

ПРОХОЖДЕНИЕ ЖЕСТКОЙ КОМПОНЕНТЫ ТОРМОЗНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ПОГЛОТИТЕЛИ ИЗ ЖЕЛЕЗА, МЕДИ И СВИНЦА

С. Ф. Рослик

УДК 539.1.074.8

В работе измерено распределение числа фотонов с энергией более 19 Мэв, генерируемых пучком тормозного излучения с граничной энергией 600 Мэв, по толщине поглотителя из железа, меди и свинца.

Закономерности прохождения и ослабления в различного рода поглотителях фотонов с энергиями, превышающими пороги фотонейтронных реакций, являются крайне необходимыми при прогнозировании радиационной обстановки в залах с выведенными гамма-пучками и при расчете защиты. В самом деле, при расчете защиты, на которую падает тормозное излучение, следует учитывать вклад в дозу не только просочившегося через защиту гамма-излучения, но и фотонейтронов от распределенного по толщине защиты нейтронного источника. Изучая переходную кривую фотонов с энергиями, превышающими пороги фотоядерных реакций, мы получаем сведения о распределенном по толщине защиты нейтронном источнике. Несмотря на то, что в последнее время выполнено достаточно много экспериментальных и теоретических работ по развитию ливней в ряде материалов, экспериментальная информация в этой области остается весьма желательной.

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование прохождения фотонов, возбуждающих  $(\gamma, n)$ -реакцию, через поглотители из железа, меди и свинца.

Условия эксперимента были следующими. Пучок тормозного излучения с энергией 600 Мэв после прохождения двух свинцовых коллиматоров попадал в центр поглотителя, набранного из пластин железа, меди или свинца размером 20x30 см. Регистрация прошедших через поглотитель гамма-квантов производилась по наведенной активности в реакции  $^{12}(\gamma, n)^{11}\text{C}$ , имеющей порог 19 Мэв, на углероде, входящем в состав жидкого органического сцинтиллятора. Плоский

сосуд со спинтиллятором устанавливался за поглотителем, вплотную к нему. Для мониторинга пучка перед поглотителем устанавливался такой же сосуд, с таким же спинтиллятором. Толщина спинтиллятора вместе со стенками сосуда составляла 0,2 радиационных длин.

После облучения в течение 20 + 30 минут наведенные активности детектора и монитора сосчитывались на специальном счетчике, пересчитывались к концу облучения и к условиям насыщения активности. После перечисленных процедур счет детектора приводился к счету монитора. Таким образом, при нулевой толщине поглотителя число гамма-квантов, возбуждающих  $(\gamma, n)$ -реакцию на углероде, было равно единице. С увеличением толщины поглотителя число таких гамма-квантов проходит через максимум и затем спадает по закону, очень близкому к экспоненциальному. Полученные экспериментальные результаты изображены на рис.1, где по оси ординат отложено относительное число фотонов с энергией более 19 Мэв, а по оси абсцисс - толщина поглотителя в радиационных длинах. Радиационные длины, в том числе и для спинтиллятора, определялись по эмпирической формуле

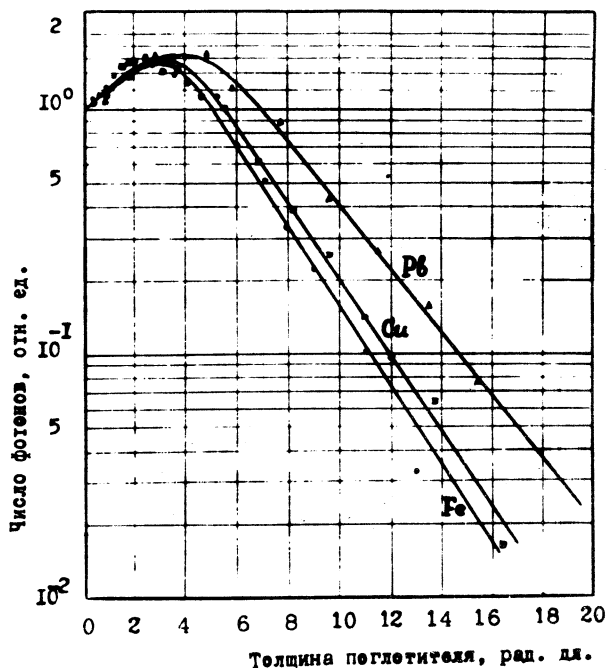
$$X_0 = 178 \cdot z^{-0,774} \text{ г/см}^2, \quad (I)$$

где  $z$  - атомный номер вещества поглотителя. Для сложных веществ в формулу (I) подставляется эффективный атомный номер, рассчитываемый по известным соотношениям.

