

# Дифракция медленных нейтронов на слоистых системах

В. Ф. ТУРЧИН

УДК 539.125.5:539.121.72

Для работы с холодными нейтронами было бы интересно создать искусственную слоистую систему с периодической объемной плотностью амплитуды рассеяния медленных нейтронов. Такую систему можно получить, например, нанося попеременно на какую-либо подложку слои равной толщины  $d$  из веществ (или изотопов), характеризующихся противоположными по знаку амплитудами рассеяния. Полученная таким образом объемная дифракционная решетка будет отражать нейтроны, удовлетворяющие соотношению Брэгга, аналогично системе кристаллических плоскостей с расстоянием  $2d$ . При толщине слоя  $d$  порядка десяти межатомных расстояний дифракционная решетка будет отражать обычные холодные нейтроны ( $\lambda \approx 5 \text{ \AA}$ ) при достаточно больших углах.

Однако искусственно созданная слоистая система вряд ли будет обладать той высокой степенью периодичности, которая свойственна кристаллам, поэтому степень монохроматизации при отражении от нее будет меньше, чем при отражении от кристалла. Если идти по пути намеренного ухудшения степени монохроматизации, можно, вероятно, получить «всеволновое» зеркало, отражающее под любым углом падающие на него нейтроны в достаточно широком диапазоне длин волн. Всеволновое зеркало может быть создано путем медленного изменения периода решетки с глубиной. Можно предполагать, что слоистые зеркала окажутся весьма полезными для нейтронной физики, так как в отличие от кристаллов им легко придать любую форму (например, параболоида вращения) и большие размеры. При помощи этих зеркал можно собирать нейтронные потоки с больших площадей и фокусировать их; можно даже попытаться развить отражательную оптику холодных нейтронов.

В связи с этим в настоящей работе развивается теория рассеяния медленных нейтронов на произвольных слоистых системах. За основу принят подход Ланса\*. Получена система дифференциальных урав-

нений для амплитуды падающей волны  $A_+(z)$  и отраженной  $A_-(z)$

$$A'_+(z) = -i \frac{\hbar}{2} [\bar{V}(z) A_+(z) + \tilde{V}_+(z) A_-(z)] + \left(\frac{\hbar}{2}\right)^2 [\bar{V}(z) A_+(z) + \tilde{V}_+(z) A_-(z)]',$$

$$A'_-(z) = i \frac{\hbar}{2} [\bar{V}(z) A_-(z) + \tilde{V}_-(z) A_+(z)] + \left(\frac{\hbar}{2}\right)^2 [\bar{V}(z) A_-(z) + \tilde{V}_-(z) A_+(z)]',$$

где  $\bar{V}(z)$ ,  $\tilde{V}_+(z)$ ,  $\tilde{V}_-(z)$  — некоторые интегральные преобразования от функции объемной амплитуды рассеяния, имеющие смысл ее «медленной» и «быстрых» компонент. Решив это уравнение для случая полубесконечной периодической среды, получим коэффициенты отражения и поглощения. Последний позволяет найти такую толщину слоистой системы, при которой коэффициент отражения был бы близок к максимальному. Эти результаты применимы к любой слоистой системе, в частности к кристаллу.

Отвлекаясь от технологической стороны вопроса, можно отметить, что для создания дифракционной решетки лучше всего использовать изотопы  $\text{Ni}^{63}$  ( $a^{\text{coh}} = -0,87 \cdot 10^{-12} \text{ см}$ ) и  $\text{Ni}^{58}$  ( $a^{\text{coh}} = 1,44 \cdot 10^{-12} \text{ см}$ ). Проведенный для этого случая расчет показывает, что для получения коэффициента отражения порядка единицы потребуется всего несколько десятков идеально нанесенных друг на друга слоев. Неидеальность слоев приводит к увеличению необходимой толщины решетки, которое можно оценить, если известна степень неидеальности, возникающая из-за несовершенства технологического процесса и диффузии атомов из одного слоя в другой.

(№ 99/3677. Статья поступила в Редакцию 5/IV 1966 г., в окончательной редакции 5/X 1966 г. Полный текст 1 а. л., библиография 5 названий.)

## Защитные свойства камнебетона

В. Б. ДУБРОВСКИЙ, М. Я. КУЛАКОВСКИЙ, П. А. ЛАВДАНСКИЙ,  
В. И. САВИЦКИЙ, В. Н. СОЛОВЬЕВ, А. Ф. МИРЕНКОВ

УДК 621.039.538

Применение камнебетона в качестве материала биологической защиты дает возможность наиболее эффективно использовать местные строительные материалы (глиняные или рудные) и получить новый материал с наилучшим соотношением между объемным весом и стойкостью. В зависимости от вида применяемых заполнителей камнебетон, так же как и бетон, может быть различной плотности (объемного веса) и с различным водосодержанием.

В защите из исследуемых составов бетона и камнебетона (табл. 1) рассчитывалось пространственное распределение нейтронов и захватного  $\gamma$ -излучения, а также распределение мощностей доз за защиты при эквивалентности ослабления суммарной мощности дозы  $5 \cdot 10^9$ .

