

гии 660 Мэв значение коэффициента  $\eta$  получилось равным  $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Мэв}^{-1}$ . Трудно сказать, сохраняется ли строго постоянным значение коэффициента  $\eta$  для различных элементов, входящих в состав защиты.

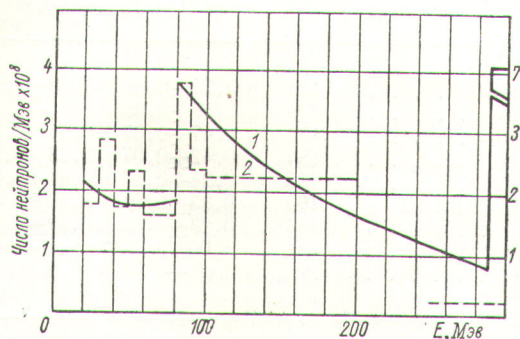


Рис. 3. Энергетический спектр нейтронов за защитой из тяжелого бетона ( $\rho = 3,85 \text{ г/см}^3$ ) толщиной 460 см: 1 — данные настоящей работы; 2 — данные работы [11].

На рис. 3 показан энергетический спектр нейтронов на глубине 460 см, полученный с помощью уравнений (2) и (5) для случая, когда на защиту перпендикулярно падает монохроматический поток нейтронов с энергией 300 Мэв. Там же приведен спектр частиц (в основном нейтронов), рассчитанный методом Монте-Карло [11]. Поток нейтронов, не испытывавших взаимодействия, в спектре 1 изображен столбиком. Нормировка энергетического спектра 2 проводилась из условия равенства площадей под кривыми 1 и 2 на участке 100—200 Мэв. Значительная разница в спектрах на участке 250—300 Мэв вызвана, по-видимому, тем, что значение дифференциального сечения испускания вторичных нейтронов на этом участке в настоящей работе несколько

завышено, а в работе, на которую ссылается Линденбаум [11], занижено.

Авторы благодарны В. П. Джелепову за ценные замечания и Н. А. Черникову за обсуждение методов решения кинетического уравнения.

Поступило в Редакцию 24/I 1963 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Н. Зайцев, М. М. Комочков, Б. С. Сычев. «Атомная энергия», **12**, 525 (1962).
2. О. И. Лейпунский, Б. В. Новожилов, В. Н. Сахаров. Распространение гамма-квантов в веществе. М., Физматгиз, 1960.
3. Б. В. Гавриловский, В. И. Москалев. «Докл. АН СССР», **110**, 972 (1956).
4. H. de Carvalho. Phys. Rev., **96**, 398 (1954).
5. T. Coor et al. Phys. Rev., **98**, 1969 (1955).
6. I. Cassels, I. Lawson. Proc. Phys. Soc., **67A**, 125 (1954).
7. G. Millburn et al. Phys. Rev., **95**, 1268 (1954).
8. F. Chen, C. Leavitt, A. Shapiro. Phys. Rev., **99**, 857 (1955).
9. V. Nedzel. Phys. Rev., **94**, 174 (1954).
10. В. С. Пантуев, М. Н. Хачатурян. «Ж. эксперим. и теор. физ.», **42**, 909 (1962).
11. S. Lindenbaum. Ann. Rev. Nucl. Sci., **11**, 213 (1961).
12. Л. С. Азгирей и др. «Ж. эксперим. и теор. физ.», **36**, 1632 (1959).
13. N. Metropolis et al. Phys. Rev., **110**, 185 (1958).
14. В. П. Джелепов и др. «Изв. АН СССР. Сер. физ.», **19**, 573 (1955).
15. В. С. Киселев и др. «Ж. эксперим. и теор. физ.», **35**, 812 (1958).
16. W. Goodell, H. Loar, R. Durbin, W. Havens. Phys. Rev., **89**, 724 (1953).
17. B. Moyer et al. AEC-D-2149 (1947).
18. M. Livingston, J. Blewett. Particle accelerators, 1962.

УДК 621.039.512

## Влияние отражателей из различных материалов на увеличение числа захватов нейтронов в карбидурановом экране быстрого реактора

В. И. Голубев, А. В. Звонарев, М. Н. Николаев, М. Ю. Орлов

Как показано в работе [1], дополнительные отражатели дают существенное увеличение числа захватов нейтронов в зоне воспроизводства из металлического урана. Цель настоящей работы — исследовать влияние дополнительных отражателей на увеличение числа захватов в зоне воспроизводства из карбида урана.

В данной работе, как и в работе [1], исследовалось влияние дополнительных отражателей для асимптотической области спектра нейтронов [2].

Измерения проводились на реакторе БР-1 [2]. Экран реактора был собран из блоков обедненного урана и графита диаметром 47 и высотой 10 мм. Блочки были собраны в столбики (через два урановых блока один блок из графита).

Полученная решетка имела соотношение чисел ядер урана и углерода 1 : 0,884, что близко к соотношению чисел ядер углерода и урана в карбиде урана. Собранный экран реактора имел форму правильного шестигранника со стороной 1100 и высотой 700 мм. К одной из граней экрана вплотную ставились дополнительные отражатели из бериллия, воды, железа, меди, никеля, графита или стали 1Х18Н9Т. Толщина большинства дополнительных отражателей выбиралась на основе результатов работы [1]. Использовались такие толщины, для которых было найдено, что дальнейшее увеличение толщины отражателя не дает добавки числа захватов нейтронов в урановом экране реактора. Для железного и графитового отражателей был проведен



подбор толщин. Было найдено, что для графитового отражателя увеличение толщины сверх 600 мм не дает заметной добавки числа захватов в экране, для железного—сверх 184 мм.

