

4932/4-79

Л Я П



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

A-877

P13 - 12466

В.А.Архипов, М.М.Комочков, С.В.Куликов,  
А.Стпичински

ФИЗИЧЕСКИЙ ПУСК РЕАКТОРА ИБР-2.  
ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ УТЕЧКИ

Дубна 1979

P13 - 12466

В.А.Архипов, М.М.Комочков, С.В.Куликов,  
А.Стпичински

**ФИЗИЧЕСКИЙ ПУСК РЕАКТОРА ИБР-2.  
ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ УТЕЧКИ**



Архипов В.А. и др.

P13 - 12466

Физический пуск реактора ИБР-2. Измерение спектра нейтронов утечки

Представлены результаты измерения спектра нейтронов утечки реактора ИБР-2. Измерения проводились на поверхности замедлителя /5 см  $H_2O$  / набором активационных детекторов и на расстоянии 8 м от замедлителя с помощью спектрометра Боннера. Приводится сравнение экспериментальных результатов с расчетными. Установлено, что плотность потока тепловых нейтронов с энергией  $E < E_{cd}$  на поверхности замедлителя составляет  $3 \cdot 10^6$  нейтр./см<sup>2</sup> с на 1 Вт мощности реактора. На основе измеренного спектра вычислены мощность поглощенной и эквивалентной доз нейтронов. На расстоянии 8 м от замедлителя мощность эквивалентной дозы нейтронов равна 50 мбэр/ч Вт.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Arkhipov V.A. et al.

P13 - 12466

IBR-2 Reactor Physical Start-Up. The Results of Measuring the IBR-2 Leakage Neutron Spectrum

The results of measuring the IBR-2 leakage neutron spectrum are presented. The measurements of spectrum were carried out on the surface of the moderator (5 cm  $H_2O$ ) by means of activation detectors and 8 m far from moderator using a Bonner spectrometer. Comparison of experimental results with calculation data is given. It is found that on the surface of moderator the flux density of thermal neutrons with  $E < E_{cd}$  equals  $3 \cdot 10^6$  n/cm sec Wt. From the measured neutron spectrum the absorbed and equivalent dose rates were calculated. 8 m far from moderator the equivalent dose rate equals 50 mrem/hour Wt.

The investigation has been performed at the Department of Radiation Safety, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

## ВВЕДЕНИЕ

Реактор ИБР-2<sup>1,2/</sup> располагается в центральной части биологической защиты, выполненной в виде двух концентрических бетонных колец /рис. 1/. Через биологическую защиту проходят 14 горизонтальных и 3 наклонных канала для вывода нейтронных пучков. Для оценки радиационной опасности, которую представляют собой нейтронные пучки реактора, а также для проектировки защиты от наведенной в экспериментальных устройствах активности, необходимо знание энергетического спектра нейтронов. Кроме того, знание спектра необходимо при физических и медико-биологических исследованиях, в случае радиационной аварии, а также для проверки расчетов по выходу из реактора нейтронов различных энергий. С этой целью в период физического пуска ИБР-2 без теплоносителя проводилось измерение энергетического спектра нейтронов в пучке №2. Спектр измерялся на поверхности замедлителя /точка А на рис. 1/ и за внешним кольцом биологической защиты /точка Б на рис. 1/.

Спектр нейтронов пучка №2 формируется следующим образом: нейтроны деления из активной зоны проходят через двухстенный стальной корпус реактора, вольфрамовый отражатель в стальной оболочке и попадают в водяной замедлитель толщиной 50 мм. К прошедшим замедлитель нейтронам добавляются нейтроны, рассеянные стенками канала, который формирует пучок.

