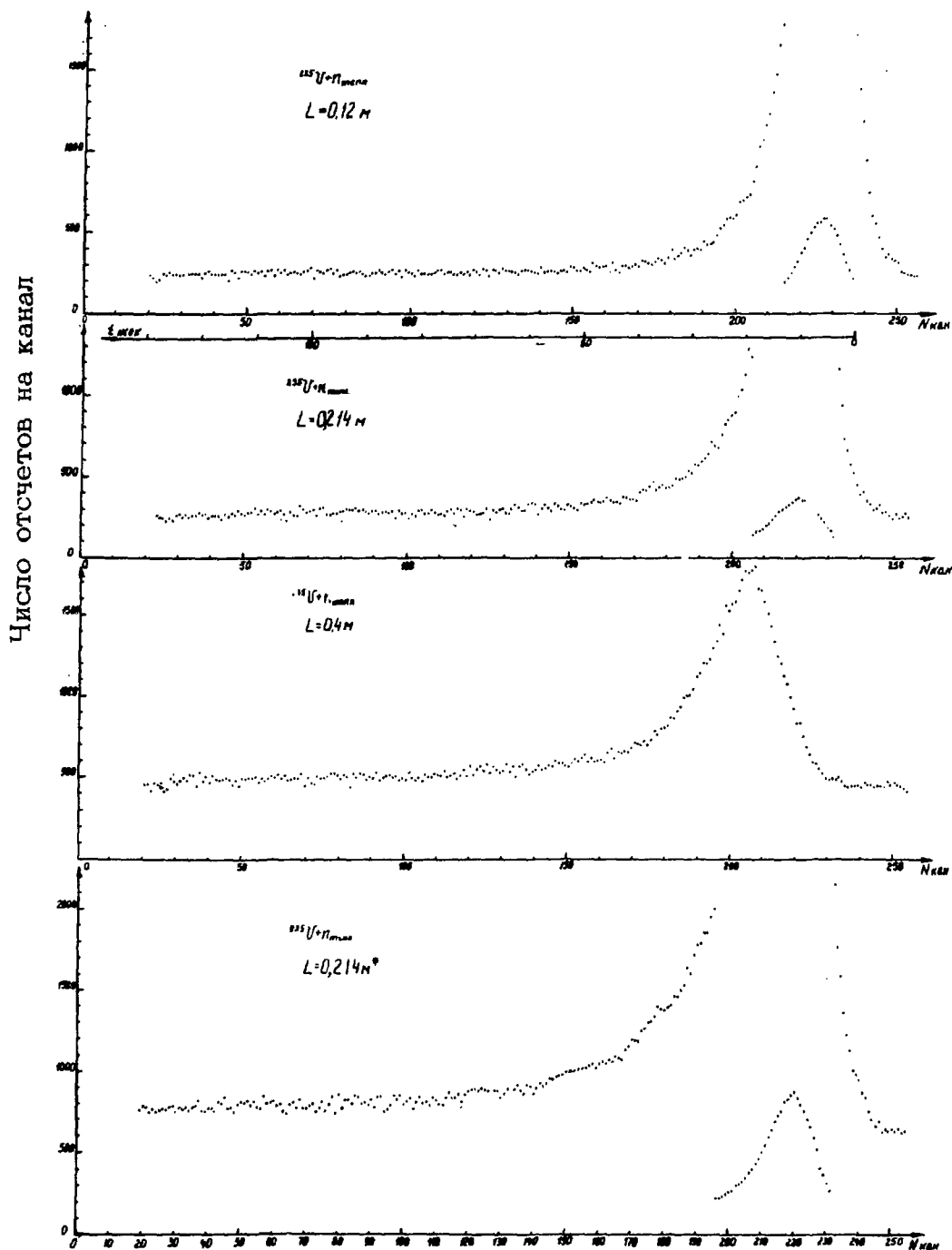


Рис.8. Временные спектры мгновенных нейтронов деления ^{235}U ; второй цикл; $L = 0,214^*$ м - измерения с ИК в геометрии первого цикла

чия в конечных результатах измерений. Однако из сравнения данных в каждом цикле, а также результатов первого и второго циклов установлено, что в пределах точности измерений (3–5%) существенных различий в спектрах в широком диапазоне энергий (0,04 – 1,2 МэВ) не наблюдалось (рис.8–13). Сравнение данных второго цикла для $^{235}\text{U}+n_T$, полученных на $L = 0,214$ м и $L = 0,214^{\times}$ м (рис.11), показало, что в области 0,06–0,7 МэВ спектры согласуются в пределах 3–5%. Все результаты по спект-

