

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Князев А. П. В кн.: Радиационная безопасность и защита АЭС. Вып. 2. М., Атомиздат, 1976.
2. Бергельсон Б. Р. и др. Многогрупповые методы расчета защиты от нейтронов. М., Атомиздат, 1970.

3. Гермогенова Т. А. и др. В кн.: Вопросы физики защиты реакторов. Вып. 2. М., Атомиздат, 1966, с. 57.
4. Гермогенова Т. А. и др. Перенос быстрых нейтронов в плоских защитах. М., Атомиздат, 1971.
5. Woolf S. «Nucl. Sci. and Engng», 1977, v. 62, p. 278.

УДК 539.109

Расчет спектров и средних значений ЛПЭ при взаимодействии нейтронов с биологической тканью

ЗЫБИН В. А., РЫКОВ В. А.

При сравнении биологического действия нейтронов разных энергий или с различным энергетическим спектром необходимо учитывать распределение поглощенной дозы по линейным передачам энергии (спектры ЛПЭ) и усредненные значения ЛПЭ по дозе и по треку. В настоящей работе проведены расчеты неограниченных ЛПЭ (L_∞), которые совпадают с линейными потерями энергии, когда можно пренебречь тормозным излучением. Эти значения получены для нейтронов энергией $E_n \leq 6,5$ МэВ, когда основную роль при взаимодействии нейтронов с биологической тканью играет упругое рассеяние на ядрах атомов Н, С, N, О. При этом, имея в виду применение результатов к малым объемам, ослаблением нейтронов пренебрегали. Расчеты проводили с учетом потерь энергии ядер отдачи на ядерное торможение [1—3]. Формулы для расчетов при облучении ткани моноэнергетическими нейтронами имеют следующий вид:

а) среднее значение ЛПЭ по дозе:

$$\bar{L}_D(E_n) = \frac{\sum_i N_i \sigma_{ei} \int_0^{E_{i, \max}} L_i(\epsilon) (1 - \epsilon/E_{i, \max}) d\epsilon}{\sum_i N_i \sigma_{ei} E_{i, \max}/2}; \quad (1)$$

б) среднее значение ЛПЭ по треку:

$$\bar{L}_T(E_n) = \frac{\sum_i N_i \sigma_{ei} \int_0^{E_{i, \max}} (1 - \epsilon/E_{i, \max}) d\epsilon}{\sum_i N_i \sigma_{ei} \int_0^{E_{i, \max}} \frac{1}{L_i(\epsilon)} (1 - \epsilon/E_{i, \max}) d\epsilon}; \quad (2)$$

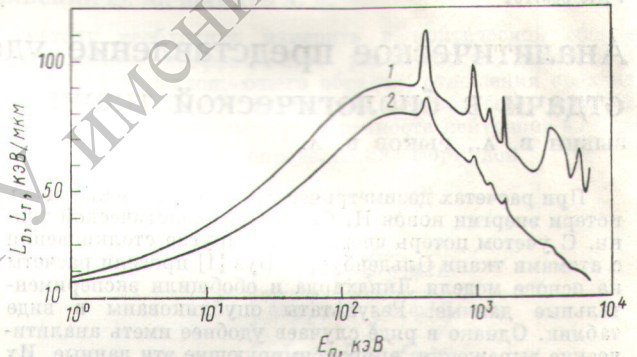
в) распределение дозы по ЛПЭ:

$$D_L = \sum_i \frac{N_i \sigma_{ei} (1 - \epsilon/E_{i, \max})}{dL_i(\epsilon)/d\epsilon}, \quad (3)$$

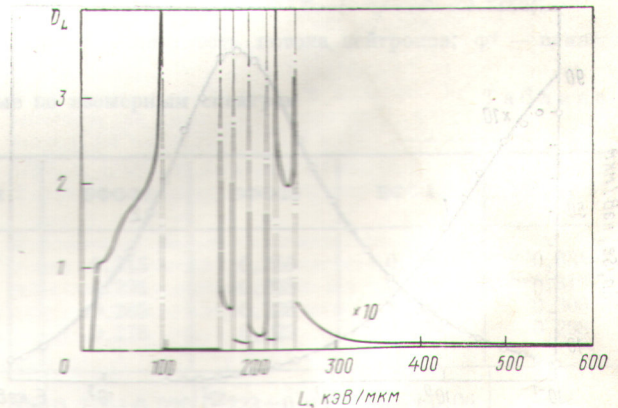
где N_i — число атомов в 1 см^3 ткани; σ_{ei} — сечения упругого рассеяния нейтронов на ядрах атомов ткани; $L_i(\epsilon)$ — линейные передачи энергии ядер отдачи в ткани, включая потери на ядерное торможение; $E_{i, \max}$ — максимальная энергия ядер отдачи после столкновения нейтрона с энергией E_n . Формулы (1) — (3) нетрудно

обобщить при расчетах для спектра нейтронов, проинтегрировав их по всему заданному спектру.

