

Ордена Ленина

ИАЭ-2212

Институт атомной энергии

им. И. В. Курчатова

И. Н. Аборина, А. В. Колиссаров, Г. А. Лунин

Экспериментальное исследование некоторых нейтронофизических параметров решеток типа ВВЭР

Москва 1972

ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ ИМ. И.В.КУРЧАТОВА

И.Н.Аборина, Л.В.Комиссаров, Г.Л.Лукин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕКОТОРЫХ НЕЙТРОНОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕШЕТОК ТИПА ВВЭР

М о с к в а
1972

Ключевые слова:
физика нейтронов, эксперимент, измерения, характеристики, параметры, спектр нейтронов, коэффициент проигрыша, поток (физ.), тепловые нейтроны, решетка (реакт.), реакторы (ядерн.), детекторы.

0401.

А Н Н О Т А Ц И Я

Представлены результаты измерения интегральных характеристик энергетического спектра нейтронов и коэффициентов проигрыша потока тепловых нейтронов в уран-водных решетках из твэлов ВВЭР.

Использовались детекторы из диспрозия, литеция, плутония, европия, индия, золота и марганца. Эксперименты проводились на подкритической сборке малого диаметра. В качестве источника нейтронов использовался уран-графитовый экспериментальный реактор. Специально исследовалась возможность применения такой сборки для измерения нейтронофизических характеристик уран-водных решеток.

Проведен качественный анализ тепловой и надтепловой областей энергетического спектра нейтронов. По экспериментальным данным вычислены коэффициенты использования тепловых нейтронов.

Экспериментальные результаты сравниваются с данными, рассчитанными по программе FOR.

В В Е Д Е Н И Е

В последнее время в практике реакторного эксперимента большое распространение получили интегральный метод исследования энергетического спектра нейтронов в ядерных реакторах и критических сборках с помощью измерения спектральных индексов, представляющих собой отношения функционалов вида $\int \delta(E)\Phi(E)dE$, где $\delta(E)$ - сечение активации,

$\Phi(E)$ - исследуемый поток нейтронов. Активационные эксперименты характеризуются хорошим пространственным разрешением при малых искажениях, вносимых детекторами в исследуемый спектр нейтронов. Используя несколько детекторов с сечениями активации, имеющими особенности при разных энергиях, можно получить информацию о спектре нейтронов в интересующем энергетическом интервале. Такая информация позволяет корректировать машинные программы, используемые для расчета нейтронных характеристик реакторов.

В работе представлены результаты измерения активационных спектральных индексов в различных уран-водных решетках. Определим спектральный индекс следующим образом:

$$S_i = \frac{A_i}{A_{Mn}} / \frac{A_i^0}{A_{Mn}^0} = \frac{\int_0^\infty \frac{\sigma_a^i(E)}{\sigma_a^0} \Phi(E) dE}{\int_0^\infty \frac{\sigma_a^{Mn}(E)}{\sigma_a^0} \Phi(E) dE} \cdot \frac{1}{g_i(T)}, \quad (I)$$

где A_i/A_{Mn} и A_i^0/A_{Mn}^0 - отношения активности i -го и марганцевого детекторов, облученных в исследуемом и калибровочном спектрах нейтронов; $\sigma_a^i(E)$ и $\sigma_a^{Mn}(E)$ - их сечения активации; σ_a^i и σ_a^{Mn} - те же сечения при скорости нейтронов $U_0 = 2200$ м/сек, $\Phi(E)$ - поток нейтронов в исследуемой решетке; $g_i(T)$ - g - фактор Весткотта при температуре распределения Максвелла T , определяемый соотношением

$$g_i(T) = \frac{\int_0^\infty \sigma_a^i(E) \Phi_M\left(\frac{E}{kT}\right) dE}{\int_0^\infty \frac{U \sigma_a^i}{v} \Phi_M\left(\frac{E}{kT}\right) dE}.$$

Использовались детекторы из диспрозия, лантана, плутония, европия, индия, золота и марганца, имеющие особенности в сечении активации при различной энергии нейтронов.

С помощью детекторов из диспрозия и марганца измерены также значения коэффициентов проигрыша потока тепловых нейтронов:

$$d_{H_2O} = \frac{\Phi_{H_2O}^{th}}{\Phi_{H_2O}^{th}} = \frac{\sum_{акт.г.}^{UO_2}}{\sum_{H_2O}^{th}} \cdot \frac{A_{H_2O}}{A_{UO_2}} \cdot \frac{A_{UO_2}^0}{A_{H_2O}^0} \cdot \frac{1 - \frac{1}{K_{cd}^{H_2O}}}{1 - \frac{1}{K_{cd}^{UO_2}}} = \frac{\sum_{акт.г.}^{UO_2}}{\sum_{H_2O}^{th}} \cdot K_{H_2O}, \quad (2)$$

где $\Phi_{n,0}^{th}$, $\Phi_{uo,0}^{th}$ - потоки тепловых нейтронов в воде и топливе соответственно, определяемые как $\Phi^{th} = \int_{E_{th}}^{\infty} \bar{\Phi}(E) dE$ ($\bar{\Phi}(E)$ - усредненный по соответствующему объему элементарной ячейки поток нейтронов); $\bar{\Sigma}_{act,0}^{n,0}$, $\bar{\Sigma}_{act,0}^{u,0}$ - макроскопические сечения активации детекторов, усредненные по потоку тепловых нейтронов в воде и топливе; $A_{n,0}$, $A_{u,0}$ - активность детекторов, облученных в воде и топливе исследуемой решетки, а с индексом 0 - в калибровочном спектре; $R_{cd}^{n,0}$, $R_{cd}^{u,0}$ - кадмиевые отношения, измеренные теми же детекторами.