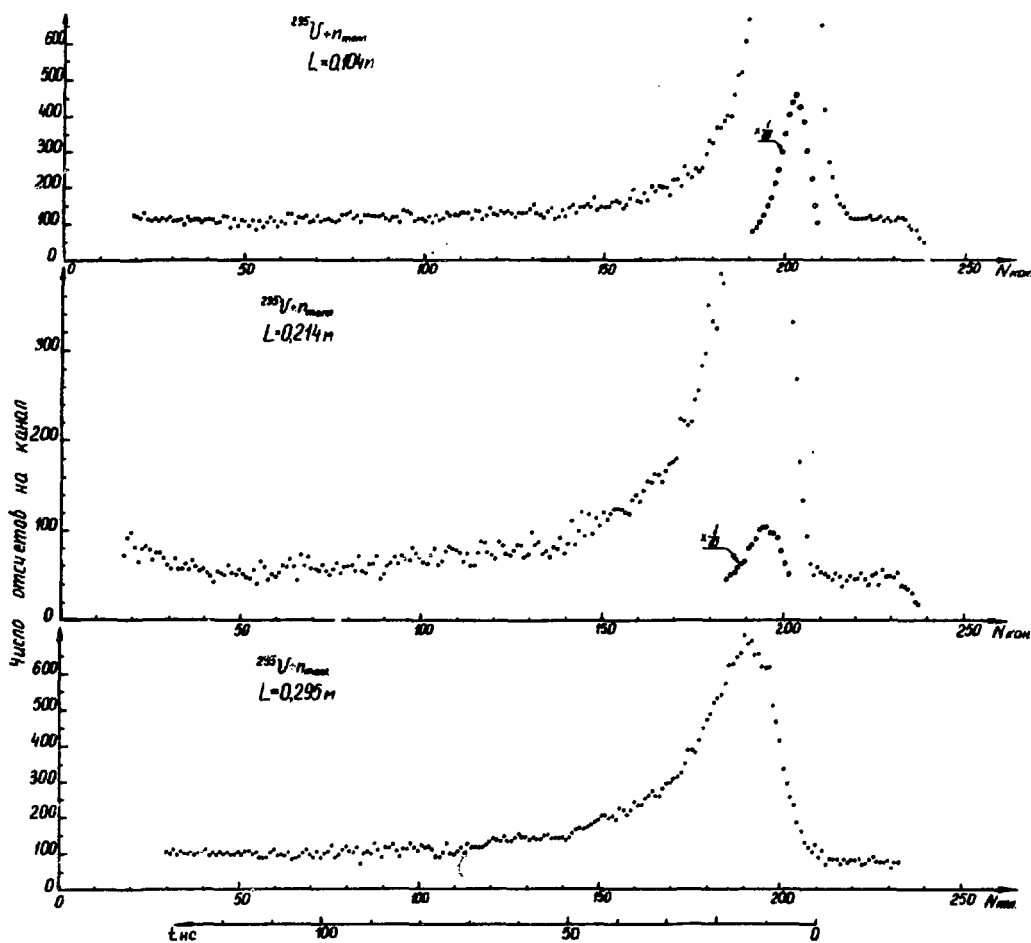


Рис.9. Временные спектры мгновенных нейтронов деления $^{235}\text{U}+n_T$: первый цикл измерений

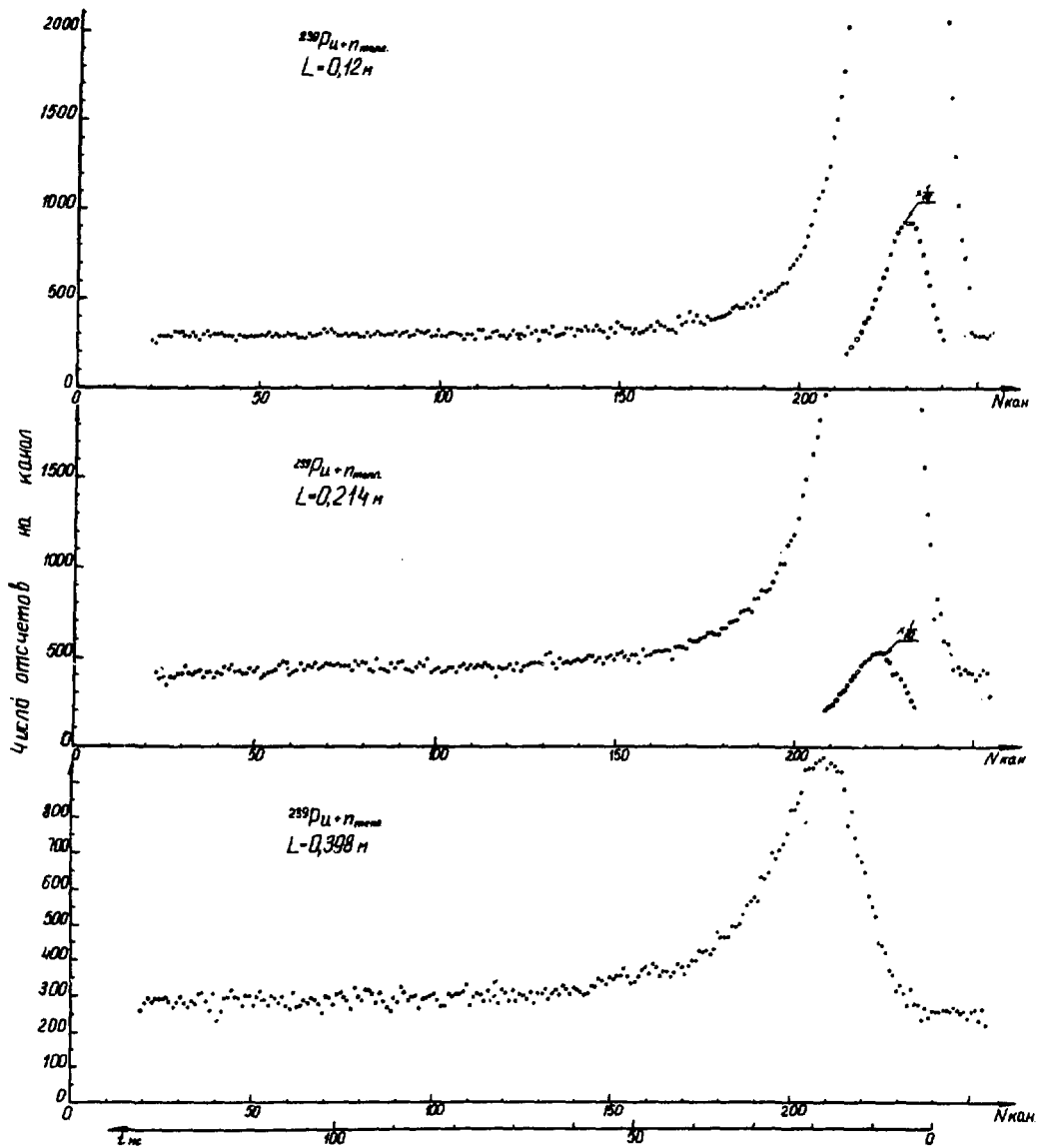


Рис.10. Временные спектры мгновенных нейтронов деления $^{239}\text{Pu} + n_T$: второй цикл измерений

ру нейтронов деления $^{239}\text{Pu} + n_T$ также согласуются (рис.12). Таким образом, верхняя граница ошибок, связанных с обработкой спектров в описанном приближении, по-видимому, меньше 5% в области $E < 0,2$ МэВ и меньше 3% в области $0,2 - 1,2$ МэВ.