По данным рис.1 были определены положения максимумов переходных кривых и коэффициенты, характеризующие их спад в экспоненциальной части. Кроме того, было определено отношение интегральных пробегов фотонов указанных энергий в поглотителях из железа, меди и свинца. Следует отметить, что до глубин, соответствующих максимумам ливней, интегральные пробеги фотонов отличаются друг от друга очень незначительно. При полном поглощении пучка интегральные пробеги относятся как 1:0,8:0,76 для свинца, меди и железа соответственно. Эти данные изображены на рис.2.

Для оценки полученных данных и возможности экстраполяции их к другим энергиям тормозного спектра и другим материалам поглотителей был проанализирован ряд экспериментальных и расчетных работ /1 - 20/ по исследованию электронно-фотонных ливней. К со-

жалению, более или менее детальное сравнение в широком энергетическом диапазоне удастся провести только для свинца. Значительно меньше данных имеется по развитию ливней в меди. По развитию



Р и с. 1. Зависимость числа фотонов с  $E_\gamma \geq 19$  Мэв, прошедших через поглотитель из Fe, Cu, Pb, от толщины поглотителя

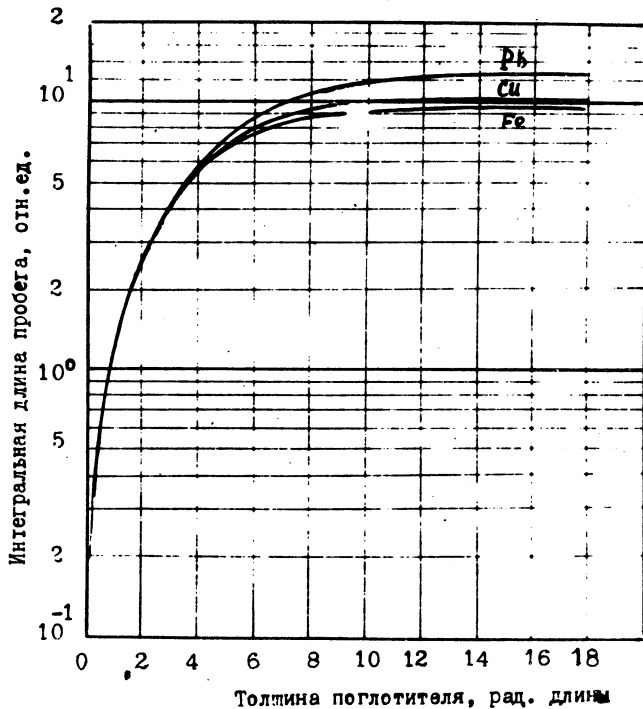
ливней в железе автор не располагает никакими данными. Поэтому для сравнения данных использовалось известное правило подобия: все ливневые процессы в двух поглотителях из различных материалов будут идентичными, если выполняется условие

$$\frac{E_{01}}{\epsilon_1} = \frac{E_{02}}{\epsilon_2}, \quad (2)$$

где  $E_{01}$  и  $E_{02}$  - начальные энергии электронов или фотонов, выз-

вавших ливень, а  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  - критические энергии материалов поглотителей, которые рассчитывались так же по эмпирической формуле

$$\epsilon = 620 \cdot z^{-1}, \text{ Мэв.} \quad (3)$$



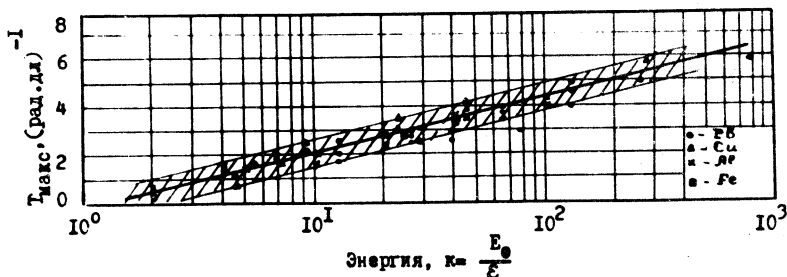
Р и с. 2. Зависимость интегральной длины пробега фотонов с  $E \gg 19$  Мэв от толщины поглотителя для различных материалов