По измеренным величинам коэффициента проигрыша потока тепловых нейтронов вычислены коэффициенты использования тепловых нейтронов θ , определяемые соотношением

$$\frac{1-\theta}{\theta} = \frac{V_{os}}{V_{uo,0}} \cdot \frac{\bar{\Sigma}_c^{os}}{\bar{\Sigma}_c^{uo,0}} \cdot d_{os} + \frac{V_{n,0}}{V_{uo,0}} \cdot \frac{\bar{\Sigma}_c^{n,0}}{\bar{\Sigma}_c^{uo,0}} \cdot d_{n,0}, \quad (3)$$

где V_{os} , $V_{uo,0}$, $V_{n,0}$ - объемы оболочки, топлива и воды в элементарной ячейке;

$\bar{\Sigma}_c^{os}$, $\bar{\Sigma}_c^{uo,0}$, $\bar{\Sigma}_c^{n,0}$ - усредненные по соответствующим энергетическим спектрам нейтронов макроскопические сечения поглощения в компонентах решетки; d_{os} - коэффициент проигрыша потока тепловых нейтронов в оболочке. Величина d_{os} определена из предположения, что поток тепловых нейтронов в оболочке равен среднему из значений потоков в воде и топливе.

1. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

1.1. Экспериментальная установка. Спектральные индексы и коэффициенты проигрыша потока тепловых нейтронов измерялись в центре уран-водной подкритической сборки малого размера (ϕ 23 см), собранной из экспериментальных твэлов ВВЭР с длиной активной части 125 см. Твэлы изготовлены из спеченной двуокиси урана обогащением 3,5% U^{235} с покрытием из ниобий-пирокониевого сплава внешним диаметром 9,1 с толщиной стенки 0,65 мм. Топливные блочки плотностью 10,2 г/см² имеют диаметр 7,65 мм. Возможность использования такой сборки для нейтроннофизических измерений была исследована ранее в работе /1/.

Исследовались спектры нейтронов в воде и топливе в гексагональных решетках с шагами 11,0; 12,7; 13,6; 16,0; 19 мм и водоурановым отношением 0,866; 1,63; 2,03; 3,42 и 5,34 соответственно. Для облучения детекторов в топливе использовался разборный твэл. Одновременно облучалась пара детекторов (марганец и i -й детектор), расстояние между которыми составляло 40 мм.

Детекторы в воде устанавливались на держателе из оргстекла толщиной 2 мм, причем марганцевый и i -й детекторы располагались рядом (рис.1). Эти детекторы были изготовлены в виде секторов. Расположение детекторов в топливе при измерении спектральных индексов и кадмиевого отношения приведено на рис. 2, 3. При облучении подкритическая сборка устанавливалась в экспериментальном канале уран-графитового реактора, проходящем через графитовый отрагатель. Калибровка детекторов проводилась в графитовой тепловой колонне размером 2х2х2 м.

1.2. Детекторы. Основные характеристики детекторов приведены в таблице I. Все детекторы были физически тонкими ($\Sigma_{tot} \cdot d \ll 1$), поэтому они практически не вносили возмущения в исследуемый спектр нейтронов. Индиевые детекторы изготовлены напылением в вакууме индия на алюминиевую фольгу толщиной 0,1 мм, золотые детекторы - из сусального золота и остальные - из дисперсионных сплавов соответствующих окислов с алюминием (толщина 0,1 мм).

1.3. Измерение активности детекторов и обработка результатов. Измерялась β -активность радиоактивных изотопов и осколков деления (плутония). Использовалась стандартная счетная аппаратура со сцинтилляционной пластмассой толщиной 1 мм в качестве датчика.

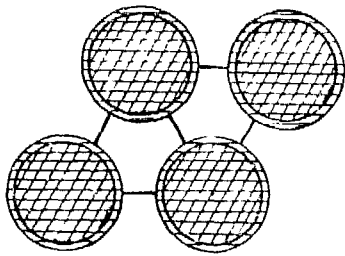


Рис.1. Сектора из фольг для измерения средней плотности нейтронов в воде.