Параметры Γ распределения (1) находились по значениям $\hat{n}_i(E_i)$ и \hat{E}_i . В диапазоне $0,5 - 4$ МэВ спектр нейтронов $^{235}\text{U} + n_T$ описывается распределением (1) с $\Gamma = 1,31 \pm 0,04$ МэВ, но в областях $0,05 - 0,15$ и $0,15 - 0,3$ МэВ значения $\hat{n}_i(E_i)$ больше значений $n_M(E)$ в среднем на ~ 30 и на $\sim 10\%$ соответственно. Спектр нейтронов деления $^{239}\text{Pu} + n_T$ согласуется с распределением (1) с $\Gamma = 1,40 \pm 0,04$ МэВ, однако в диапазоне $0,3 - 1,2$ МэВ значения $\hat{n}_i(E_i)$ на 5-7% меньше соответствующих значений $n_M(E)$. Спектр нейтронов деления

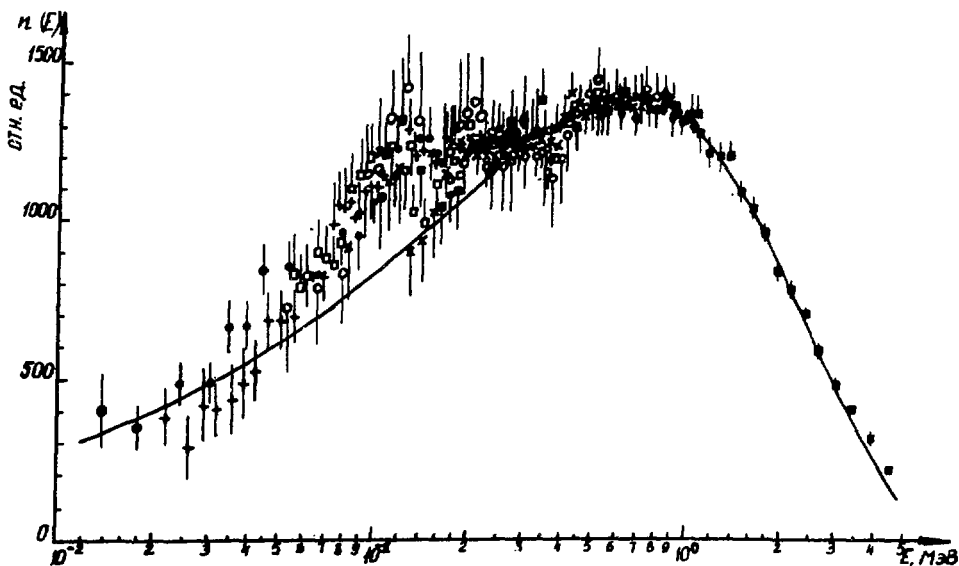


Рис.11. Энергетический спектр мгновенных нейтронов деления $^{235}\text{U} + n_T$: первый цикл: \square - $L = 0,104$ м; \circ - $L = 0,214$ м; \square - $L = 0,295$ м; второй цикл: \square - $L = 0,12$ м; \square - $L = 0,214$ м; \square - $L = 0,398$ м; \square - $L = 0,214^*$ м

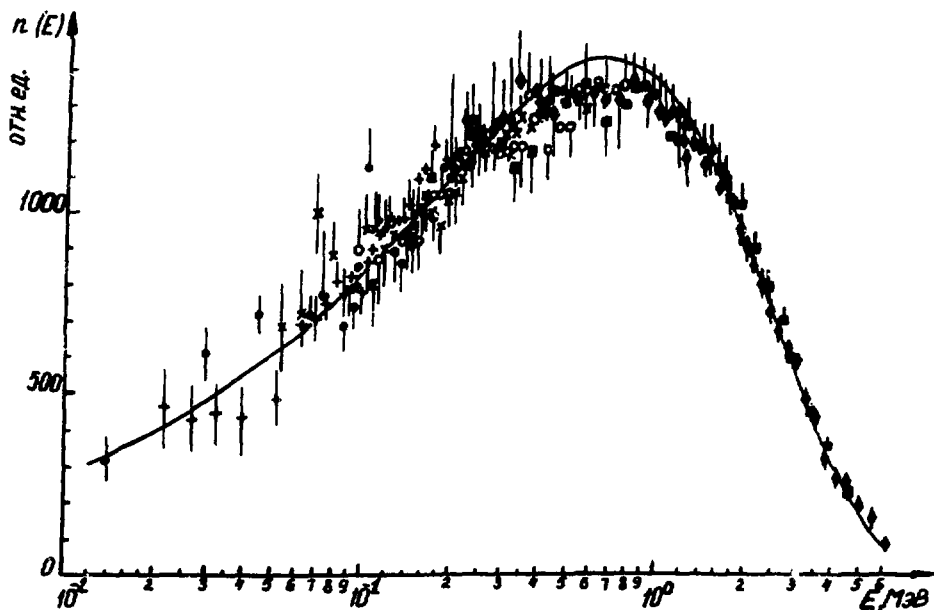


Рис.12. Энергетический спектр мгновенных нейтронов деления $^{239}\text{Pu} + n_T$: первый цикл: $\square - L = 0,104$ м; $\circ - L = 0,214$ м; $\triangle - L = 0,295$ м; второй цикл: $\Gamma - L = 0,124$ м; $\star - L = 0,214$ м; $\diamond - L = 0,396$ м

$^{233}\text{U} + n_T$ отнормирован к распределению (1) с $T = 1,32$ МэВ [20,21]. На рис.14 и в табл.1-4 в качестве ошибок измерений даны доверительные интервалы для доверительной вероятности $\beta = 0,95$. Ошибки в эффективности детектора нейтронов ($\sim 3\%$) не учитывались.

7. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В области $E < 0,4$ МэВ данные по спектру нейтронов деления ^{252}Cf подтверждают выводы работ [3-5,10]

Таблица 1

Спектр мгновенных нейтронов спонтанного деления ^{252}Cf

Е, кэВ	$n(E)$, отн.ед.	$\Delta n(E)/n(E)$, %
1	2	3
14,3	0,085	12
21,1	0,106	9
33,4	0,122	8
36,8	0,131	7
43,9	0,146	6,2
49,7	0,164	5,6
56,2	0,172	3,9
65,2	0,175	4,1
72,4	0,201	3,8
80,4	0,216	2,9
84,6	0,218	2,1
88,9	0,226	2,1
93,8	0,230	2,3
98,7	0,236	2,7
104,6	0,244	3,1
110,6	0,251	2,5
117,7	0,258	1,8
124,7	0,256	1,7
132,7	0,254	1,7
141,4	0,255	1,5
151,7	0,256	1,6
162,1	0,257	1,1
174,9	0,260	1,1
187,3	0,266	1,5
202,7	0,278	1,9
208,0	0,281	1,7
220,8	0,286	1,5
227,5	0,289	1,5
244,7	0,297	1,3
253,9	0,301	1,2

