

Рис. 3. Кривые изохронального отжига радиационного прироста параметров кристаллической решетки диборида циркония:

○ — $\Delta c/\Delta c_0$; ● — $\Delta a/\Delta a_0$

В связи с этим при высоких температурах облучаемые образцы диборидов выдерживают более значительные флюенсы нейтронов, чем при низких температурах, когда основная часть гелия остается в решетке.

При нагреве до комнатной температуры облученных при 15 и 120 K образцов происходит достаточно интенсивный отжиг радиационных дефектов [5]. В связи с этим очевидно, что стадии изохронного отжига радиационного прироста параметров решетки в интервале 300–670 K (рис. 3) не могут быть результатом отжига единичных дефектов. Ответственными за указанные стадии отжига могут быть уход к стокам различных комплексов детек-

торов (атом гелия-вакансия, гантели собственных межузельных атомов и лития и др.) или их распад на изолированные дефекты, которые при этих температурах уходят к стокам.

Таким образом, основываясь на вышеприведенных результатах и учитывая известные данные [2–5], можно заключить, что разрушение диборидов металлов в процессе их облучения в ядерном реакторе происходит в основном за счет внутренних напряжений, возникающих в матрице кристалла с появлением в ней межузельных атомов гелия.

В экспериментальных работах принимала участие Э. А. Титик. Авторы приносят благодарность О. И. Юриной за помощь в проведении расчетов и сотрудникам ядерного реактора Института физики АН ГССР за всестороннее содействие при проведении низкотемпературных облучений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самсонов Г. В. «Атомная энергия», 1963, т. 14, вып. 6, с. 588.
2. Огородников В. В. и др. «Атомная энергия», 1967, т. 23, вып. 4 с. 341.
3. Самсонов Г. В. и др. «Атомная энергия», 1968, т. 24, вып. 2, с. 191.
4. Ковальченко М. С., Огородников В. В. «Физика и химия обработки материалов», 1971, № 4, с. 14.
5. Топчян Л. С. и др. «Атомная энергия», 1977, т. 42, вып. 3, с. 226.
6. Самсонов Г. В. «Докл. АН СССР», 1953, № 83, с. 689.

Поступило в Редакцию 28.12.77

УДК 621.039.51

Спектры мегаэлектронвольтных нейтронов в быстрых критических сборках

ЛИТЯЕВ В. М., ДУЛИН В. А., КАЗАНСКИЙ Ю. А.

Спектры нейтронов являются одной из важнейших характеристик, поскольку количественная сторона любого процесса, происходящего в реакторе, представляется в виде усреднения сечений взаимодействия нейтронов по их спектру. Спектр является сложной функцией сечений взаимодействия нейтронов с ядрами, входящими в состав реактора. Теоретически полученный спектр зависит, кроме того, от выбранной расчетной (приближенной) модели. Поэтому измерения спектра нейтронов в реакторах представляют несомненный интерес. Измеренные и рассчитанные данные позволяют уточнить матрицу неупругого рассеяния для ^{238}U и оценить ошибку группового приближения в области порогов деления и реакции ($n, 2n$).

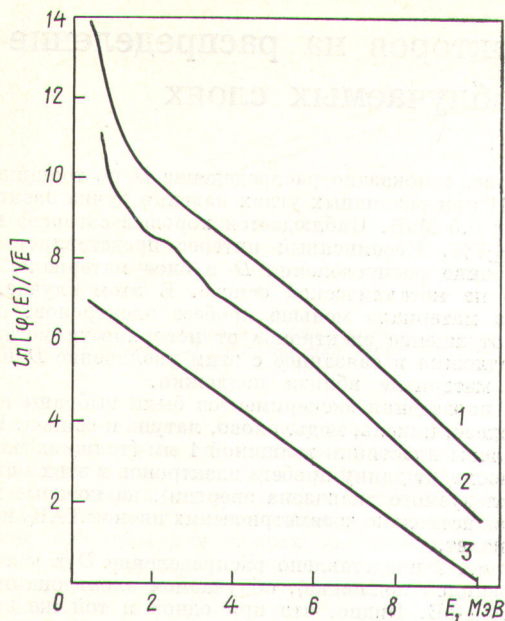
При измерении спектра нейтронов в центре трех критических сборок использовали сцинтилляционный спектрометр с дискриминацией γ -излучения по времени высвечивания с кристаллом стильбена диаметром 7 мм и высотой 8 мм, упакованным в чехол из тефлона со стенкой толщиной 2 мм. Принцип его работы описан в работе [1]. Энергетическую шкалу спектрометра контролировали по границе комптоновского распределения, образованного γ -излучением известной энергии от источников ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{65}Zn , ^{88}Y , и γ -линии 4,42 МэВ $\text{Po-}, \alpha-, \text{Be-}$ источника. Калибровали спектрометр моноэнергетическими нейтронами на ускорителе Ван-де-Граафа. В качестве реперного источника нейтронов использовали миниатюрный изотропный источник ^{252}Cf . Аппаратурные спектры протонов отдачи преобразовывали в энергетические спектры нейтронов дифференцированием [2] с переменным шагом ($\sim \sqrt{E}$) по энергии (рис. 1). Была введена поправка

на краевой эффект [3]. Ее значение в области энергии 0,8–1,4 и 6,5–10,5 МэВ равно 1 и 13,5% соответственно. При измерении спектра нейтронов изотропного источника ^{252}Cf температура в области энергии 0,4–10 МэВ составила $1,41 \pm 0,03$ МэВ, что согласуется с литературными данными.