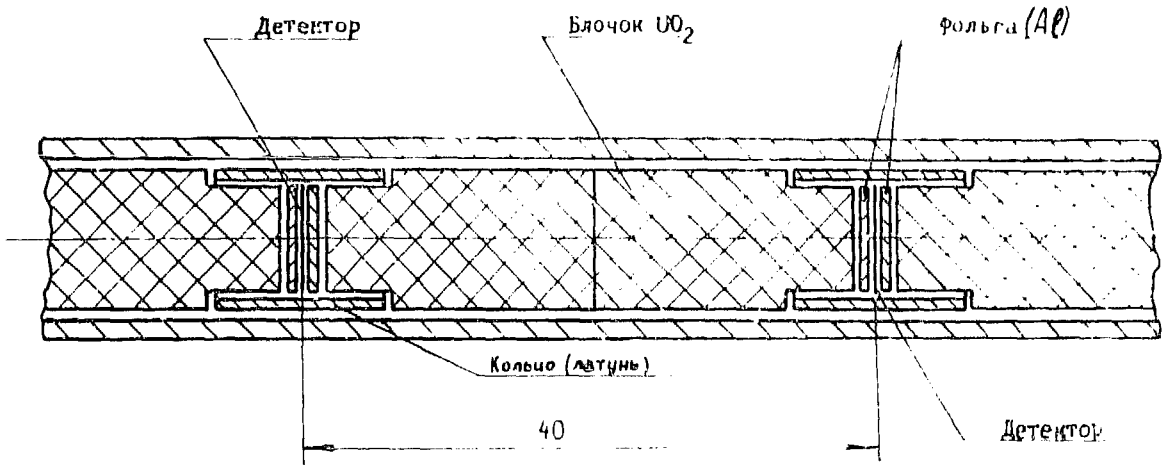


Рис.2. Расположение детекторов в твэле при измерении спектральных индексов.

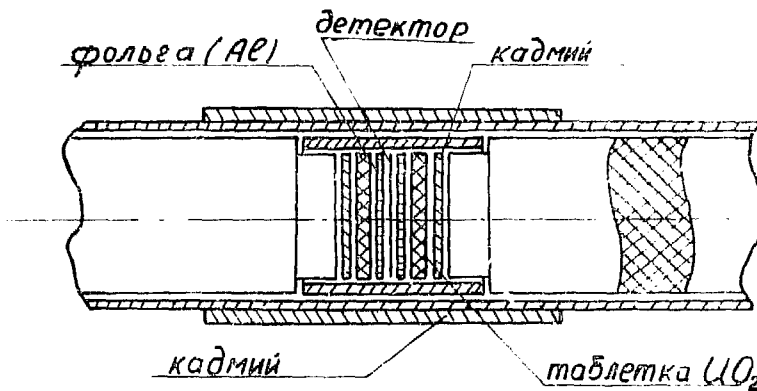


Рис.3. Расположение детекторов в твэле при измерении кадмиевого отношения.