## 1. ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯ

Измерения проводились в импульсном режиме работы реактора ИБР-2 на мощности ~300 Вт с помощью набора актива-

ционных детекторов /табл. 1/. Измерялись плотность потока тепловых нейтронов и спектр утечки промежуточных и быстрых нейтронов. Для регистрации нейтронов были использованы следующие реакции:

$^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$ ,  $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$  - детекторы тепловых нейтронов;

$^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116\text{m}}\text{In}$ ,  $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ ,  $^{139}\text{La}(n,\gamma)^{140}\text{La}$ ,

$^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$ ,  $^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$ ,  $^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$ ,

$^{164}\text{Dy}(n,\gamma)^{165}\text{Dy}$  - детекторы промежуточных нейтронов;

$^{103}\text{Rh}(n,n')^{103\text{m}}\text{Rh}$ ,  $^{115}\text{In}(n,n')^{115\text{m}}\text{In}$ ,  $^{31}\text{P}(n,p)^{31}\text{Si}$ ,  $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$ ,

$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ ,  $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$  - детекторы быстрых нейтронов.

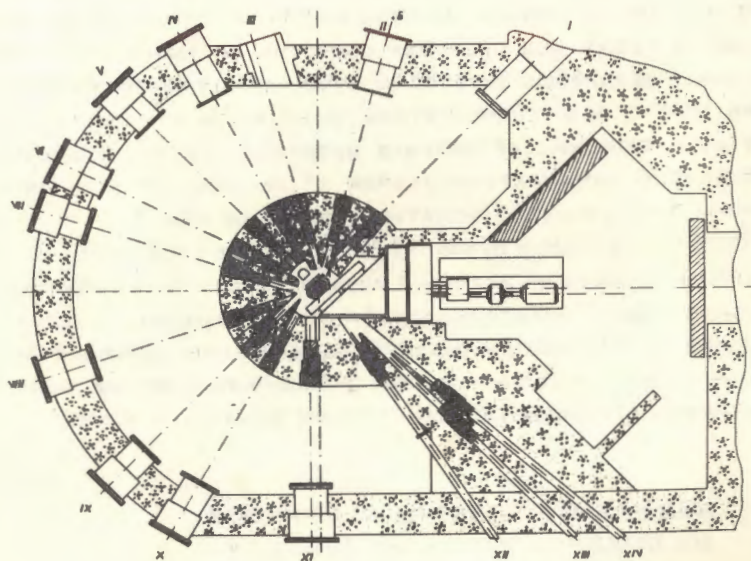


Рис. 1. Биологическая защита реактора ИБР-2.

Таблица 1  
Детекторы нейтронов

Детектор	Материал и состав детектора	Вес, г
1	2	3
Cu	1. Фольга /ГОСТ 5638-51/, толщина 0,1	0,2106
	2. -"-"-"-"-"-"-"-"-"-"	0,2135
Au	1. Фольга	0,0213
	2. -"-"-"-"-"-"-"-"-"	0,0172
In	1. Металл /00/	0,7400
	2. Окись индия /0,05%/, бензойная кислота	0,3208
	3. Окись индия /0,0593%/, бензойная кислота	0,6200
	4. -"-"-"-"-"-"-"-"-"	0,5760
	5. -"-"-"-"-"-"-"-"-"	0,6178
La	1. Окись лантана /1,363%/, бензойная кислота	0,3892
	2. -"-"-"-"-"-"-"-"-"	0,3756
Mn	1. Углекислый марганец /1,3%/, бензойная кислота	0,2584
	2. Углекислый марганец /1,57%/, бензойная кислота	0,4690
Na	1. Азотнокислый натрий	1,1336
Dy	1. Щавелевокислый диспрозий /2,2%/, бензойная кислота	0,3356
	2. Углекислый диспрозий /2,764%/, бензойная кислота	0,8300
Rh	Фольга	0,0600
P	1. Фосфорнокислый однозамещенный аммоний	0,7160
	2. -"-"-"-"-"-"-"-"-"	0,9090

Продолжение табл. 1

1	2	3
S	1. Сера /80%/, поливиниловый спирт /20%/	0,5282
	2. —————	0,6346
	3. —————	0,5668
Fe	Металл /карбонильное железо А-2/	2,5620
Al	Металл /А-999, ГОСТ 11069-64/	1,5130

Медные детекторы из зонного активационного спектрометрического аварийного дозиметра ЗАСАДА<sup>/3/</sup> и золотые детекторы облучались как в кадмиевом чехле толщиной 1 мм, так и без кадмия. Родий, из аварийного дозиметра ГНЕЙС<sup>/4/</sup>, облучался в борном фильтре. Все остальные детекторы облучались в кадмиевом чехле толщиной 1 мм.

