

С принятым коэффициентом самоэкранировки сборка рассчитывалась как гомогенная. Результаты расчета приведены выше. Был рассчитан также вклад в коэффициент размножения реакций  $Ve(n, 2n)$  и  $Ve(n, \alpha)$  методом, изложенным в работе [1], с учетом рассеяния нейтронов на кислороде; величина эффекта оказалась равной 1,06.

Интересно сравнить полученные данные с данными других авторов. Для этого измеренная величина  $\tau$  была пересчитана к плотности окиси бериллия  $2,79 \text{ г/см}^3$  (учитывался вклад в замедление фторопласта-4, для которого расчетное  $\tau = 410,8 \text{ см}^2$ ). Оказалось, что  $\tau$  до энергии  $0,2 \text{ эв}$  составляет  $105,6 \text{ см}^2$ . Согласно работе [5], величина  $\tau$  до энергии  $0,3 \text{ эв}$  равна  $104,5 \pm 2 \text{ см}^2$ . По измеренному значению  $k_\infty$  путем расчета множителей  $\eta, \theta, p$  была определена величина  $\mu$  — эффект реакции  $Ve(n, 2n)$ . Она оказалась равной 1,07. В работе [6] для системы из окиси бериллия и слабообогатщенного урана найдено, что  $\mu = 1,054$ . Необходимо отметить, что в такой системе неупругое рассеяние нейтронов деления в блоках урана снижает на 10—20% эффект реакции  $Ve(n, 2n)$ . В работе [7] приводится величина  $\mu$ , равная  $1,08 \pm 0,02$ , полученная для окиси бериллия пересчетом данных эксперимента со сферой из бериллия.

В заключение автор приносит большую благодарность Н. Н. Пономареву-Степному за руководство

работой, В. А. Ходакову, сообщившему результаты расчетов самоэкранировки методом Монте-Карло, и В. Г. Косовскому за помощь в проведении критического эксперимента.

Поступило в Редакцию 28/VII 1964 г.

В окончательной редакции 12/XII 1964 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Пономарев-Степной, С. С. Ломкин. «Атомная энергия», 16, 228 (1964).
2. Н. Н. Пономарев-Степной, С. С. Ломкин, Ю. Г. Дегальцев. «Атомная энергия», 15, 259 (1963).
3. Г. И. Марчук «Методы расчета ядерных реакторов». М., Госатомиздат, 1961.
4. E. Cohen. Nucl. Sci. and Engng, 4, 225 (1958).
5. И. Ф. Жежерун. «Атомная энергия», 13, 258 (1962).
6. P. Venoist et al. Доклад № 1192, представленный Францией на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958).
7. И. Ф. Жежерун. «Атомная энергия», 15, 505 (1963).

УДК 539.122:539.121.72

## К вопросу о прохождении $\gamma$ -квантов через защитные барьеры

С. М. Ермаков, Э. Е. Петров

В настоящей работе описан эффект, связанный с прохождением  $\gamma$ -квантов через плоский защитный барьер, состоящий из двух компонентов: первичного слоя воды и вторичного слоя свинца.

Эффект заключается в следующем: при падении под большими углами с нормалью жестких  $\gamma$ -квантов увеличение толщины слоя воды может привести к увеличению интенсивности излучения, прошедшего через защитный барьер.

Рассмотрим физическую картину явления. Если на плоский слой свинца падает наклонно поток  $\gamma$ -квантов, то этот поток можно значительно ослабить даже слоем небольшой толщины, причем при увеличении угла падения ослабляющие свойства слоя усиливаются. Это особенно ярко проявляется при высоких энергиях падающего излучения, так как с увеличением энергии возрастают анизотропия рассеяния и сечение захвата, т. е.  $\gamma$ -кванты проходят больший путь в слое и захватываются с большей вероятностью. Поместим теперь перед слоем свинца слой воды. В этом случае, с одной стороны,  $\gamma$ -кванты с большей вероятностью будут отражаться от такого двухслойного защитного барьера, что приведет к дальнейшему ослаблению прошедшего излучения; с другой стороны, они будут падать на свинец менее наклонно, что может привести к меньшему ослаблению прошедшего излучения. Кроме того,  $\gamma$ -кванты, рассеянные в воде и пришедшие к поверхности свинца, имеют меньшую энергию, чем первоначальные  $\gamma$ -кванты. При этом если они рассеиваются

на большой угол и имеют энергию меньше  $3 \text{ Мэв}$  (энергия, при которой линейный коэффициент ослабления в свинце имеет минимальное значение), то это приводит к большему ослаблению излучения. Если же  $\gamma$ -кванты рассеиваются на небольшой угол и имеют энергию больше  $3 \text{ Мэв}$ , то это может привести к относительному уменьшению ослабления излучения за защитным барьером, так как сечение поглощения при этих энергиях падает с уменьшением энергии. Таким образом, в некоторых случаях при добавлении водяного слоя увеличивается интенсивность излучения за барьером при наклонном падении.