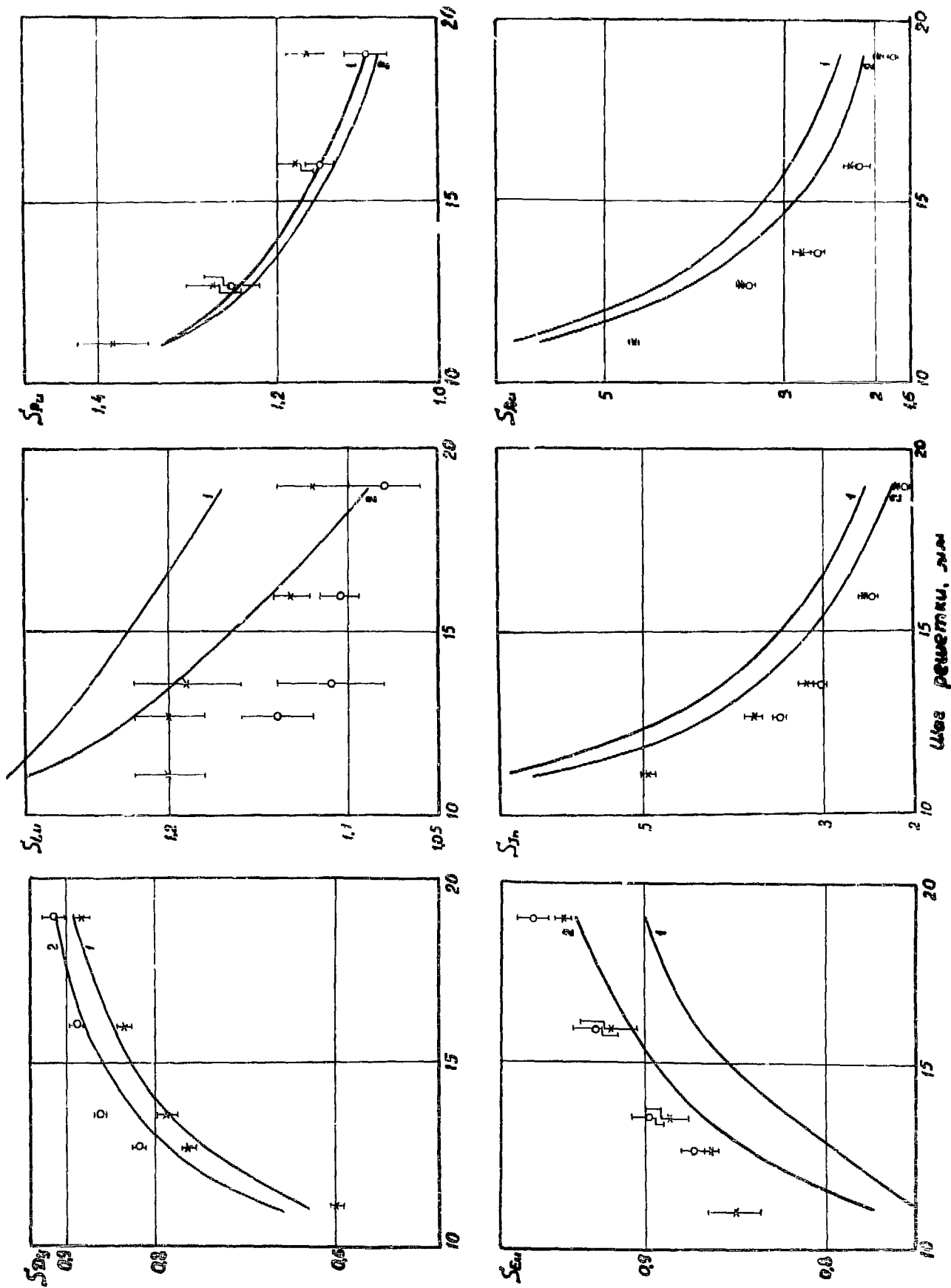


Рис. 4. Зависимость спектральных индексов от шага решетки в тэгле (1) и воде (2): x и o - экспериментальные значения в тэгле и воде соответственно.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРОВ

Де-тектор	Композиция	Плотность, г/см ³	Толщина, $\sum t_i \cdot d_i$ мм	Ядерная реакция	Распространенность изотопа, %	$T_{1/2}$	$\sigma_{\text{срн}}$	$q(20^\circ\text{C})$	$\frac{I_{0,55}}{\sigma_{0,36}} E_{\text{рез}}$	$\sigma_{0,36}^{\text{рез}}$, барн	
Dy	1мг/см ² Dy ₂ O ₃ + Al	-	0,1	$3,3 \cdot 10^{-3} \text{Dy}^{164} (n, \gamma) \text{Dy}^{165}$	28,18	140 мин	2580	0,99	0,114	150	5
Lu	15% Lu ₂ O ₃ + Al	3,02	0,1	$1,5 \cdot 10^{-3} \text{Lu}^{176} (n, \gamma) \text{Lu}^{177}$	2,6	6,8 дн.	2030	1,701	0,484	0,142	13490
Pu	Pu + Al	-	0,1	$\text{Pu}^{239} (n, f)$	-	-	742	1,045	0,375	0,296	3300
Ce	0,346% Ce ₂ O ₃ + Al	3,68	0,1	$1,4 \cdot 10^{-3} \text{Ce}^{151} (n, \gamma) \text{Ce}^{152}$	47,71	9,3 ч.	1550	0,930	0,390	0,461	18900
Jn	Металл	7,28	$2 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5} \text{Jn}^{115} (n, \gamma) \text{Jn}^{116}$	95,77	54,12н	159	1,02	17,23	1,46	38200
Au	Металл	19,32	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4} \text{Au}^{197} (n, \gamma) \text{Au}^{198}$	100	2,7 дн.	98,8	1,005	15,69	4,905	31950
Mn	10% Mn ₂ O ₃ + Al	2,74	0,1	$3,3 \cdot 10^{-4} \text{Mn}^{55} (n, \gamma) \text{Mn}^{56}$	100	2,58 ч.	13,2	1,00	1,06	337	

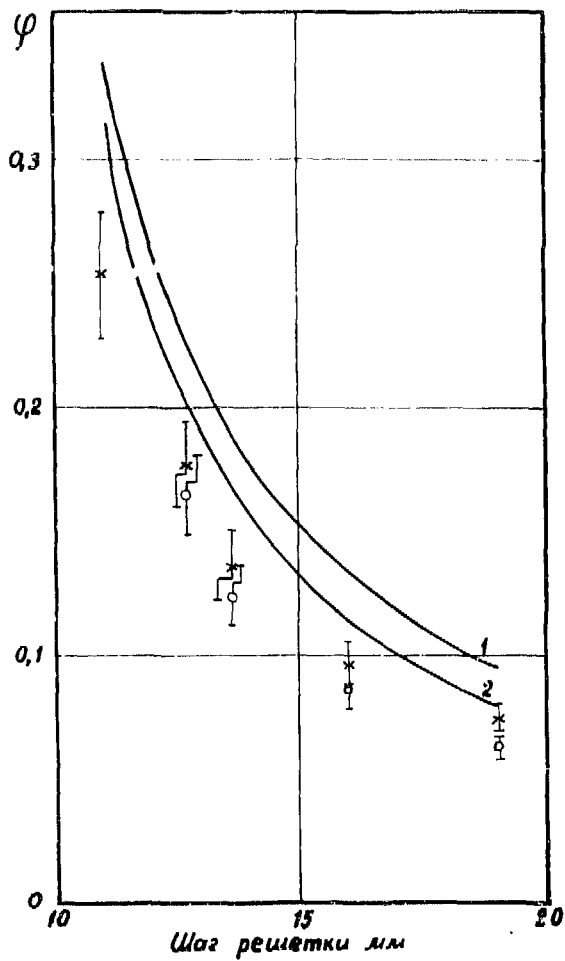


Рис.5. Зависимость φ от шага решетки (обозначения те же, что и на рис.4).

