

Зависимость усредненных по спектру электронов потерь энергии от граничной энергии β -спектра, атомного номера β -излучателя и типа перехода

В. Ф. Баранов

Таблица 1

Создаваемую β -излучением дозу D можно определить из соотношения

$$D = 1,6 \cdot 10^{-8} N t \bar{S} \text{ рад}, \quad (1)$$

где N — плотность потока β -частиц, $\text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$; t — время облучения, сек ; \bar{S} — ионизационные потери на одну β -частицу, усредненные по спектру электронов, $\text{Мэв} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{г}^{-1}$. Значение \bar{S} зависит от материала поглотителя, граничной энергии и формы спектра электронов и вычисляется по формуле

$$\bar{S} = \frac{\int_0^{E_0} S(E, Z_{\text{погл}}) n(E) dE}{\int_0^{E_0} n(E) dE}, \quad (2)$$

где $n(E) dE$ — число электронов с энергией в интервале от E до $E + dE$; E_0 — граничная энергия спектра; $S(E, Z_{\text{погл}})$ — ионизационные потери электронов с энергией E в поглотителе с атомным номером $Z_{\text{погл}}$. В работах [1, 2] значения $\bar{S}_{\text{тк}}$ для ткани рассчитаны на основе β -спектров некоторых радиоактивных изотопов, измеренных сцинтилляционным спектрометром. К сожалению, такие анализаторы искажают форму β -спектра в области энергий ниже 200—300 кэв . Кроме того, зависимость \bar{S} от формы спектра в широком диапазоне изменений граничной энергии спектра E_0 не установлена.

В настоящей работе рассчитаны потери энергии β -излучения в алюминии и ткани, усредненные по спектру электронов для излучателей с разрешенным и безусловно запрещенным в первом порядке переходом. Для β -излучателей значения Z принимались равными 10, 20, 40, 60 и 80; граничные энергии спектра $0,1 \leq E_0 \leq 3,0 \text{ Мэв}$. Энергетическое распределение электронов $n(E) dE$ вычислялось так же, как и в работе [3]. При расчетах \bar{S} были использованы данные работ [4—6] для ионизационных потерь энергии электронов в алюминии, воде и ткани в диапазоне энергий $1 \leq E \leq E_0 \text{ кэв}$. Вклад электронов с энергией $1 \div 10 \text{ кэв}$ в величину \bar{S} весьма существен при малых значениях E_0 и больших Z излучателя и достигает 30%. Этим интервалом энергий при определении \bar{S} на основе экспериментально измеренных β -спектров пренебрегают [1]. Результаты вычислений \bar{S} по формуле (2) в алюминии и ткани (воде) представлены в табл. 1 и на рис. 1. Соотношение между $\bar{S}_{\text{тк}}$ и $\bar{S}_{\text{Ал}}$ для соответствующих значений E_0 и Z в случае разрешенных и безусловно запрещенных в первом порядке переходов в диапазоне $0,1 \leq E_0 \leq 3 \text{ Мэв}$ имеет вид

$$\bar{S}_{\text{тк}} = (1,25 \pm 0,04) \bar{S}_{\text{Ал}}. \quad (3)$$

Расчетные значения ионизационных потерь на одну β -частицу для алюминия и ткани (воды)