Продолжение табл.1

1	2	3
271,3	0,304	1,2
281,5	0,305	1,2
302,9	0,313	1,3
320,5	0,318	1,2
352,0	0,319	1,2
398,7	0,327	1,2
434,9	0,325	1,5
481,7	0,332	1,1
528,1	0,333	1,1
605,4	0,332	1,1
681	0,336	1,1
781	0,339	1,5
903	0,331	1,2
1028	0,323	1,2
1151	0,314	1,2
1231	0,307	3,1
1263	0,312	2,8
1289	0,301	2,1
1370	0,286	2,1
1412	0,288	2,1
1485	0,294	1,7
1562	0,282	2,1
1681	0,268	1,9
1773	0,261	1,9
1845	0,246	1,6
1942	0,228	1,7
2069	0,221	1,7
2152	0,214	1,6
2246	0,208	1,7
2383	0,203	1,7
2532	0,194	2,5
2642	0,181	3,1

Окончание табл.1

1	2	3
2844	0,156	4,3
3002	0,134	4,1
3113	0,132	3,1
3412	0,118	3,1
3572	0,107	2,5
3784	0,094	2,5
4229	0,077	3,5
4479	0,071	4,2
4544	0,066	4,1
5437	0,041	4,1
5647	0,038	4,1
5815	0,034	4,1
6752	0,014	3,9
7310	0,007	3,8
7918	0,0054	4,5
9171	0,0012	6,6
10140	0,00082	12,5

Таблица 2

Спектр мгновенных нейтронов вынужденного деления ^{235}U тепловыми нейтронами

E, кэВ	$n(E)$, отн. ед.	$\frac{\Delta n(E)}{n(E)}$, %
1	2	3
14,2	0,107	25
18,7	0,094	20
24,6	0,119	20
30,4	0,122	24
35,3	0,163	24
39,6	0,163	17
45,1	0,201	10
56,5	0,214	5,5
66,6	0,230	5,5
79,8	0,266	5,1
91,9	0,293	4,1
101,4	0,307	4,1
114,1	0,320	3,7
125,6	0,325	7,2
139,0	0,302	5,6
155,4	0,293	4,1
173,0	0,320	3,6
186,3	0,330	2,9
194,9	0,330	3,1
205,0	0,335	1,9
216,0	0,335	1,9
234,0	0,328	1,8
253,4	0,330	1,7
270,0	0,332	2,7
282,3	0,333	1,8
298,3	0,331	1,5
313,8	0,333	1,5
331,5	0,331	3,3
350,2	0,330	3,9

1	2	3
370,6	0,326	3,3
393,4	0,346	2,7
418,7	0,360	2,9
444,3	0,363	2,1
474,5	0,366	2,1
507,2	0,370	1,7
540,8	0,366	1,5
582,2	0,368	1,5
628,6	0,370	1,6
678,0	0,368	1,5
732,4	0,368	1,6
795,5	0,367	1,5
845,9	0,373	1,5
901	0,365	2,6
962	0,360	2,4
1034	0,358	3,9
1089	0,347	3,9
1192	0,328	4,1
1287	0,325	4,1
1393	0,325	4,1
1514	0,294	4,5
1651	0,280	4,8
1807	0,258	4,1
1987	0,228	4,2
2195	0,212	4,3
2437	0,191	4,3
2722	0,160	4,4
3060	0,130	4,4
3465	0,107	4,5
3956	0,087	4,7
4560	0,059	5,5

Таблица 3

Спектр мгновенных нейтронов вынужденного деления ^{239}Pu тепловыми нейтронами

E , кэВ	$n(E)$, отн. ед.	$\frac{\Delta n(E)}{n(E)}$, %
1	2	3
19,5	0,101	20
30,0	0,115	19
46,9	0,147	18
55,3	0,158	17
64,8	0,169	10
72,1	0,185	10
81,8	0,190	5,5
93,0	0,191	5,5
102,4	0,211	5,5
111,4	0,226	5,1
120,8	0,229	3,7
131,1	0,231	3,6
141,4	0,234	5,1
149,8	0,242	7,4
155,1	0,251	6,4
162,2	0,257	5,4
173,9	0,258	5,1
185,9	0,261	6,1
197,6	0,266	3,7
207,4	0,274	2,7
220,7	0,277	3,1
235,4	0,291	2,7
249,5	0,294	2,3
263,7	0,295	3,2
288,5	0,295	2,2
305,7	0,292	2,1
320,0	0,296	2,1
333,8	0,294	2,5
350,0	0,304	3,2
374,4	0,305	4,1

Окончание табл.3

1	2	3
400,7	0,307	2,5
423,5	0,315	3,1
443,9	0,319	5,3
469,8	0,318	4,2
508,8	0,317	2,7
551	0,321	2,5
586	0,324	2,8
634	0,324	2,5
688	0,319	3,4
749	0,321	2,2
799	0,325	3,3
844	0,324	2,2
968	0,316	3,6
1046	0,316	2,6
1116	0,306	3,8
1199	0,298	5,0
1298	0,296	4,5
1405	0,287	3,2
1524	0,283	4,1
1666	0,267	5,5
1822	0,253	6,1
2003	0,230	6,1
2216	0,208	6,2
2450	0,184	7
2744	0,162	8
3085	0,141	8,5
3479	0,111	10
3997	0,076	10
4515	0,060	10

Таблица 4

Спектр мгновенных нейтронов вынужденного деления ^{233}U тепловыми нейтронами

Е, кэВ	$n(E)$, отн. ед.	$\frac{\Delta n(E)}{n(E)}$, %
1	2	3
18,3	0,115	30
25,1	0,118	28
30,8	0,125	25
43,1	0,207	20
57,6	0,205	11
67,5	0,194	16
82,8	0,243	16
97,0	0,298	6,1
109,1	0,288	5,7
120,0	0,287	6,8
133,9	0,312	5,1
154,3	0,342	5,4
175,7	0,342	4,1
199,2	0,346	4,1
236,9	0,346	4,1
284,3	0,349	5,0
341,3	0,353	4,3
383,6	0,363	5,8
447	0,359	5,3