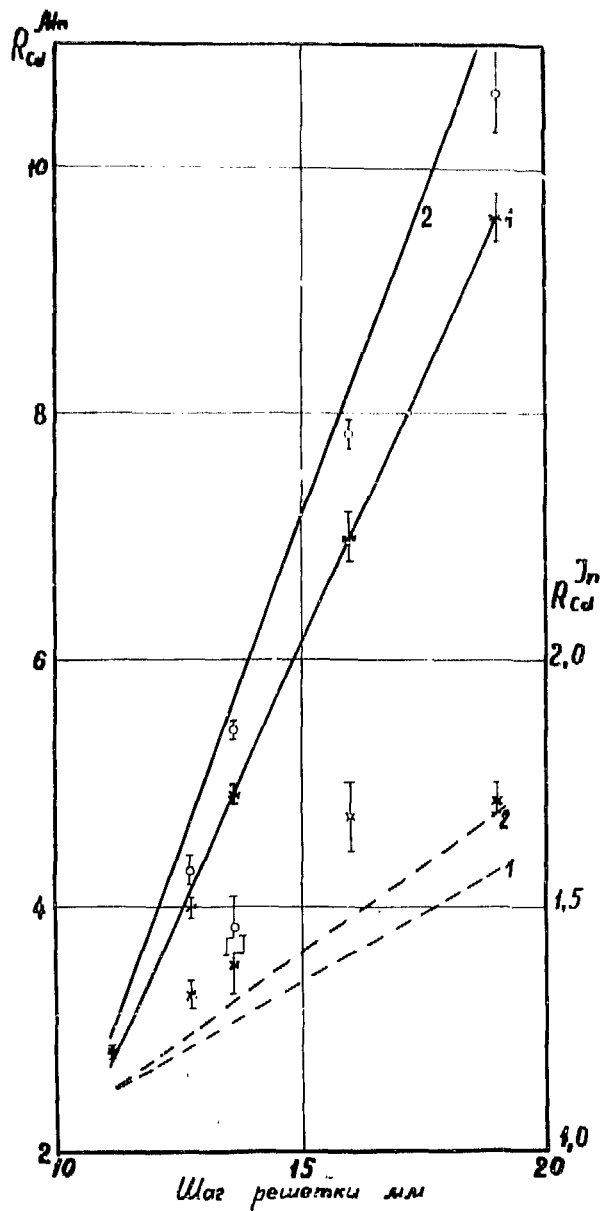


Рис.6. Коэффициенты отношения, измеренные марганцем (-) и индием (—).

Стабильность счетной аппаратуры проверялась стандартным источником ^{232}Th перед каждым измерением и после него.

Для всех детекторов снимались кривые распада со статистической погрешностью в каждой точке не хуже $\pm 3\%$. Измеренные периоды полураспада T в пределах экспериментальных ошибок совпадают с опубликованными данными, что свидетельствует о достаточной чистоте детекторов. При наличии побочной короткоживущей активности детекторы выдерживались в течение времени, необходимого для спада этой активности до пренебрежимо малого уровня.

Результаты обсчета пересчитывались на момент окончания облучения и усреднялись. В исследуемой решетке и в тепловой колонне детекторы облучались одинаковое время - 1,5 ч. Для детекторов из плутония определялась интегральная активность за определенный интервал времени. Начало и длительность этого интервала при обсчете детектора, облученного в исследуемой решетке и в тепловой колонне, были одинаковы.

При вычислениях спектральных индексов вводились поправки на фон счетной аппаратуры (~ 1 имп/сек) на остаточную активность (для плутония), на просчеты при регистрации β -активности. Измерения проводились различными парами детекторов, что дало возможность не вводить поправку на неоднородность материала детекторов.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА. СРАВНЕНИЕ С РАСЧЕТНЫМИ ДАННЫМИ

2.1. Спектральные индексы. Измеренные значения спектральных индексов в топливе и замедлителе для различных решеток приведены в таблице 2. Расчетные величины определялись по спектру, вычисленному по программе POP в приближении модели тяжелого газа /2/. При расчетах использовались относительные сечения активации $\sigma_a^i(E)/\sigma_a^i$ из работ /3-5/. Предполагалось, что надтепловая часть потока нейтронов описывается распределением Ферми. При этом уровень спектра Ферми определялся из условия сшивки надтепловой и тепловой частей спектра. Относительные резонансные интегралы $I_{0,625}^i/\sigma_a^i$ пересчитывались из значений $I_{0,5}^i/\sigma_a^i$, которые определялись из анализа опубликованных данных в работах /3-7/. Сравнение экспериментальных и расчетных данных приведено на рис.4.

Используя величины спектральных индексов, измеренные с помощью индия и золота, можно оценить форму надтепловой части спектра нейтронов. Для этого поток нейтронов в области энергий $E > 0,55$ эв представим в виде $\Phi(E) = \lambda(E)/E$, где $\lambda(E)$ - слабая функция энергии, и предположим, что вся активация детекторов из индия и золота в эпитепловой области энергий происходит за счет основного резонанса, а в тепловой области энергий сечение активации обоих детекторов следует закону $1/v$. В этом случае можно получить

$$\psi(E_{\text{рез}}^i) = \frac{\lambda(E_{\text{рез}}^i)}{\int_0^\infty \frac{\sigma_a^{\text{ин}}(E)}{\sigma_a^{\text{ин}}} \Phi(E) dE} = \frac{S_i g_i - 1 + \frac{1}{K_1 T}}{a_i I_{0,55}^i / \sigma_a^i} \quad (4)$$