Для проверки установления асимптотического спектра и определения числа захватов в бесконечном экране из карбида урана увеличивали толщину экрана реактора в одном направлении на 350 мм. Было найдено, что для экрана выбранных размеров в области нейтронов низких энергий, играющих основную роль для реакции  $U^{238}(n, \gamma)U^{239}$ , устанавливается асимптотический спектр.

На опыте измерялось распределение плотности захватов нейтронов  $U^{238}$  в экране реактора как без дополнительного отражателя, так и с отражателями из перечисленных выше материалов. Кроме того, была снята кривая распределения плотности числа захватов нейтронов в утолщенном экране из карбида урана. Радиационный захват нейтронов в уране измерялся по  $\beta$ -активности облученных образцов из порошка закиси окиси обедненного урана, очищенных химическим путем от осколков деления. Навески порошка засыпались в плоские контейнеры из алюминия диаметром 47 и высотой 3 мм (толщина слоя  $U_3O_8$  около 1 мм) и помещались между блочками экрана на уровне центра активной зоны реактора. Для учета неоднородности потока нейтронов, возникающей из-за небольшой гетерогенности смеси урана и углерода в экране реактора, образцы помещались как между урановыми блочками, так и между урановым и графитовым блочками.

Для определения эффективности дополнительных отражателей использовалось отношение  $B_i = \frac{A_i}{A_{УС}}$ ,

где  $A_i$ — разность между полным числом захватов нейтронов в уране с дополнительным отражателем из  $i$ -го материала и без него;  $A_{УС}$  — та же разность для бесконечного отражателя из карбида урана. Результаты измерений для экранов из карбида урана и металлического урана [1] с различными дополнительными отражателями приведены в таблице.

Из таблицы видно, что эффективность материалов, сильно смягчающих спектр нейтронов (воды, бериллия),

Увеличение числа захватов нейтронов в экране реактора

| Материал дополнительного отражателя | Толщина отражателя, мм | $B_i$           |                    |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------------|
|                                     |                        | карбид урана    | металлический уран |
| Бериллий . . . . .                  | 140                    | $0,54 \pm 0,08$ | $0,86 \pm 0,10$    |
| Графит . . . . .                    | 600                    | $0,50 \pm 0,08$ | —                  |
| Никель . . . . .                    | 192                    | $0,47 \pm 0,07$ | $0,51 \pm 0,10$    |
| Железо . . . . .                    | 184                    | $0,42 \pm 0,07$ | $0,28 \pm 0,09$    |
| Медь . . . . .                      | 184                    | $0,24 \pm 0,06$ | $0,41 \pm 0,09$    |
| Сталь 1X18H9T . . . . .             | 160                    | $0,33 \pm 0,06$ | $0,40 \pm 0,09$    |
| Вода . . . . .                      | 144                    | $0,23 \pm 0,06$ | $0,49 \pm 0,10$    |
| Карбид урана . . . . .              | $\infty$               | 1,00            | —                  |
| Уран . . . . .                      | $\infty$               | —               | 1,00               |

при переходе от уранового экрана к экрану из карбида урана существенно снизилась, в то время как эффективность тяжелых материалов снизилась слабо, а для железа даже увеличилась, так как влияние глубоких интерференционных минимумов [1], имеющих в сечении железа при энергиях, больших 25 кэв, в случае экрана из карбида урана не сказывается в связи с сильным смягчением нейтронного спектра.

В заключение авторы благодарят И. И. Бондаренко за ценные обсуждения и советы, а также Н. Д. Голяева, П. В. Киндинова, Ю. Ф. Колеганова, К. И. Нестерова и Е. А. Осипова за помощь в измерениях.

Поступило в Редакцию 13/III 1963 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Голубев, А. В. Звонарев, М. Н. Николаев, М. Ю. Орлов. «Атомная энергия», 15, 258 (1963).
2. А. И. Лейпунский и др. «Атомная энергия», 5, 277 (1958).

УДК 539.121.7:621.039.538

Расчеты спектрально-углового распределения рассеянных  $\gamma$ -квантов точечного мононаправленного источника  $Cs^{137}$  в железе

Л. Р. Кимель, А. М. Панченко, В. П. Терентьев

Методом Монте-Карло решалась задача о спектрально-угловом распределении рассеянных  $\gamma$ -квантов точечного мононаправленного источника. Источник, помещенный в бесконечной среде из железа в точке 0 (рис. 1), испускает  $\gamma$ -кванты с начальной энергией  $E_0 = 0,661$  Мэв в положительном направлении оси  $h$ . Определялось спектрально-угловое распределение рассеянной энергии, проходящей через кольца  $\Delta r_j$ , лежащие в плоскостях, нормальных к пучку, на расстояниях  $h_i$  от точки 0. Спектрально-угловые распределения рассеянной энергии для единичной площадки на расстоянии  $r_j$  от пучка получали усреднением данных о распределении в кольце  $\Delta r_j$ .

Были выбраны следующие значения  $h_i$

| $i$            | -3 | -2 | -1   | 0 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5  |
|----------------|----|----|------|---|-----|-----|-----|-----|----|
| $h, \text{см}$ | -4 | -2 | -0,5 | 0 | 2,4 | 4,8 | 7,2 | 9,6 | 12 |

Отрицательные значения  $h$  относятся к заднему полупространству, которое лежит ниже плоскости, нормальной к пучку и проходящей через точку 0.