Расположение детекторов на поверхности замедлителя во время облучения показано на рис. 2. Длительность облучения составляла 1 ч.

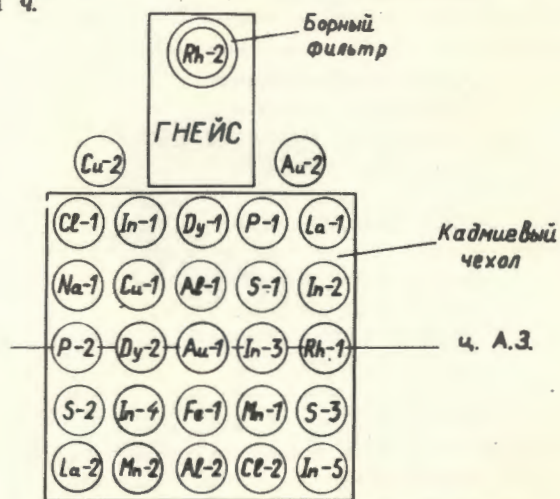


Рис. 2. Расположение детекторов на поверхности замедлителя во время облучения.

Активность родиевого детектора измерялась с помощью одноканального спектрометра мягкого гамма-излучения с кристаллом NaI(Tl) размером 20x1 мм. Спектрометр регистрировал гамма-кванты с энергией 20 кэВ, испускаемые изомером Rh-103m. Активность серных, фосфорных и медных детекторов измерялась с помощью торцового бета-счетчика СБТ-13<sup>/6/</sup>.

Градуировочные коэффициенты, связывающие скорость счета N с активностью A этих детекторов, были получены облучением нейтронами с энергией 14 МэВ. Активность остальных детекторов определялась с помощью гамма-спектрометра с кристаллом NaI(Tl) размером 63x63 мм с выводом информации на 128-канальный анализатор импульсов. Эффективность регистрации  $\epsilon(E)$  гамма-квантов с энергией E определялась экспериментально с помощью набора образцовых гамма-излучателей графическим способом<sup>/5/</sup>. Активность детекторов определялась по формуле:

$$A = \frac{s \cdot k}{(\Delta t - t_M) \epsilon(E)} \quad /1/$$

где s - число импульсов в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией E;  $\Delta t$  - время измерения;  $t_M$  - суммарное мертвое время анализатора; k - поправка на самопоглощение в детекторе, определяемая приближенно из соотношения:

$$k = \frac{\mu d}{1 - e^{-\mu d}} \quad /2/$$

где  $\mu$  - коэффициент ослабления гамма-квантов; d - толщина детектора.

С целью уточнения активности детектора из золота проводилось дополнительное измерение на установке бета-гамма-совпадений. Влияние побочных реакций при всех измерениях исключалось путем анализа кривых спада активности. На основе измеренных активностей детекторов рассчитывались активационные интегралы:

$$R = \int_{E_{\min}}^{\infty} \sigma(E) \phi(E) dE = \frac{A e^{-\lambda t_p}}{n(1 - e^{-\lambda t_0})} \quad /3/$$

где  $\sigma(E)$  - сечение реакции;  $\phi(E)$  - спектр нейтронов; A - активность детектора в момент измерения; n - число ядер в детекторе;

$\lambda$  - постоянная распада;  $t_0$  - время облучения;  $t_p$  - время, прошедшее от конца облучения до начала измерения.

Нижний предел интегрирования в формуле /3/ определяется условиями облучения: для детекторов, которые облучались в кадмиевом чехле,  $E_{\min}$  равняется граничной энергии кадмия  $E_{cd}$ ,  $E_{\min} = E_{cd} = 0,6 \text{ эВ}$ ; для детекторов, облученных без кадмия,  $E_{\min} = 0$ .