Указанный эффект был обнаружен при анализе результатов расчетов методом Монте-Карло прохождения  $\gamma$ -излучения через многослойные защитные барьеры.

При статистическом моделировании учитывались следующие виды взаимодействия фотона с веществом: комптоновское рассеяние и поглощение, обусловленное фотоэффектом и образованием пар. Статистическое моделирование такого рода было описано в литературе\*, поэтому отметим только, что расчет производился с введенным статистических весов. При расчете каждого варианта было прослежено 4000 «историй» частицы; ста-

\* См., например, работу T. Ishii, T. Secine, K. Ono. A Monte Carlo Calculation of Gamma Ray Scattering on the Teidac Computer. Codes for Reactor Computations. V.I., Vienna, IAEA, 1961, p. 53.



статистическая погрешность всех полученных результатов при описании угловых и энергетических распределений (даже в худших случаях) не превышает 10% максимального значения рассматриваемой величины. Для интегральных характеристик (таких, как вероятность пройти через слой, отразиться от слоя или поглотиться) погрешность составляла 1–2%.

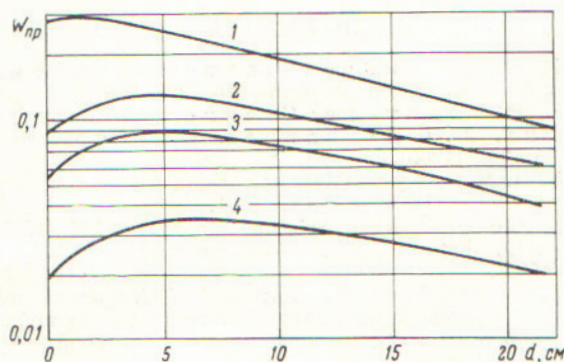


Рис. 1. Изменение  $W_{пр}$  в зависимости от толщины слоя воды при различной толщине свинца:  
1 — 3 мм; 2 — 7 мм; 3 — 10 мм; 4 — 20 мм.

Расчеты проводились для мононаправленного моноэнергетического источника излучения. Область, в которой наблюдался описанный выше эффект, оказалась область углов падения более  $82^\circ$  (угол отсчитывается от нормали к поверхности защитного барьера)

На рис. 1 и 2 приведен характерный случай (энергия источника  $\gamma$ -квантов равна 8 Мэв, угол падения  $85^\circ$ ) увеличения интенсивности излучения защитным барьером при увеличении толщины слоя  $d$  воды. Из рис. 1 видно, как изменяется вероятность прохождения  $\gamma$ -кван-

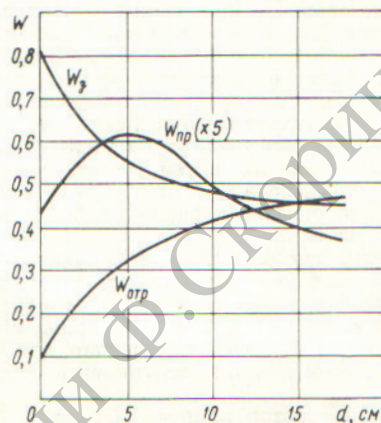


Рис. 2. Изменение характеристик  $W_{пр}$ ,  $W_{отр}$  и  $W_з$  в зависимости от толщины слоя воды.

та через барьер с увеличением толщины слоя воды при различных толщинах слоя свинца.

На рис. 2 показано изменение характеристики излучения при увеличении толщины слоя воды ( $W_{пр}$  — вероятность пройти барьер;  $W_{отр}$  — вероятность отра-

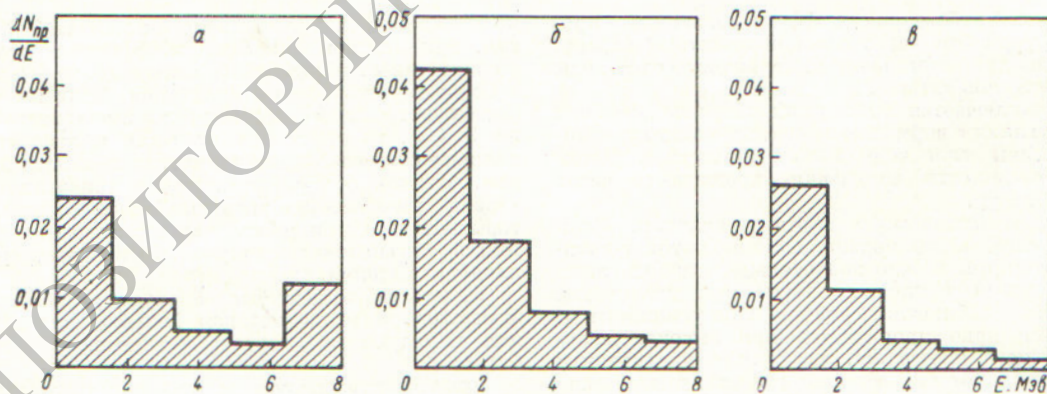


Рис. 3. Изменение формы спектра прошедшего излучения в зависимости от толщины слоя воды:

а — 0; б — 5 см; в — 16 см.