где индекс i относится к индию или золоту; $E_{\text{рез}}^i$ - энергия основного резонанса; $I_{0,55}^i/\sigma_a^i$ - относительный резонансный интеграл с граничной энергией 0,55 эв (см.табл.1);

a_i - коэффициент, учитывающий самоэкранирование основного резонанса (для используемых тонких детекторов $a_i = 1$). Полученные значения $\psi(E_{\text{рез}}^i)$ приведены в таблице 3. В величинах неопределенности $\psi(E)$, приведенных в таблице 3, помимо экспериментальных ошибок учтены погрешности, обусловленные предположениями, вводимыми при выводе формулы (4). Анализируя экспериментальные данные таблицы 3, можно заключить, что в интервале энергии нейтронов 1-5 эв для всех исследуемых спектров нейтронов функция $\psi(E)$ постоянна, следовательно, в этой области энергий поток нейтронов с большой степенью точности можно представить распределением Ферми. Экспериментальные и расчетные значения $\psi(E_{\text{рез}}^i)$ представлены на рис.5, из которого видно, что для всех исследованных спектров значения ψ меньше расчетных.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИНДЕКСЫ

Параметр	Место измерения	Шаг решетки, мм				
		11,0	12,7	13,6	16,0	19,0
S_{xy}	в твэде	$0,599 \pm 0,007$	$0,764 \pm 0,009$	$0,787 \pm 0,012$	$0,836 \pm 0,008$	$0,883 \pm 0,012$
	в воде	-	$0,820 \pm 0,007$	$0,864 \pm 0,006$	$0,890 \pm 0,006$	$0,915 \pm 0,012$
S_{Lu}	в твэде	$1,20 \pm 0,02$	$1,20 \pm 0,02$	$1,19 \pm 0,03$	$1,132 \pm 0,010$	$1,12 \pm 0,02$
	в воде	-	$1,14 \pm 0,02$	$1,11 \pm 0,03$	$1,105 \pm 0,022$	$1,08 \pm 0,02$
S_{Pu}	в твэде	$1,38 \pm 0,08$	$1,27 \pm 0,03$	-	$1,18 \pm 0,02$	$1,168 \pm 0,022$
	в воде	-	$1,25 \pm 0,03$	-	$1,152 \pm 0,020$	$1,10 \pm 0,05$
S_{Eu}	в твэде	$0,850 \pm 0,015$	$0,864 \pm 0,006$	$0,888 \pm 0,012$	$0,920 \pm 0,016$	$0,949 \pm 0,010$
	в воде	-	$0,874 \pm 0,006$	$0,899 \pm 0,009$	$0,927 \pm 0,012$	$0,963 \pm 0,009$
S_{Zn}	в твэде	$4,96 \pm 0,09$	$3,78 \pm 0,08$	$3,21 \pm 0,07$	$2,56 \pm 0,06$	$2,20 \pm 0,02$
	в воде	-	$3,47 \pm 0,04$	$3,05 \pm 0,06$	$2,46 \pm 0,06$	$2,06 \pm 0,02$
S_{Lu}	в твэде	$4,70 \pm 0,09$	$3,44 \pm 0,07$	$2,82 \pm 0,09$	$2,28 \pm 0,08$	$1,98 \pm 0,02$
	в воде	-	$3,40 \pm 0,06$	$2,64 \pm 0,06$	$2,20 \pm 0,13$	$1,82 \pm 0,03$
R_{Cd}^{Zn}	в твэде	-	$1,32 \pm 0,03$	$1,38 \pm 0,06$	$1,68 \pm 0,07$	$1,72 \pm 0,03$
	в воде	-	-	$1,46 \pm 0,06$	-	$1,53 \pm 0,08$
R_{Cd}^{Mn}	в твэде	$2,80 \pm 0,06$	$4,01 \pm 0,06$	$4,92 \pm 0,08$	$7,0 \pm 0,2$	$9,6 \pm 0,2$
	в воде	-	$4,3 \pm 0,10$	$5,43 \pm 0,08$	$7,83 \pm 0,15$	$10,6 \pm 0,5$

Таблица 3

ЗНАЧЕНИЯ φ ($E_{рез}^i$)

Параметр	Шаг решетки, мм									
	11,0		12,7		13,6		16,0		19,0	
	твэл	твэл	вода	твэл	вода	твэл	вода	твэл	вода	
φ (1,46)	$0,256$ $\pm 0,018$	$0,180$ $\pm 0,012$	$0,160$ $\pm 0,011$	$0,144$ $\pm 0,010$	$0,133$ $\pm 0,010$	$0,102$ $\pm 0,007$	$0,095$ $\pm 0,007$	$0,078$ $\pm 0,006$	$0,070$ $\pm 0,005$	
φ (4,9)	$0,260$ $\pm 0,018$	$0,173$ $\pm 0,017$	$0,169$ $\pm 0,012$	$0,130$ $\pm 0,010$	$0,117$ $\pm 0,009$	$0,092$ $\pm 0,006$	$0,085$ $\pm 0,006$	$0,070$ $\pm 0,005$	$0,058$ $\pm 0,004$	
Среднее	$0,258$ $\pm 0,018$	$0,177$ $\pm 0,012$	$0,165$ $\pm 0,012$	$0,137$ $\pm 0,010$	$0,125$ $\pm 0,010$	$0,097$ $\pm 0,007$	$0,087$ $\pm 0,006$	$0,074$ $\pm 0,006$	$0,064$ $\pm 0,005$	

Сечение активности марганца примерно до энергии 10 эв весьма близко к закону $1/v$ и имеет резонанс при 337 эв. Оценку распределения нейтронов в области энергий больше 10 эв можно произвести, зная кадмиевое отношение марганца. Вычисленные для этой области энергий значения ψ ($E > 10$ эв) приведены в таблице 4.