E_0 , Мэв	Разрешенные β -переходы					Безусловно запрещенные в первом порядке β -переходы		
	$Z = 10$	$Z = 20$	$Z = 40$	$Z = 60$	$Z = 80$	$Z = 10$	$Z = 40$	$Z = 80$
В алюминии								
0,1	13,2	14,4	16,3	16,8	17,2	8,45	9,70	11,5
0,2	7,85	8,55	9,65	9,95	10,1	5,85	6,58	7,70
0,3	5,75	6,30	7,10	7,35	7,50	4,70	5,25	6,05
0,4	4,63	5,10	5,70	5,90	6,00	4,03	4,45	5,15
0,6	3,42	3,73	4,20	4,35	4,45	3,25	3,55	4,05
0,8	2,83	3,05	3,41	3,55	3,65	2,79	3,05	3,43
1,0	2,48	2,65	2,95	3,05	3,15	2,50	2,73	3,03
1,5	2,02	2,13	2,30	2,38	2,44	2,08	2,25	2,42
2,0	1,80	1,88	1,98	2,04	2,08	1,85	1,99	2,11
3,0	1,62	1,66	1,70	1,73	1,77	1,69	1,75	1,82
В ткани (воде)								
0,1	17,1	18,6	21,1	21,7	22,2	10,9	12,5	14,9
0,2	10,1	11,0	12,4	12,8	13,0	7,51	8,45	9,90
0,3	7,35	8,05	9,06	9,39	9,57	6,00	6,70	7,72
0,4	5,88	6,47	7,24	7,50	7,61	5,11	5,65	6,54
0,6	4,30	4,70	5,29	5,47	5,60	4,09	4,46	5,10
0,8	3,54	3,81	4,26	4,44	4,56	3,48	3,81	4,29
1,0	3,08	3,30	3,67	3,80	3,92	3,11	3,40	3,77
1,5	2,48	2,62	2,83	2,93	3,00	2,56	2,77	2,98
2,0	2,20	2,29	2,42	2,49	2,54	2,26	2,43	2,57
3,0	1,96	2,01	2,06	2,09	2,14	2,04	2,12	2,20

При $E_0 = 0,1 \text{ Мэв}$ в зависимости от Z излучателя и типа перехода различие в значениях \bar{S} достигает 50% (при $E_0 = 3,0 \text{ Мэв}$ составляет 11%). На рис. 2 приведена зависимость $\bar{S}_{\text{Ал}}$ от средней энергии β -спектра \bar{E} , а также значения ошибок $\pm \Delta\%$, с которыми могут быть определены значения $\bar{S}_{\text{Ал}}$, если известны \bar{E} и тип перехода, но неизвестен Z излучателя. Установлено, что отношение \bar{E}/\bar{S} весьма близко к величине максимального пробега $R(\bar{E})$ моноэнергетических электронов с энергией $E = \bar{E}$. Исходя из этого, величину \bar{S} можно вычислить приближенно по формуле

$$\bar{S} = \frac{\bar{E}}{R(\bar{E})}. \quad (4)$$

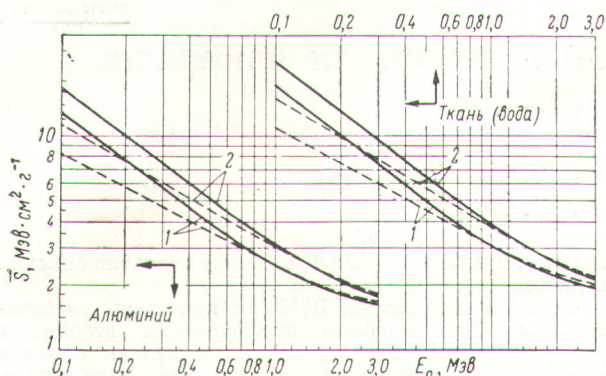


Рис. 1. Усредненные потери энергии β -излучения в алюминии и ткани (воде) в зависимости от граничной энергии β -спектра:

1 — $Z = 10$; 2 — $Z = 80$; — — — разрешенные переходы; — — — — — переходы, безусловно запрещенные в первом порядке.

Значение \bar{E} можно определить по данным работы [3], значения $R(E)$ для разных поглотителей приведены в работах [4—6]. В табл. 2 указаны верхние и нижние значения ошибок δ при определении величины \bar{S} по формуле (4).