Значения активационных интегралов, рассчитанные по формуле /3/, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Активационные интегралы,  $\text{с}^{-1}$

Реакция	Детектор	Активационный интеграл
$^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$	Au-1	$1,5 \cdot 10^{-13}$
$^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{64}\text{Cu}$	Au-2	$2,5 \cdot 10^{-13}$
	Cu-1	$7,2 \cdot 10^{-16}$
$^{115}\text{In}(n, \gamma)^{116\text{m}}\text{In}$	Cu-2	$4,7 \cdot 10^{-15}$
	In-2	$3,8 \cdot 10^{-13}$
	In-3	$3,8 \cdot 10^{-13}$
	In-4	$4,2 \cdot 10^{-13}$
	In-5	$3,6 \cdot 10^{-13}$
$^{139}\text{La}(n, \gamma)^{140}\text{La}$	La-1	$2,8 \cdot 10^{-15}$
	La-2	$2,7 \cdot 10^{-15}$
$^{55}\text{Mn}(n, \gamma)^{56}\text{Mn}$	Mn-1	$2,2 \cdot 10^{-15}$
	Mn-2	$2,3 \cdot 10^{-15}$
$^{23}\text{Na}(n, \gamma)^{24}\text{Na}$	Na-1	$3,7 \cdot 10^{-17}$
	Dy-2	$6,0 \cdot 10^{-14}$
$^{103}\text{Rh}(n, n')^{103\text{m}}\text{Rh}$	Rh-2	$4,1 \cdot 10^{-16}$
$^{115}\text{In}(n, n')^{115\text{m}}\text{In}$	In-1	$8,5 \cdot 10^{-17}$
	$^{31}\text{P}(n, p)^{31}\text{Si}$	P-1
P-2		$1,6 \cdot 10^{-17}$
$^{32}\text{S}(n, p)^{32}\text{P}$	S-1	$2,3 \cdot 10^{-17}$
	S-2	$2,2 \cdot 10^{-17}$
$^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$	Fe-1	$3,8 \cdot 10^{-19}$
$^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$	Al-2	$2,9 \cdot 10^{-19}$

### 1.1. Измерение плотности потока тепловых нейтронов

Плотность потока тепловых нейтронов на поверхности замедлителя определялась методом кадмиевой разности по активности медных и золотых детекторов. Расчет плотности потока тепловых нейтронов проводился согласно /7/ по формуле:

$$\Phi = \frac{R_0}{\sigma_0 g G_T} \left(1 - \frac{F_{cd}}{r_{cd}}\right) \quad /4/$$

где  $R_0$  - активационный интеграл для открытого образца;  $\sigma_0$  - сечение активации нейтронами с энергией  $0,025 \text{ эВ}$ ;  $g$  - параметр Векотта, учитывающий отклонение сечения реакции от закона  $1/v$ ;  $G_T$  - коэффициент самоэкранировки образца;  $F_{cd}$  - поправка на поглощение надтепловых нейтронов в кадмии;  $r_{cd}$  - кадмиевое отношение,  $r_{cd} = R_0/R_{cd}$ ;  $R_{cd}$  - активационный интеграл для образца, экранированного кадмием.

Среднее значение плотности потока тепловых нейтронов на поверхности замедлителя, полученное с помощью медных и золотых детекторов, оказалось равным  $3,0 \pm 0,2 \cdot 10^6 \text{ нейтр./см}^2 \text{ с Вт}$ , что примерно в 2 раза превышает расчетную величину /8/.

### 1.2. Восстановление спектра надтепловых нейтронов

Дифференциальный спектр надтепловых нейтронов рассчитывался по результатам измерения активности резонансных детекторов методом вычитания вклада  $1/v$ -части сечения /7/. В качестве детектора с сечением, подчиняющимся закону  $1/v$ , использовался диспрозий. Расчет дифференциального спектра проводился при следующих предпосылках.