Окончание табл.4

1	2	3
493	0,369	7,8
537	0,359	7,3
568	0,369	7,3
737	0,366	2,5
849	0,361	2,6
964	0,363	2,6
1065	0,360	6,3
1197	0,336	6,8
1295	0,312	6,4
1372	0,314	5,3
1514	0,297	6,1
1651	0,278	5,8
1807	0,256	5,7
1987	0,239	5,8
2195	0,219	5,8
2437	0,186	5,8
2722	0,157	6,0
3060	0,140	6,5
3465	0,09	8,0
3956	0,08	10
4559	0,07	15

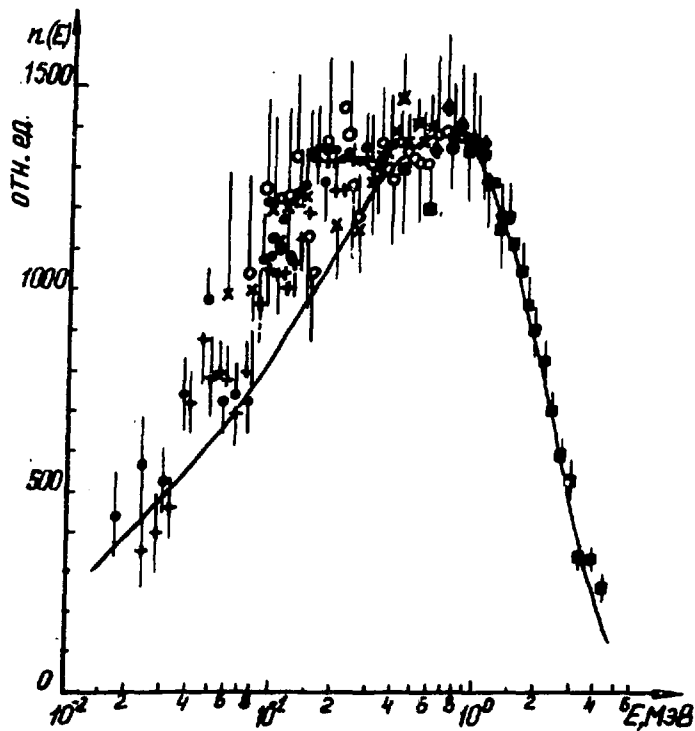


Рис.13: Энергетический спектр мгновенных нейтронов деления $^{233}\text{U} + n_T$: первый цикл: \square - $L = 0,104$ м; \circ - $L = 0,214$ м; \bullet - $L = 0,295$ м; второй цикл: ∇ - $L = 0,124$ м; \times - $L = 0,214$ м; \blacklozenge - $L = 0,396$ м

о превышении спектра над распределением (1). На рис.15, кроме результатов данной работы, отдельно показан спектр нейтронов деления ^{252}Cf из работ [8,9], а также расчеты спектра по формуле, предложенной в работах [10, 22]. Эта формула применима для описания спектра в области $E < 1$ МэВ [10, 22]. Здесь выполнен расчет для более широкой области энергий 0,01-10 МэВ с использованием параметров $T = 1,43$ и 1,6 МэВ. При $T = 1,6$ МэВ спектр можно описать распределением, предложенным в работах [10, 22]