Таблица 2

Точность определения \bar{S} по формуле (4)

Разрешенные β -переходы		Безусловно запрещенные в первом порядке β -переходы	
E_0 , Mэв	δ , %	E_0 , Mэв	δ , %
0,1—1,0	+2; —18	0,2—0,4	+8
1,0—2,0	+8	0,4—1,5	0; —12
2,0—3,0	+9; —2	1,5—3,0	+5

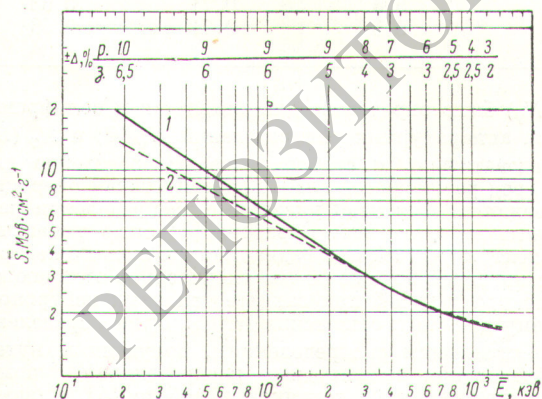


Рис. 2. Зависимость усредненных потерь энергии β -излучения в алюминии от средней энергии β -спектра: 1 — разрешенные переходы (p.); 2 — переходы, безусловно запрещенные в первом порядке (z.).

Вычисленные значения \bar{S} необходимы для нахождения дозы, создаваемой β -излучением радиоактивных препаратов, когда спектр электронов близок по форме к спектру эмиссии и при определении удельной активности толстослойных β -источников. Кроме того, с помощью \bar{S} можно более точно определить предельно допустимые потоки β -частиц N_β . При мощности поглощенной дозы 0,1 рад/неделя и времени облучения $t = 40$ ч в неделю

$$N_\beta = \frac{43,4}{\bar{S}_{\text{тк}}} \quad (5)$$

На рис. 3 представлена вычисленная по формуле (5) зависимость N_β от E_0 для излучателей с $Z = 80$ (кривая 1) и $Z = 10$ (кривая 2). Для сравнения приведены значения N_β для моноэнергетических электронов с энергией $E = E_0$ по данным работы [7],

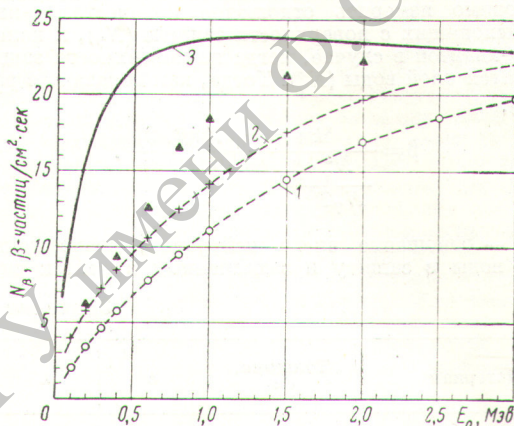


Рис. 3. Зависимость предельно допустимого потока β -частиц от граничной энергии β -спектра.

пересчитанные для $t = 40$ ч (кривая 3), и данные работы [1] для экспериментально измеренных β -спектров, пересчитанные для мощности поглощенной дозы 0,1 рад/неделя и $t = 40$ ч (треугольники).

Поступило в Редакцию 28/I 1965 г.

В окончательной редакции 7/IV 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. К. Аглинцев, В. П. Касаткин. Сборник работ по некоторым вопросам дозиметрии и радиометрии ионизирующих излучений. Под ред. Ю. В. Сивинцева. Вып. 1. М., Госатомиздат, 1960, стр. 59; «Атомная энергия», 7, 138 (1959).
2. К. К. Аглинцев, В. П. Касаткин. «Атомная энергия», 12, 51 (1962).
3. Н. С. Шиманская, Э. Г. Залецкий. «Атомная энергия», 17, 9 (1964).
4. L. Spencer. Phys. Rev., 98, 1597 (1955).
5. A. Nelm s. NBS Circular 577, Washington, 1956.
6. Р. Егер. Дозиметрия и защита от излучений. М., Госатомиздат, 1961, стр. 75.
7. Н. Г. Гусев. О предельно допустимых уровнях ионизирующих излучений. М., Медгиз, 1961, стр. 110.