1. Энергетическая зависимость сечения реакции активации резонансного детектора представляется в виде:

$$\sigma(E) = \sigma^{1/v}(E) + \sum_{\ell} \sigma^{r(\ell)}(E), \quad /5/$$

где  $\sigma^{1/v} \sim 1/v$ ,  $\sigma^{r(\ell)}$  - вклад в сечение реакции, обусловленный  $\ell$ -м резонансом.

2. Энергетическая зависимость  $\sigma^{r(\ell)}(E)$  описывается формулой Брейта-Вигнера для изолированного резонанса.

При облучении детектора в кадмии активационный интеграл  $R_{cd}$  связан с дифференциальным спектром нейтронов  $\phi(E)$  следующим соотношением:

$$R_{cd} = \int_{E_{cd}}^{\infty} \sigma(E) \phi(E) dE = R^{1/v} + R^r, \quad /6/$$

где  $E_{cd}$  - энергия кадмиевой границы;  $R^{1/v}$  и  $R^r$  - составляющие активационного интеграла, обусловленные  $1/v$ -частью сечения и всеми резонансами соответственно. Использование диспрозия в качестве  $1/v$ -детектора совместно с резонансными детекторами позволяет выделить резонансную часть активационного интеграла, которая связана с дифференциальной плотностью потока нейтронов  $\phi(E_0)$  при энергии основного резонанса  $E_0$  соотношением:

$$\phi(E_0) = \frac{2}{\pi} \frac{1}{\Gamma_\gamma \sigma_0^c} (R_{cd} - F_1 R_{cd}^{Dy}) F_2, \quad /7/$$

где  $\Gamma_\gamma$  - радиационная ширина основного резонанса;  $\sigma_0^c$  - сечение образования составного ядра при энергии нейтронов  $E_0$ . Поправочные коэффициенты  $F_1$  и  $F_2$ , а также значения  $\Gamma_\gamma$  и  $\sigma_0^c$  взяты из работ <sup>5,7/</sup>. Результат восстановления спектра представлен на рис. 3. Погрешность восстановления 30-40%.

### 1.3. Восстановление спектра утечки быстрых нейтронов с поверхности замедлителя

Спектр утечки быстрых нейтронов с поверхности замедлителя восстанавливался по результатам измерений активности пороговых детекторов. Было использовано два метода восстановления спектра: метод статистической регуляризации и "экспрессный" метод.

Восстановление спектра методом статистической регуляризации проводилось по программе BONNER <sup>9/</sup>, предназначенной для решения системы уравнений вида:

$$\int \sigma_i(E) \phi(E) dE = R_i + \epsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad /8/$$

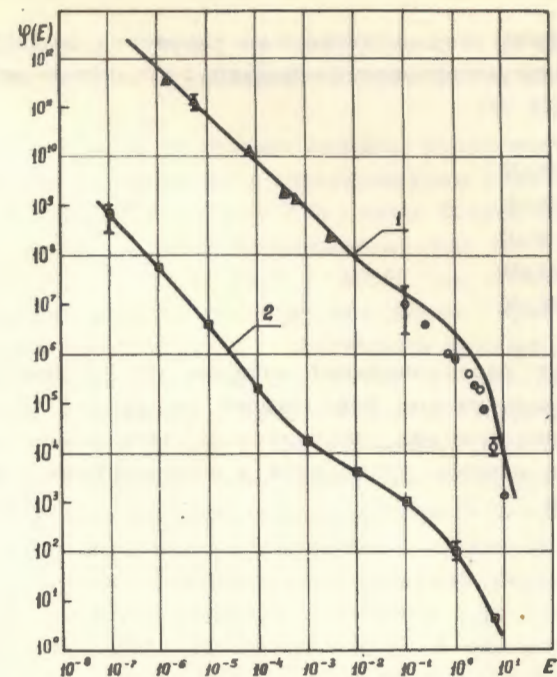


Рис. 3. Дифференциальные спектры нейтронов в пучке №2 /нейтр./см<sup>2</sup> с МэВ Вм/,  $E$  - энергия нейтронов /МэВ/, 1 - расчетный спектр на поверхности замедлителя <sup>8/</sup>, 2 - спектр нейтронов в пучке /8 м от замедлителя/,  $\blacktriangle$  - резонансные детекторы;  $\bullet$  - пороговые детекторы, восстановление спектра методом статистической регуляризации;  $\circ$  - пороговые детекторы, восстановление "экспрессным" методом;  $\blacksquare$  - спектрометр Боннера.