Таблица 4

Место измерения	Величины ψ ($E > 10$ эв)				
	Шаг решетки, мм				
	11,0	12,7	13,6	16,0	19,0
В твэле	$\pm 0,373$ $\pm 0,033$	$0,260$ $\pm 0,008$	$\pm 0,215$ $\pm 0,013$	$0,151$ $\pm 0,013$	$0,109$ $\pm 0,006$
В воде	-	$0,244$ $\pm 0,011$	$0,195$ $\pm 0,011$	$0,134$ $\pm 0,004$	$0,100$ $\pm 0,006$

Из анализа данных таблиц 3 и 4 следует, что при энергиях более 10 эв спектр замедляющихся нейтронов отклоняется от распределения Ферми и становится более пологим. Однако проведенный анализ носит полукачественный характер, поскольку при анализе вводится ряд предположений и используются различные ядерные константы, надежность и точность которых в настоящее время невелика. Сравнение экспериментально определенных и рассчитанных значений кадмиевого отношения для индия и марганца приведено на рис. 6.

2.2. Коэффициенты проигрыша потока тепловых нейтронов. Коэффициент использования потока тепловых нейтронов

Измеряемой величиной при определении коэффициента проигрыша потока тепловых нейтронов $d_{n,0}$ является величина $K_{n,0}$ - формула (2). Характер измерения отношения активности $K_{n,0}$, обусловленный тепловыми нейтронами в детекторах, облучаемых в воде и топливе, в зависимости от шага решетки показан на рис. 7. Средние сечения активации детекторов и захвата нейтронов в компонентах элементарной ячейки рассчитывались по энергетическим спектрам нейтронов, вычисленным по программе POP / 2 / . Тепловая часть спектра ограничивалась энергией 0,55 эв (граничная энергия кадмия толщиной 0,5 мм для $1/v$ - детектора). Величины $d_{n,0}$, $(1-\theta)/\theta$ и θ приведены в таблице 5 и на рис. 8 и 9. Здесь же приводятся соответствующие расчетные величины.

Таблица 5

Сравнение экспериментальных и расчетных результатов

Шаг решетки (мм)	$d_{n,0}$		$(1-\theta)/\theta$		θ	
	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет
11,0	-	1,112	-	0,0416	-	0,9601
12,7	$1,10 \pm 0,01$	1,155	$0,0743 \pm 0,0011$	0,0779	$0,9308 \pm 0,0009$	0,9277
13,6	$1,13 \pm 0,02$	-	$0,0940 \pm 0,0026$	-	$0,9141 \pm 0,0022$	-
14,0	-	1,160	-	0,1079	-	0,9026
16,0	$1,17 \pm 0,01$	1,170	$0,1575 \pm 0,0030$	0,1594	$0,8639 \pm 0,0022$	0,8625
19,0	$1,20 \pm 0,01$	1,185	$0,2609 \pm 0,0041$	0,253	$0,7931 \pm 0,0025$	0,7981

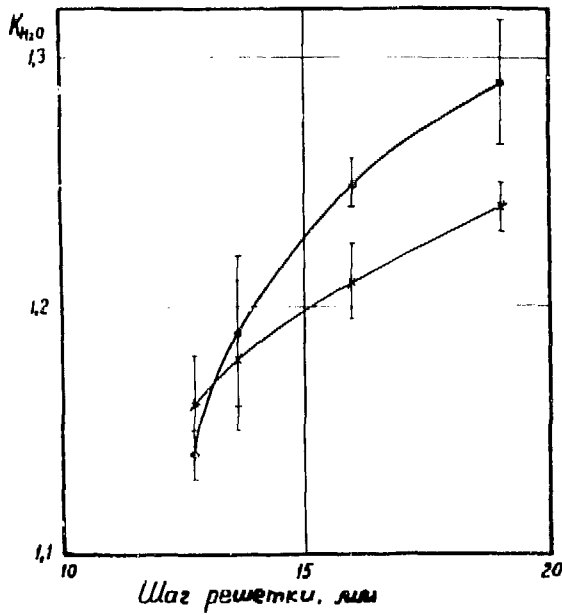


Рис.7. Отношение активностей детекторов из марганца (x) и диспрозия (o), наведенных тепловыми нейтронами, в воде и топливе.

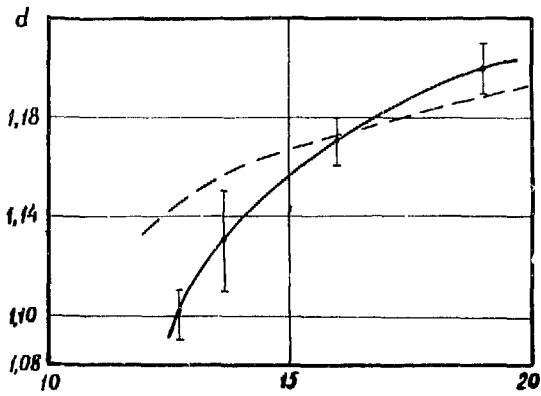


Рис.8. Коэффициент проигрыша потока тепловых нейтронов:
 - - - расчет; — эксперимент.