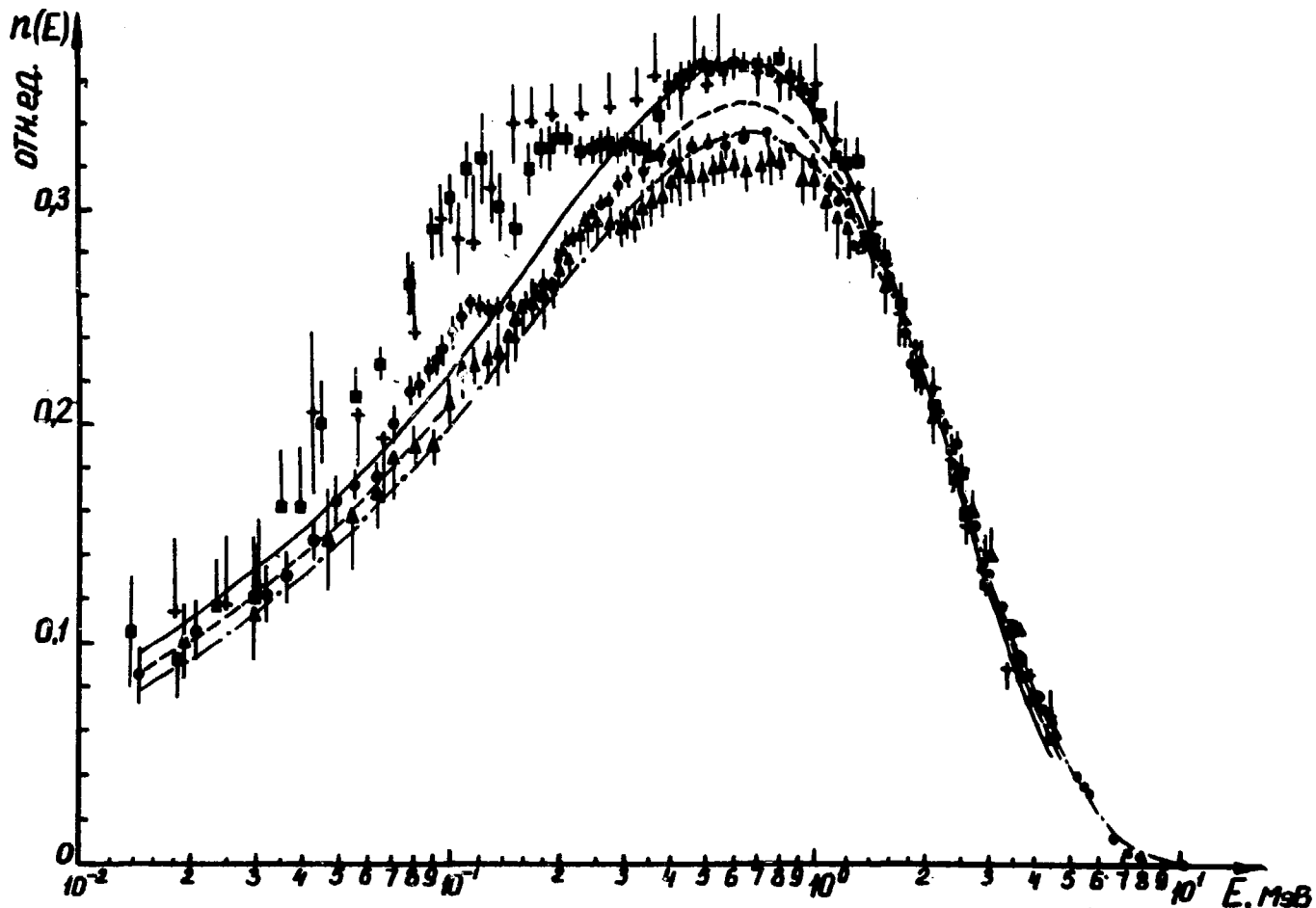


Рис.14. Энергетические спектры мгновенных нейтронов деления $^{233}\text{U} + n_T$, $^{235}\text{U} + n_T$, $^{239}\text{Pu} + n_T$, ^{252}Cf : \blacksquare - спектр нейтронов ^{252}Cf ; \blacktriangle - спектр нейтронов $^{239}\text{Pu} + n_T$; \blacksquare - спектр нейтронов $^{235}\text{U} + n_T$; \blacktriangle - спектр нейтронов $^{233}\text{U} + n_T$; максвелловское распределение с T : $-\cdot-\cdot-$ - $T = 1,428$ МэВ; $-\cdot-\cdot-$ - $T = 1,38$ МэВ; $-\cdot-\cdot-$ - $T = 1,31$ МэВ. Значения $n(E)$ и E средневзвешенные

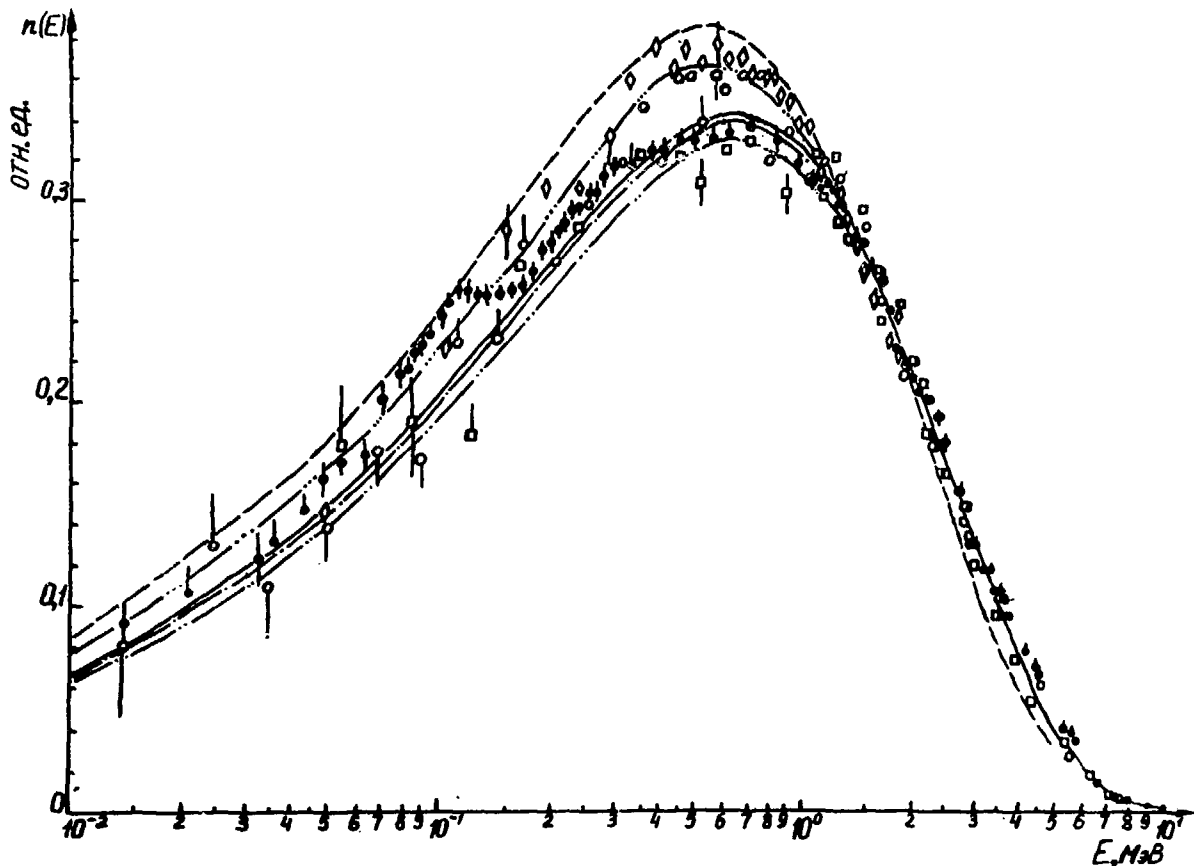


Рис.15. Энергетический спектр мгновенных нейтронов деления ^{252}Cf : \circ - результаты данной работы; \diamond - результаты измерений работы [8]; \square - результаты измерений работы [9]; распределение (1): — — — $T = 1,406$ МэВ; — · — · — $T = 1,428$ МэВ; — · · — · — $T = 1,46$ МэВ; - - - - - расчет спектра по формуле из работы [10] с $T = 1,43$ МэВ и $T = 1,6$ МэВ соответственно

в широком диапазоне 1 - 8 МэВ, но при $E < 1$ МэВ существуют заметные отклонения спектра от расчета.

Значения $n(E)$ по спектру нейтронов деления ^{252}Cf в диапазоне 0,3 - 0,8 МэВ на 10-15% меньше значений $n(E)$ работ [8,9]. В области $E < 0,05$ МэВ данные работы [23] завышены из-за отсутствия учета фона нейтронов, рассеянных на стенках ГСДИК и ИК.