здесь  $m$  - количество используемых реакций активации;  $\sigma_i(E)$  - энергетическая зависимость сечения  $i$ -реакции;  $R_i$  - активационный интеграл;  $\epsilon_i$  - погрешность измерения активационного интеграла.

"Экспрессный" метод восстановления спектра нейтронов <sup>10/</sup> основан на экспоненциальной аппроксимации спектра на отдельных энергетических интервалах. Так как количество используемых пороговых детекторов невелико /всего 6/, было выбрано

такое разбиение рассматриваемого диапазона энергий, при котором границы интервалов совпадают с эффективными порогами реакций /табл. 3/:

0,7÷1,2 МэВ  
 1,2÷2,3 МэВ  
 2,3÷3,0 МэВ  
 3,0÷6,4 МэВ  
 > 6,4 МэВ.

Результат восстановления спектра утечки нейтронов с поверхности замедлителя представлен на рис. 3. Погрешность восстановления спектра "экспрессным" методом не превышает 30% /расчет ошибок проводился в соответствии с методикой, изложенной в <sup>17/</sup> /.

Таблица 3

Интегральная плотность потока быстрых нейтронов  $\Phi_{E_{эфф}}$  с энергией больше  $E_{эфф}$  на поверхности замедлителя при мощности реактора 300 Вт

Реакция активации	Эффективный порог $E_{эфф}$ , МэВ	Интегральная плотность потока $\Phi_{E_{эфф}}$ нейтр./см <sup>2</sup> ·с
$^{103}\text{Rh}(n, n')^{103m}\text{Rh}$	0,7	$4,4 \cdot 10^8$
$^{115}\text{In}(n, n')^{115m}\text{In}$	1,2	$3,0 \cdot 10^8$
$^{31}\text{P}(n, p)^{31}\text{Si}$	2,3	$1,6 \cdot 10^8$
$^{32}\text{S}(n, p)^{32}\text{P}$	3,0	$7,9 \cdot 10^7$
$^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$	6,4	$6,9 \cdot 10^6$
$^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$	7,4	$3,5 \cdot 10^6$

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ В ПУЧКЕ №2 ЗА ВНЕШНИМ КОЛЬЦОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

Спектр нейтронов за вторым кольцом биологической защиты /точка Б на рис.1/ измерялся спектрометром Боннера и борным счетчиком СНМ-14<sup>6/</sup> в кадмии и без него. В спектрометре Боннера использовались полиэтиленовые шаровые замедлители диаметром 5,08; 7,62; 12,4; 25,4 и 30,48 см, в центре которых устанавливался детектор тепловых нейтронов - кристалл LiI(Eu).

Измерения проводились в стационарном режиме работы реактора при мощности ~60 Вт. Обработка результатов измерений осуществлялась методом статистической регуляризации по программе BONNER, в которую для уточнения спектра на верхней границе энергетического диапазона вводилась дополнительная информация в виде сечений и активационных интегралов пороговых детекторов из железа и алюминия, облученных на поверхности замедлителя. Значения активационных интегралов пересчитывались с учетом мощности реактора и расстояния 8 м от поверхности замедлителя до точки Б, в которой измерялся спектр нейтронов. С помощью родиевого детектора установлено, что на расстоянии 8 м от поверхности замедлителя плотность потока быстрых нейтронов ослабляется в  $2,4 \cdot 10^3$  раз.

Дифференциальный спектр нейтронов в точке Б за биологической защитой, восстановленный по программе BONNER, представлен на рис. 3 /кривая 2/.