Результаты экспериментов показали, что некоторое уменьшение (увеличение) содержания водорода в составе камнебетона мало изменяет длину выведения  $\lambda$  быстрых нейтронов. Вследствие большей плотности камнебетонов  $\lambda$  в них меньше, чем в бетонах (составы 1—4, 7—8, см. табл. 1). При одинаковой плотности бетона и камнебетона (составы 5 и 6)  $\lambda$  в камнебетоне также меньше за счет большей доли в его составе легких элементов. Стабилизация спектра нейтронов в защите из бетонов и камнебетонов происходит практически на одинаковой толщине, поэтому на больших толщинах защиты  $\lambda$  тепловых и промежуточных нейтронов в камнебетонах равны  $\lambda$  быстрых нейтронов. В камнебетонах составов 2, 4 и 6 вследствие меньшего содержа-

Вклад отдельных видов излучений в суммарную дозу за защитой, %

Таблица 1

Номер состава	Наименование материала	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Содержание воды, кг/м <sup>3</sup>	$\lambda = \frac{1}{\Sigma_{гет}}$	$D_б^*$	$D_{II}$	$D_T$	$D_{захв \gamma}$	Суммарная доза	Толщина защиты, см
1	Бетон обычный на граните	2350	74	13,42	14,24	8,7	37,4	39,66	100	325
2	Камнебетон на граните	2400	48	13,38	15,18	14,4	32,9	37,4	100	318
3	Бетон гематитовый	3300	60	11,6	50,5	44,2	3,73	2,07	100	280
4	Камнебетон гематитовый	3750	39	10,43	33,6	62,6	3,13	1,3	100	247
5	Бетон гематитовый с дробью	4600	60	9,3	30,0	65,5	2,48	1,95	100	211
6	Камнебетон с дробью	4600	39	9,15	19,9	76,8	1,71	1,62	100	213
7	Бетон серпентиновый	2050	198	13,4	53,5	12,4	29,3	5,5	100	312
8	Камнебетон серпентиновый	2225	234	12,3	37	8,3	24,5	30,2	100	272

\*  $D_б$ ,  $D_{II}$ ,  $D_T$ ,  $D_{захв \gamma}$  — доза, создаваемая быстрыми, промежуточными, тепловыми нейтронами и захватным  $\gamma$ -излучением соответственно.

Длины релаксации нейтронов и дозы  $\gamma$ -излучения (см) (числитель) в зависимости от толщины защиты, см (знаменатель)

Таблица 2

Наименование материала	Pз1		In без Cd		In в Cd		BFз без Cd		BFз в Cd		λ дозы $\gamma$ -излучения (эксперимент) при мощности реактора	
	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет	0	1 мет
Бетон ( $\rho = 2,2 \text{ м/м}^3$ , содержание водорода 4,5%)	$\frac{12,5}{20-80}$	12,7	$\frac{10,4}{20-120}$	11,0	$\frac{10,2}{20-180}$	—	$\frac{12,5}{50-100}$	13,0	$\frac{12,5}{50-100}$	13,1	$\frac{9,7}{20-80}$	$\frac{13,75}{60-120}$
Камнебетон ( $\rho = 2,3 \text{ м/м}^3$ , содержание водорода 3,64%)	$\frac{12,3}{20-80}$	12,5	$\frac{10,4}{20-120}$	11,3	$\frac{10,2}{20-180}$	—	$\frac{12,5}{50-100}$	12,0	$\frac{12,3}{50-100}$	12,6	$\frac{9,5}{20-80}$	$\frac{13,3}{60-120}$

ния водорода факторы накопления тепловых нейтронов меньше, а промежуточных больше, чем в бетонах составов 1,3 и 5. В камнебетоне состава 8 содержание водорода больше, чем в бетоне состава 7, поэтому факторы накопления тепловых нейтронов в нем больше, а промежуточных меньше, чем в бетоне. Однако во всех исследованных составах камнебетонов за счет меньших  $\lambda$  тепловых и промежуточных нейтронов некоторое накопление их не дает заметного вклада в суммарную дозу за защитой и не приводит к увеличению ее толщины. Вследствие большей плотности камнебетонов суммарный поток  $\gamma$ -излучения в них меньше, чем в бетонах. Если толщина защиты определяется внешним  $\gamma$ -излучением, преимущества камнебетонов, обладающих большей плотностью, очевидны.

В работе приведены также результаты эксперимен-

тальных исследований защитных свойств камнебетона на пучке исследовательского реактора ВВР-Ц Физико-химического института им. Л. Я. Карпова, данные расчета пространственного распределения нейтронов и показаний детекторов, использованных при проведении эксперимента (табл. 2).

Установлено, что помимо технико-экономических преимуществ камнебетоны обладают несколько лучшими защитными свойствами по сравнению с бетонами и могут найти применение в качестве материала биологической защиты.

(№ 126/3786. Статья поступила в Редакцию 9/VI 1966 г., аннотация — 2/XI 1966 г. Полный текст 0,45 а. л., 8 рис., 6 табл., библиография 11 названий.)