и энергий, превышающих 6 Мэв. В этой области интенсивность прошедшего излучения возрастала с увеличением толщины слоя воды при любой толщине слоя свинца.

зяться;  $W_з$  — вероятность захвата). Толщина слоя свинца в этом случае равна 7 мм.

На рис. 3–5 показано изменение формы энергетического спектра прошедших  $\gamma$ -квантов, углового рас-



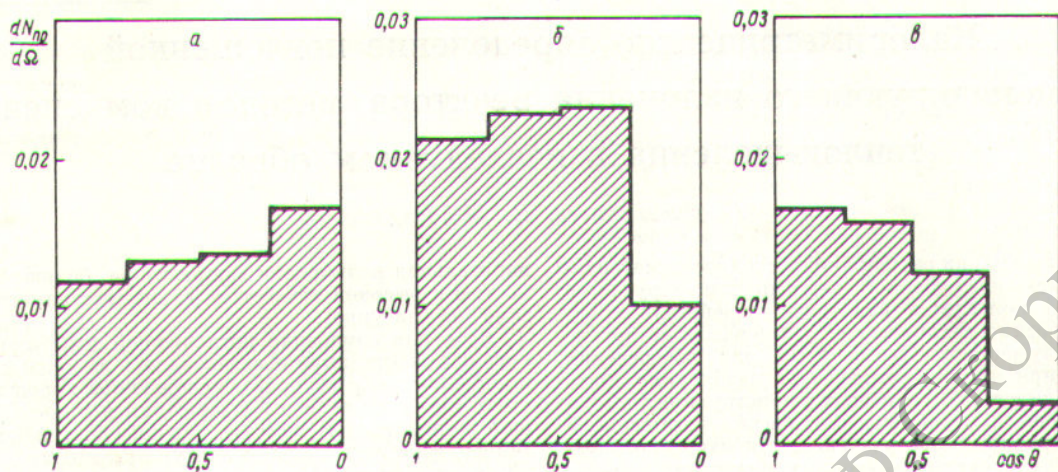


Рис. 4. Изменение формы углового распределения прошедшего излучения в зависимости от толщины слоя воды:  
а — 0; б — 5 см; в — 16 см.

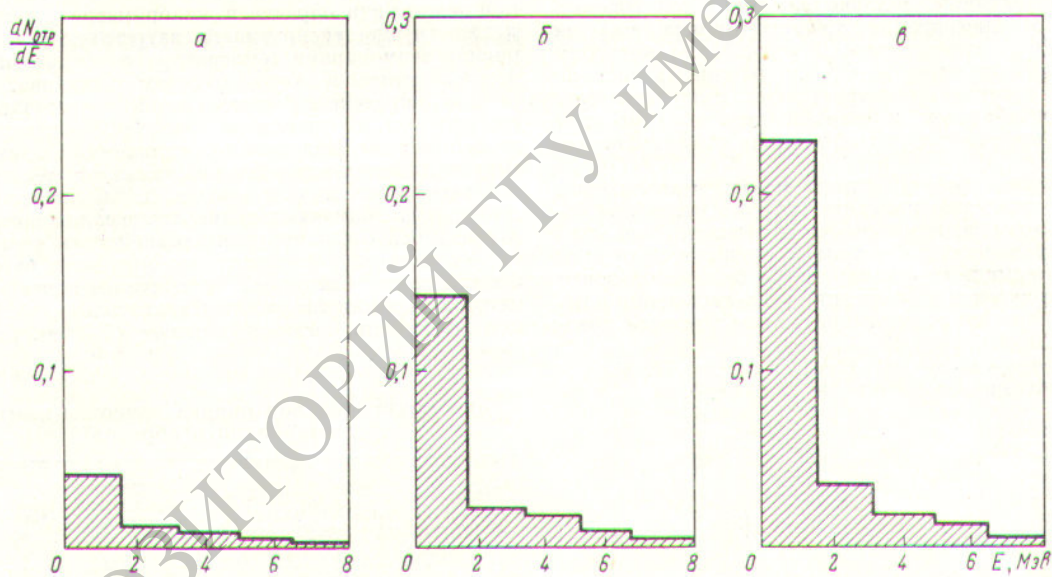


Рис. 5. Изменение спектра отраженных  $\gamma$ -квантов в зависимости от толщины слоя воды:  
а — 0; б — 5 см; в — 16 см.

предельного полного их потока и энергетического спектра отраженных  $\gamma$ -квантов, причем все величины на этих рисунках нормированы на одну падающую частицу. Эти рисунки наглядно иллюстрируют физическую картину описываемого эффекта.

Авторы считают своим долгом поблагодарить Н. Ф. Хамьянову, которая осуществила необходимые расчеты на электронно-вычислительной машине.

Поступило в Редакцию 13/VIII 1964 г.  
В окончательной редакции 30/XI 1964 г.