Таблица I

Поглотитель	Положение максимума, радиац. длины.	Коеф. ослабления ливня после его максимума,	
		(рад. дл.) <sup>-1</sup>	см <sup>2</sup> /г
Железо	2,5	0,40	0,0259
Медь	2,6	0,35	0,0277
Свинец	3,8	0,30	0,0508

Из анализа полученных результатов и литературных данных следует, что если энергию выразить в единицах  $K = E_0/\epsilon$ , а толщину поглотителя в радиационных длинах, то положение максимума ливня, с точностью не хуже 30%, описывается эмпирическим соотношением

$$T^{\delta} = 1,01(\ln K - 0,33), \text{ рад. дл.} \quad (4)$$



Р и с. 3. Зависимость положения максимума ливня от энергии  $K = E_0/\epsilon$ . Точки на графике - данные для Al, Fe, Cu и Pb согласно работ /1-8/. Заштрихованная область - область 30% разброса

независимо от того, вызван ли ливень электронами или фотонами, и независимо от интересующих нас энергий ливневых фотонов. Зависимость (4) вместе с данными публикаций изображена на рис.3.

Далее, коэффициент ослабления ливня очень слабо зависит от энергии первоначальных электронов или фотонов вплоть до  $10^5$  Мэв и не зависит от энергии ливневых частиц.

И, наконец, последнее. Коэффициент ослабления ливня, в его экспоненциальной части, отличается от минимального коэффициента поглощения гамма-квантов в данном веществе. Причем для поглотителей с  $z > 20$  поглощение ливня идет быстрее, чем с минимальным коэффициентом поглощения, а для  $z < 20$  медленнее. Для практических целей расчета защиты коэффициент ослабления ливня можно находить из соотношения

$$\lambda = 0,637 z^{-0,152}, (\text{рад. дл.})^{-1}. \quad (5)$$

В заключение автор выражает благодарность В. Н. Гольцеву и Г. М. Ваниной за выполнение экспериментальной части работы.

Поступила в редакцию  
2 ноября 1973 г.

## Л и т е р а т у р а

1. W. Blocker et al. Phys. Rev., 79, 419 (1950).
2. D. F. Crawford, H. Messel. Nucl. Phys., 61, 145 (1965).
3. Y. Murata. J. Phys. Soc. Japan, 20, 209 (1965).
4. G. Bathow et al. Nucl. Instr. Meth, 51, 56 (1967); G. Bathow. Second International Conference of Accelerator Dosimetry and Experience, Stanford, California, November 5-7, 1969, p. 222.
5. H. Thom. Phys. Rev., 136, B447 (1964).
6. M. D. Wilson, J. B. McDiarmid. Can. J. Phys., 40, 573 (1962).
7. E. E. Becklin, J. A. Earl. Phys. Rev., 136, B237 (1964).
8. S. Lal, A. Subramanian. Nuovo Cimento, 26, 1245 (1962).
9. H. Lengeller, M. Deutchman. Nuovo Cimento, 28, 1501 (1963).
10. C. H. Heusch, C. Y. Prescott. Phys. Rev., 135, B772 (1964).
11. R. Kajikawa. J. Phys. Soc. Japan, 18, 1365 (1963).
12. J. C. Butcher, H. Messel. Nucl. Phys., 20, 15 (1960).
13. A. Kantz, R. Hofstadter. Phys. Rev., 89, 607 (1953).
14. W. R. Nelson et al. SLAC-PUB-153, Jan. (1966).
15. G. Bonarzola et al. Nucl. Phys., 34, 637 (1962).
16. L. M. Jones, K. M. Terwilliger. Phys. Rev., 91, 699 (1953).
17. Ю. Д. Прокошкин, Тан Сяо-вей. ЖЭТФ, 36, 10 (1959).
18. О. А. Займидорога и др. ЖЭТФ, 51, 749 (1966).
19. О. А. Займидорога и др. Препринт ОИЯИ РІ-2990, Дубна, 1966 г.
20. П. А. Черенков и др. Сб. докладов совещания по дозиметрии и физике защиты на ускорителях, І6-4888, Дубна, 7-10 окт., 1969 г.