## 3. МОЩНОСТЬ ДОЗЫ В ПУЧКЕ ИБР-2

Программа BONNER наряду с восстановлением дифференциального спектра нейтронов производит вычисление различных функционалов и, в частности, вычисление мощности поглощенной и эквивалентной доз. В табл. 4 представлены результаты вычисления вышеуказанных мощностей доз на поверхности водяного замедлителя и за биологической защитой в пучке №2, приведенные к мощности реактора 1 Вт. Там же представлено значение мощности кермы на поверхности замедлителя и на расстояниях 4 и 8 м от него, вычисленное по активности родиевого детектора из дозиметра ГНЕЙС с использованием дозовой чувствительности, взятой из работы <sup>12/</sup>.



Таблица 4

Мощности доз в пучке №2

Место измерения	Мощность поглощенной дозы, рад/ч · Вт			Мощность эквивалентной дозы, бэр/ч · Вт	Мощность кермы рад/ч · Вт
	$E > 10^{-8}$ МэВ	$E > 0,1$ МэВ	$E > 0,63$ МэВ		
Поверхность замедлителя	-	$2,2 \cdot 10^1$	$1,6 \cdot 10^1$	$E > 0,63$ МэВ $E > 0,1$ МэВ $E > 10^{-8}$ МэВ	$E > 0,45$ МэВ
4 м от поверхности замедлителя	-	-	-	$2,1 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^1$
8 м от поверхности замедлителя	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-2}$ $4,3 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$ $7,0 \cdot 10^{-3}$

## ВЫВОДЫ

1. Измерена плотность потока тепловых нейтронов ( $E < E_{cd}$ ) на поверхности водяного замедлителя в предположении их полной термализации. В расчете на 1 Вт мощности реактора она равна  $3,0 \pm 0,2 / 10^6$  нейтр./см<sup>2</sup>с

2. Измерен спектр нейтронов на поверхности водяного замедлителя. В области промежуточных энергий нейтронов наблюдается хорошее согласие с расчетным спектром. В области  $E > 0,1$  МэВ расчетный спектр превышает измеренный в 3 раза.

3. Измерен спектр нейтронов в пучке реактора за внешним кольцом биологической защиты /на расстоянии 8 м от замедлителя/. Плотность потока быстрых нейтронов уменьшается в  $2,4 \cdot 10^3$  раз по сравнению со значением на поверхности замедлителя.

4. На основании измеренных спектров нейтронов рассчитывались мощности поглощенной и эквивалентной доз нейтронов. За биологической защитой реактора мощность эквивалентной дозы в нейтронном пучке составляет  $\sim 50$  мбэр/ч Вт.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев В.Д. и др. ОИЯИ, 13-4395, Дубна, 1969.
2. Шабалин Е.П. Импульсные реакторы на быстрых нейтронах. Атомиздат, М., 1976.
3. Князев В.А. и др. Зонный активационный дозиметр. In: Neutron monitoring for radiation protection purposes. v. II, IAEA, Vienna, 1973, p.321-332.
4. Бочвар И.А. и др. Метод дозиметрии ИКС. Атомиздат, М., 1977.
5. Крамер-Агеев Е.А., Трошин В.С., Тихонов Е.Г. Активационные методы спектрометрии нейтронов. Атомиздат, М., 1976.
6. Горн Л.С., Хазанов Б.И. Избирательные радиометры. Атомиздат, М., 1975.
7. Метрология нейтронных измерений на ядерно-физических установках. Материалы I Всесоюзной школы, Рига, 22 ноября - 3 декабря, 1976, т.1,2, М., 1976.

8. Рогов А.Д., Шабалин Е.П. ОИЯИ, Р13-9990, Дубна, 1976.
9. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-9621, Дубна, 1976.
10. Трошин В.С., Крамер-Агеев Е.А. АЭ, 1970, 29, с.37.
11. Голиков В.В. и др. ОИЯИ, 3-5736, Дубна, 1971.
12. Обатуров Г.М., Чумбаров Ю.К. АЭ, 1971, 30, с.387.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 мая 1979 года.