Дальнейший анализ результатов удобно провести, исследуя отношения спектров и распределений (1), поскольку спектры нейтронов $^{233}\text{U}+n_T$, $^{235}\text{U}+n_T$, $^{239}\text{Pu}+n_T$ измерены в одинаковых фоновых и геометрических условиях. Отношение $n(E)_U/n(E)_{Pu}$ для $E = 0,05 - 0,22$ МэВ в среднем равно 1,24, а отношение $n_M(E)_U/n_M(E)_{Pu} = 1,065$, если принять параметры $T_U = 1,31$ и $T_{Pu} = 1,38$ МэВ (рис.16). В этом случае выход нейтронов деления $^{235}\text{U}+n_T$ больше выхода нейтронов $^{239}\text{Pu}+n_T$ на 16%. Отметим, что анализ спектров выполняется после нормировки распределений (1) к единичной площади, т.е. $\int_0^\infty n_M(E) dE = 1$. В широком диапазоне 0,2 - 1,2 МэВ $n(E)_U/n(E)_{Pu} = 1,14$ и $n_M(E)_U/n_M(E)_{Pu} = 1,05$, т.е. выход нейтронов $^{235}\text{U}+n_T$ на 8% больше выхода нейтронов деления $^{239}\text{Pu}+n_T$. Эта закономерность для $E = 0,2 - 1$ МэВ была отмечена в работе [2] и объяснения не имеет. В случае отношений $n(E)_{^{233}\text{U}}/n(E)_{^{235}\text{U}}$ в диапазоне 0,05-0,6 МэВ в среднем отличия от единицы не обнаружено. В диапазонах 0,05 - 0,22 и 0,3 - 0,42 МэВ выход нейтронов $^{235}\text{U}+n_T$ соответственно на ~8 и ~7% больше и меньше выхода нейтронов деления ^{252}Cf . В диапазоне 0,42 - 4,5 МэВ отношения $n(E)_{^{235}\text{U}}/n(E)_{^{252}\text{Cf}}$ равны отношениям $n_M(E)_U/n_M(E)_{^{252}\text{Cf}}$. В диапазоне 0,05 - 1 МэВ выход нейтронов деления ^{252}Cf на 5-8% больше выхода нейтронов $^{239}\text{Pu}+n_T$. Описанные закономерности также указывают на отклонения спектров от распределений (1).

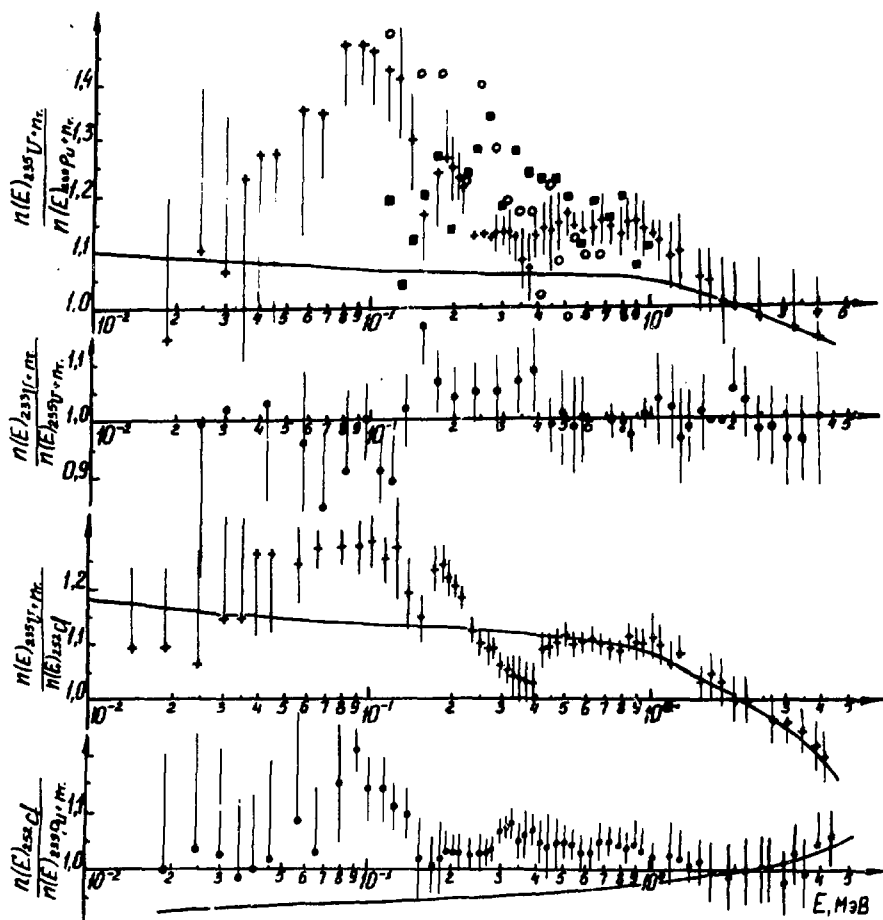


Рис.16. Отношения спектров нейтронов деления и соответствующих максвелловских распределений: \square , \diamond - результаты данной работы; \circ - данные работы [2], полученные ^3He -спектрометром; \blacksquare - данные работы [2], полученные спектрометром протонов отдачи

8. ВЫВОДЫ

1. На одной и той же установке измерены спектры мгновенных нейтронов деления $^{233}\text{U}+n_T$, $^{235}\text{U}+n_T$, $^{239}\text{Pu}+n_T$ и ^{252}Cf в широких диапазонах энергий 0,01-5 и 0,01-10 МэВ соответственно;

2. Показано превышение спектров нейтронов деления $^{233}\text{U}+n_T$, $^{235}\text{U}+n_T$, ^{252}Cf над распределением (1) в области 0,05-0,3 МэВ. Дополнительными экспериментами выяснено, что превышение нельзя объяснить влиянием на спектры фона рассеянных нейтронов;

3. Помимо различий в спектрах, обусловленных описанием их распределениями (1), отмечается заметно больший выход нейтронов деления $^{235}\text{U}+n_T$ в области 0,2-1,2 МэВ по сравнению с их выходом в случае $^{239}\text{Pu}+n_T$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Koster A. Prompt Fission Neutron Spectra, IAEA, Vienna, 1972, p.19-28.
2. Werle H., Bluhm H. Prompt Fission Neutron Spectra, IAEA, Vienna, 1972, p.65-80.
3. Meadows J.W. Phys. Rev., 1967, v.157, p.1076.
4. Zamyatnin V.S., Kroskin N.J., Melnikov A.K., Nefedov V.H. Nuclear data for reactors, IAEA, Vienna, 1972, p.81.