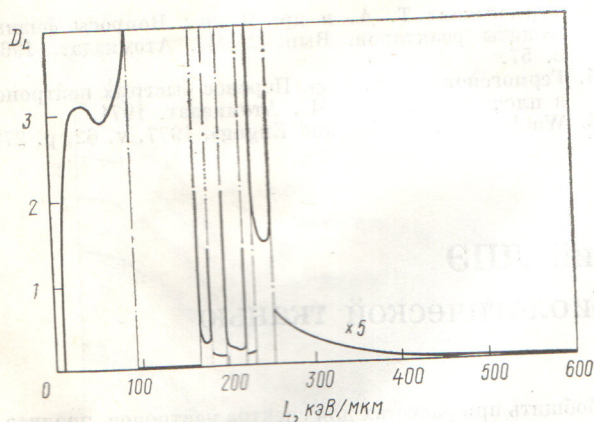
На рис. 1—3 приведены результаты расчетов. Пики на рис. 1 объясняются наличием резонансов в сечениях упругого рассеяния на ядрах С, N, О. Разрывы на рис. 2 и 3 обусловлены тем, что стоящая в знаменателе



Р и с. 1. Средние значения ЛПЭ по дозе (1) и по треку (2) для моноэнергетических нейтронов



Р и с. 2. Распределение дозы по ЛПЭ для нейтронов канала П-2 ($E_n = 350$ кэВ) реактора БР-10 (увеличение относится ко всей части графика с $L > 100$ кэВ/см).



Р и с. 3. Распределение дозы по ЛПЭ для нейтронов канала Б-3 ($\bar{E}_n = 850$ кэВ) реактора БР-10 (увеличение относится ко всей части графика с $L > 100$ кэВ/мкм)

УДК 539.101

Аналитическое представление удельных потерь энергии ядер отдачи в биологической ткани

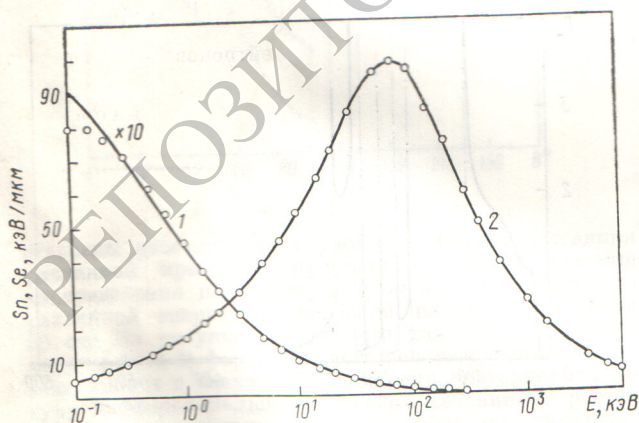
ЗЫБИН В. А., РЫКОВ В. А.

При расчетах дозиметрических величин нужно знать потери энергии ионов Н, С, N, О в биологической ткани. С учетом потерь энергии на упругие столкновения с атомами ткани Ольденбург и Буз [1] провели расчеты на основе модели Линдхарда и обобщили экспериментальные данные. Результаты опубликованы в виде таблиц. Однако в ряде случаев удобнее иметь аналитические выражения, аппроксимирующие эти данные. Их можно получить, используя ранее предложенную формулу для потерь энергии ионов в однородных средах [2]. При этом для такой неомогенной по составу среды, как биологическая ткань, получается довольно сложное

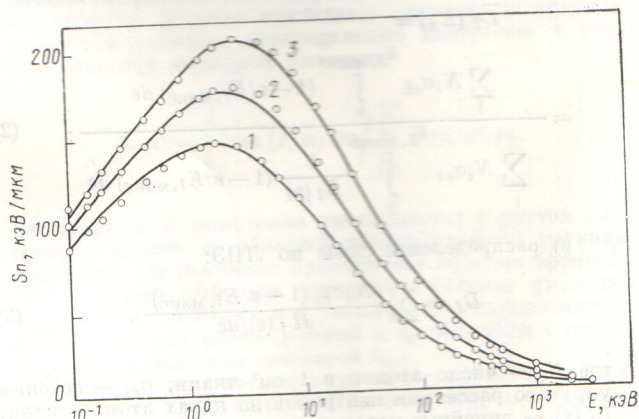
выражение, состоящее из суммы членов, относящихся к столкновениям данного иона с атомами Н, С, N, О, входящими в состав биологической ткани. Оказывается, можно воспользоваться формулой из работы [2], чтобы получить простое выражение для потерь энергии на упругие столкновения S_n :

$$S_n = aE^{1/2}/(b+E). \quad (1)$$

Коэффициент a для ^1H , С, N и О равен 6,06; 1050; 1650 и 2250; коэффициент b соответственно 0,326; 6,5; 9 и 11,4.



Р и с. 1. Потери энергии на ядерное (1) и электронное (2) торможение ядер отдачи водорода в ткани [1]; \circ — расчет по формулам (1) — (3)



Р и с. 2. Потери энергии на ядерное торможение ядер отдачи углерода (1), азота (2) и кислорода (3) [1]; \circ — расчет по формуле (1)

Поступило в Редакцию 19.XII.77

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lindhard J. e.a. «Mat.-fys. medd. Kgl. danske vid. Selskab», 1963, v. 33, N 14.
2. Oldenburg U., Booz J. Commission of the European Communities. Rept EUR-4786, Brussels, 1972.
3. Зыбин В. А., Рыков В. А. «Атомная энергия», 1976, т. 41, вып. 3, с. 216.
4. Трыков Л. А. и др. «Атомная энергия», 1975, т. 39, вып. 1, с. 56.