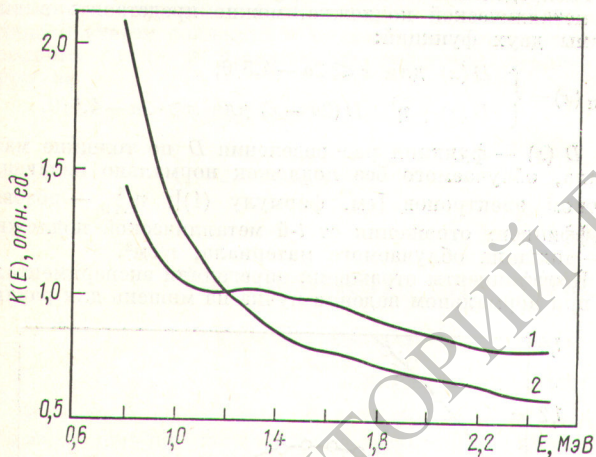
Основные погрешности при измерении спектра нейтронов обусловлены погрешностями преобразования амплитудных распределений в энергетические спектры. Если считать, что аналитическое представление Террелла для спектра нейтронов деления ^{252}Cf справедливо, то вероятная погрешность в определении потока нейтронов при энергии 10 МэВ относительно энергии 1 МэВ составляет $\sim 15\%$.

Сборка БФС-30 имеет состав, близкий к составу зоны большого обогащения энергетического быстрого реактора с окисным топливом и натриевым теплоносителем, сборки БФС-33 и -35-1 представляют среды из окиси урана и металлического урана с обогащением, обеспечивающим $K_{\infty} \approx 1$ [4, 5].

Потоки нейтронов рассчитывали по программе M-26 [6] с константами БНАБ-70 [7] (см. таблицу). Здесь же приведены отношения измеренных групповых потоков нейтронов ϕ^j к расчетным, расчеты выполнены с разными матрицами неупругого рассеяния нейтронов на ядрах ^{238}U [7, 8]. Различие рассчитанных с применением разных матриц $\sigma_{in}^{i \rightarrow j}$ на ядрах ^{238}U групповых потоков нейтронов увеличивается по мере роста отношения концентрации ^{238}U к ^{235}U (для сборки БФС-35-1 это отношение равно 16,8) и уменьшения концентрации конструкционных и замедляющих материалов. Измеренные групповые потоки лучше согласуются с рассчитанными, используемыми



Р и с. 1. Спектры нейтронов в центре сборок БФС-35-1 (1), БФС-33 (2) и источника ^{252}Cf (3)



Р и с. 2. Отношение $K(E)$ измеренных спектров в сборках БФС-30 (1) и БФС-35-1 (2) к спектру $1/E$

Измеренные и расчетные потоки нейтронов

Сборка	Энергетический интервал, МэВ	$\Phi_{\text{эксп.}}^j$	$\Phi_{\text{эксп.}}^j / \Phi_{\text{расч.}}^j$ с матрицами из работ		$\langle \sigma_f^{238} \rangle$
			[7]	[8]	
БФС-30	10,5—6,5	0,01047	0,878	0,914	
	6,5—4,0	0,0636	0,887	0,886	
	4,0—2,5	0,1640	0,965	0,927	
	2,5—1,4	0,3510	1,050	1,044	0,459
	1,4—0,8	0,4107	0,996	1,018	0,0317
БФС-33	10,5—6,5	0,0114	0,943	1,029	
	6,5—4,0	0,0792	1,092	1,115	
	4,0—2,5	0,1675	0,991	0,950	
	2,5—1,4	0,3208	0,968	0,957	0,461
	1,4—0,8	0,4212	1,015	1,037	0,0291
БФС-35-1	10,5—6,5	0,01432	1,225	0,225	
	6,5—4,0	0,0755	1,282	1,083	
	4,0—2,5	0,1521	1,197	1,998	
	2,5—1,4	0,2820	1,161	1,046	0,457
	1,4—0,8	0,4761	0,851	1,959	0,0274
Спектр нейтронов $1/E$	2,5—1,4				0,467
	1,4—0,8				0,0338

Значение расчетного потока нейтронов в области энергии выше 6 МэВ важно для правильного учета вклада реакции $(n, 2n)$ на ядрах ^{239}Pu (^{23}Na , ^{238}U). Как следует из данных таблицы, в этой области энергии результаты расчетов и экспериментов согласуются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brooks F. «Nucl. Instrum. Meth.», 1959, v. 4, p. 151.
2. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа. М., Физматиздат, 1961.
3. Физика быстрых нейтронов. Т. 1. М., Госатомиздат, 1963.
4. Дулин В. А. и др. «Атомная энергия», 1976, т. 40, вып. 5, с. 377.
5. Кузин Е. Н. и др. Препринт ФЭИ-698. Обнинск, 1976.
6. Николайшвили Ш. С. и др. В кн.: Труды трехстороннего советско-бельгийско-голландского симпозиума по физике быстрых нейтронов. Т. 1. М., изд. ЦНИИАтоминформа, 1970, с. 37.
7. Абагян Л. П. и др. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1964.
8. Кривцов А. С., Попов В. И. В сб.: Нейтронная физика. М., изд. ЦНИИАтоминформа, 1977, т. 4, с. 113.
9. Stehn Y. e.a. BNL-325, 1965, Supp. N 2.

Поступило в Редакцию 30.01.78