5. Jeki L., Kluge Gy, Laitai A., Dyachenko P., Kuzminov B. Prompt Fission Neutron Spectra, IAEA, Vienna, 1972, p.81-87.
6. Блинов М.В., Витенко В.А., Казаринов Н.М. и др. Измерение спектра нейтронов деления ^{252}Cf в области энергий 0,02-0,2 МэВ.- В сб.: Нейтронная физика. ч.4, Обнинск, ЦНИИАтоминформ, 1974, с.138.
7. Нефедов В.Н., Старостов Б.И., Семенов А.Ф., Спектр нейтронов деления ^{252}Cf в диапазоне 0,01-10 МэВ.- В сб.: Метрология нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. М., ЦНИИАтоминформ, 1974, т.2, с.139.
8. Батенков О.И., Блинов М.В., Витенко В.А. и др. Измерение спектра нейтронов деления ^{252}Cf в области энергий 0,02-2,0 МэВ.- В сб.: Нейтронная физика. М., ЦНИИАтоминформ, 1976, ч.5, с.114.
9. Блинов М.В., Витенко В.А., Туз В.Т. Измерение спектра нейтронов спонтанного деления ^{252}Cf в широком интервале энергий 0,01-10 МэВ.- Нейтронная физика. М., ЦНИИАтоминформ, 1977, ч.3, с.197.
10. Дьяченко П.П., Серегина Е.А., Куцаева Л.С. и др. О спектре нейтронов спонтанного деления ^{252}Cf в области малых энергий. "Атомная энергия", 1977, т.42, вып.1, с.25.
11. Prompt Fission Neutron Spectra, IAEA, Vienna, 1972, p.169.
12. Басова Б.Г., Качалин В.А., Старостов Б.И. Время-амплитудный конвертор наносекундного диапазона. "Приборы и техника эксперимента", 1970, № 4, с.69.

13. Posiler H., Millard I.K., Hill N.W.
Nuclear Instruments and Methods, 1972,
v.99, p.477.
14. Кононов В.Н., Метлев А.А., Полетаев Е.Д., Проко-
пец Ю.С. Быстродействующая ионизационная камера
деления. "Приборы и техника эксперимента", 1969,
№ 6, с.51.
15. Крошкин Н.И., Кормушкина Г.А., Старостов Б.И., Ши-
пилов В.И. Газовые сцинтилляционные детекторы
осколков деления. Препринт НИИАРа, П-106, Димит-
ровград, 1971.
16. Власов М.К., Канавец В.П., Лужецкий Н.Н. и др.
Исследование работоспособности фотоумножителей
ФЭУ-36 и ФЭУ-30 в условиях высоких нагрузок и вы-
бор схем стабилизации питания фотоумножителей. "При-
боры и техника эксперимента", 1968, № 2, с.239.
17. Анципов Г.В., Бендерский А.Р., Коньшин В.А. и др.
Оценка ядерных данных ^{235}U в области энергий
нейтронов 10^{-4} эВ - 15 МэВ для создания полного
файла констант.- Б сб.: Вопросы атомной науки и тех-
ники, 1975, вып.20, ч.2, с.3.
18. Корнилов Н.В., Влияние разрешения спектрометра и
энергетического разброса первичного пучка на форму
спектра неупруго-рассеянных нейтронов. Препринт ФЭИ,
1971, П-276, Обнинск.
19. Богдзель А.А., Григорьев Ю.В., Длоуги З. и др. Бы-
стродействующая ионизационная камера деления с ра-
диаторами из ^{235}U . "Приборы и техника экспери-
мента", 1976, № 1, с.36.

20. Green L., Mitchel I.A., Steen N.M. Nucl. Science and Engineering, 1973, v.50, p.257.
21. Андрейчук Л.М., Коростылев В.А., Басова Б.Г. и др. Измерение спектров мгновенных нейтронов деления ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu тепловыми нейтронами относительным и абсолютным методами.- В сб.: Нейтронная физика. М., ЦНИИАтоминформ, 1976, ч.5, с.120.
22. Лайтаи А., Кечкемети Й., Клуге Д. и др. Спектр мгновенных нейтронов деления ^{235}U тепловыми нейтронами в диапазоне энергий от 0,03 до 1 МэВ.- В сб.: Нейтронная физика. М., ЦНИИАтоминформ, 1977, ч.3, с.26.
23. Нефедов В.Н., Старостов Б.И., Семенов А.Ф. Спектры мгновенных нейтронов деления ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{252}Cf .- В сб.: Нейтронная физика. М., ЦНИИАтоминформ, 1977, ч.3, с.205.

Рукопись поступила в ОПИНТИ
19.07.78, обработана 22.09.78.
Окончательно подготовлена
авторами 26.09.78.

Редактор М.К.Карацуба

Корректор Л.Н.Кривошеева

Подписано к печати 15.11.78. Т-19851. Формат 60x90 1/16.
Офсетная печать. Усл.-печ.л. ~ 2,5. Уч.-изд.л. ~ 2,2.
Тираж 170 экз. Индекс 3624. Заказ 1809. Цена 22 коп.

Отпечатано на ротапинтере НИИАРа, декабрь 1978 г.
433510, Димитровград-10, НИИАР

Б.И.Старостов, А.Ф.Семенов, В.Н.Нефедов

НИИАР П-22(356)

УДК 621.039.543.4/6:539.125.5.04

Измерения спектров мгновенных нейтронов вынужденного деления ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu тепловыми нейтронами в области энергий 0,01-5 МэВ и спонтанного деления ^{252}Cf в области 0,01 - 10 МэВ

Приведены спектры мгновенных нейтронов вынужденного деления ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu тепловыми нейтронами в области 0,01 - 5 МэВ и спонтанного деления ^{252}Cf в области 0,01 - 10 МэВ. В области 0,05 - 0,4 МэВ отмечено превышение спектров над максвелловскими распределениями.

Препринт Научно-исследовательского института атомных реакторов
им. В.И.Ленина, Димитровград, 1978

B.I.Starostov, A.F.Semenov, V.N.Nefedov

RIAR P-22 (356)

UDC 621.039.543.4/6:539.125.5.04

Measurements of the Prompt Neutron Spectra in ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu Thermal Neutron Induced Fission within the Energy Range of 0.01-5 MeV and in ^{252}Cf Spontaneous Fission within 0.01-10 MeV Energy Range

Presented are the prompt neutron spectra in ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu thermal neutron induced fission within the energy range of 0.01-5 MeV and in ^{252}Cf spontaneous fission within 0.01-10 MeV energy range. The exceeding of spectra over the Maxwell distribution has been observed within the energy range of 0.05-0.4 MeV.

Preprint. Research Institute of Atomic Reactors named after
V.I. Lenin, Dimitrovgrad, 1978

Цена 22 коп.

Индекс 3624