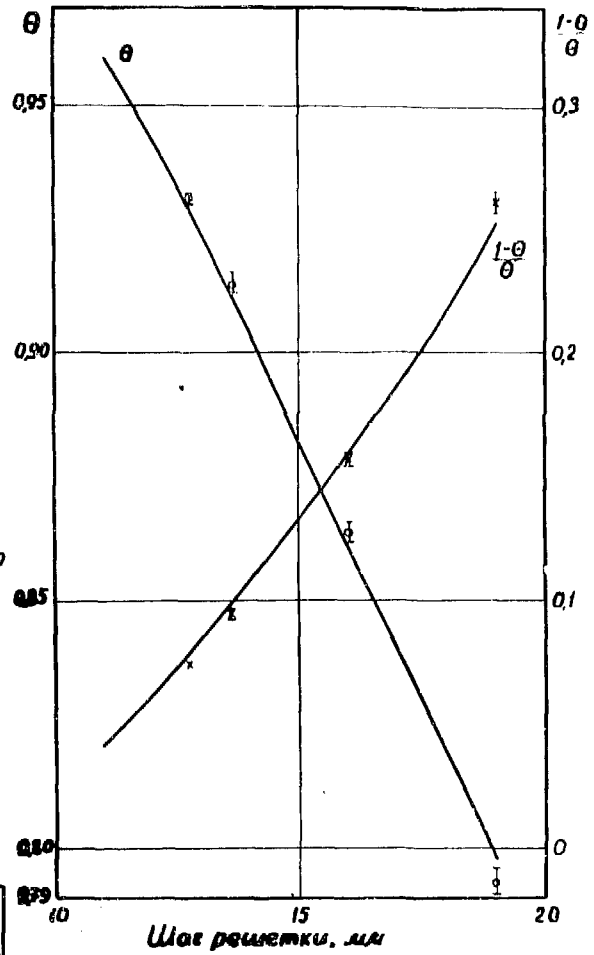


Рис.9. Зависимость $\frac{1-\theta}{\theta}$ и θ от шага решетки.

Различия в значениях коэффициентов проигрыша, определенных детекторами из диспрозия и марганца, находится в пределах экспериментальных ошибок. Максимальное расхождение (2,7%) наблюдается для решеток с шагами 19 и 16 мм, среднеквадратичная ошибка при этом составляет $\pm 1\%$. При измерении марганцем использовались кадмиевые фильтры толщиной 0,5 мм. Для диспрозия поправка на активацию закадмиевыми нейтронами составляет меньше 1% и нет необходимости в измерениях с кадмием. Экспериментально определенный коэффициент проигрыша потока тепловых нейтронов в пределах ошибки совпадает с величиной, рассчитанной по программе POP для хорошо термализованных (шаг 19 и 19 мм) решеток. Для тесных решеток расхождение между экспериментальными и расчетными величинами составляет для решеток с шагами 13,6 и 12,7% соответственно 2,5 и 4%.

Коэффициент использования тепловых нейтронов, определенный экспериментально, удовлетворительно совпадает с величиной, рассчитанной по программе POP для решеток всех исследуемых шагов. Максимальное расхождение меньше 0,3%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из анализа экспериментальных значений спектральных индексов и сравнения их с результатами расчета следует, что используемый набор детекторов позволяет провести оценку энергетического спектра нейтронов в тепловой и эпитепловой областях энергий и сделать некоторые выводы о его форме. Для интервала энергий 0,55–10 эв распределение потока нейтронов близко к распределению Ферми. Уровень спектра Ферми по отношению к спектру тепловых нейтронов значительно ниже \sim на 25%, чем это следует из расчета. При энергиях в районе сотен эв спектр нейтронов спадает медленнее, чем распределение Ферми. Необходимо отметить, что различие между измеренными и рассчитанными величинами S_i увеличивается с уменьшением шага решетки.

Коэффициенты проигрыша потока тепловых нейтронов, рассчитанные по программе POP, также удовлетворительно совпадают с экспериментальными для хорошо термализованных уран-водных решеток и превышены по сравнению с экспериментом для тесных решеток. Расчетные и экспериментальные значения коэффициента использования тепловых нейтронов хорошо согласуются для уран-водных решеток всех исследуемых шагов.

1. Аборина И.Н. и др. "Подкритическая сборка малого радиуса для исследования нейтронно-физических характеристик решеток типа ВВЭР". Препринт ИАЭ - 2189, 1972.
2. Сидоренко В.Д., Беляева Е.Д. "Описание программы POP". Препринт ИАЭ - 1434, 1967.
3. Felpe J.J. et al. *Nucl. Sci. and Engng*, 40, N1, 116 (1970)
4. Gamble P.P. et al. An evaluation of nuclear data for some moderation detectors useful in thermal and epithermal Spectral Indices Measurements B.L.G. -421, 1967.
5. Изд. BNI. -325, 1958.
6. Westcott C.H. Effective cross section values for well moderated thermal reactor spectra, CPPR-960, 1960.
7. Гордеев И.В. и др. "Ядерно-физические константы". М., Госатомиздат, 1963.



Техн. редактор Н.И.Мазаева
Корректор В.П.Горячева
Т-09838.27.07.72г.Формат 60x90 1/8.
Уч.-изд.л.0,65.Тир.200.Зак.10472.
ОНТИ. ИАЭ.