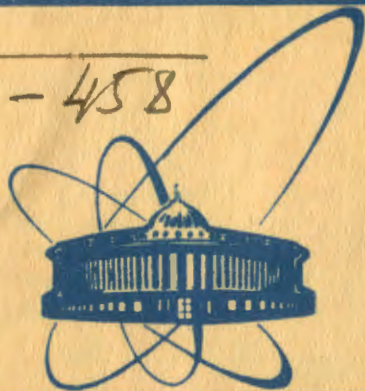


A-458



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

5921/2-81

P16-81-607

В.Е.Алейников, В.П.Бамблевский, Бе Ен Гван

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

МАКСИМАЛЬНОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ

ДОЗЫ НЕЙТРОНОВ

В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 10^{-8} - 25 МэВ

ДЕТЕКТОРОМ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

С ДВУМЯ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ

1981

Для дозиметрии нейтронов в полях излучения со спектром нейтронов широкого диапазона энергии широко используется многошаровой метод /1-4/, который основан на измерении показаний $1/V$ -детектора в шаровых полиэтиленовых замедлителях разных диаметров. Составляется линейная комбинация

$$q(E) = \sum_i \alpha_i \epsilon_i(E) \quad /1/$$

функций чувствительности $\epsilon_i(E)$ / имп. · н⁻¹ см² / прибора с i -тым замедлителем, такая, что

$$q(E) =: h(E), \quad /2/$$

где α_i - постоянные коэффициенты; $h(E)$ - зависимость от энергии нейтронов E коэффициента перехода от плотности потока нейтронов к мощности максимальной эквивалентной дозы /МЭД/.

При выполнении соотношения /2/ справедливо следующее равенство:

$$\dot{N}_\phi^i = \sum \alpha_i C_i, \quad /3/$$

где C_i - показание детектора с i -тым замедлителем; \dot{N}_ϕ^i - мощность МЭД, вычисленная по формуле

$$\dot{N}_\phi^i = \int_{E_1}^{E_2} \phi(E) h(E) dE. \quad /4/$$

Здесь $\phi(E)$ - дифференциальная энергетическая зависимость плотности потока нейтронов /спектр нейтронов/; E_1 и E_2 - минимальная и максимальная энергии спектра.

С увеличением числа замедлителей, с одной стороны, повышается точность измерений, с другой - увеличивается трудоемкость измерений и обработка результатов, а также повышаются требования к временной стабильности поля излучения и используемой аппаратуры.

Цель настоящей работы - рекомендовать минимальный набор замедлителей, обеспечивающих измерение \dot{N}_ϕ в диапазоне энергий нейтронов от 10^{-8} до 25 МэВ с точностью не хуже 30% /величина, требуемая /см./⁵/ / при измерении доз на уровне предельно допустимых/ в типичных полях излучения ускорителей заряженных частиц и ядерных реакторов.

Исследования адекватности показаний широко используемого в качестве бэрметра нейтронов $1/V$ -детектора с шаровым полиэтиленовым замедлителем диаметром 10 дюймов показали /4, 8-8/, что

такой дозиметр не удовлетворяет требуемой точности измерения эквивалентной дозы. С целью аппроксимации зависимости $h_0(E)$ линейной комбинацией функций чувствительности двух замедлителей были рассмотрены пары шаровых замедлителей с диаметрами /2,10/, /2,12/, /3,10/, /3,12/, /5,10/ и /5,12/ дюймов. Методом наименьших квадратов находились коэффициенты α_1 и α_2 , такие, что

$$q(E) = \alpha_i \epsilon_i(E) + \alpha_j \epsilon_j(E) \approx h_0(E), \quad i = 2, 3, 5; \quad j = 10, 12. \quad /5/$$

Здесь $h_0(E)$ - рекомендованные НРБ-76 /9/ значения коэффициентов перехода от плотности потока нейтронов к мощности МЭД /мбэр·час⁻¹·см²·нейтр.⁻¹/.

Далее вычислялись мощности МЭД:

$$\dot{H}_s = \alpha_i C_i + \alpha_j C_j, \quad i = 2, 3, 5; \quad j = 10, 12, \quad /6/$$

для 51 спектра /некоторые характеристики спектров приведены в табл. 1/. Величины \dot{H}_s сравнивались с \dot{H}_ϕ , вычисленными по формуле /4/ при $E_1 = 10^{-8}$ МэВ и $E_2 = 25$ МэВ. Критерием применимости методики служило соотношение

$$\frac{|\dot{H}_\phi - \dot{H}_s|}{\dot{H}_\phi} \leq 0,3. \quad /7/$$

Этому критерию лучшим образом удовлетворяет пара замедлителей с диаметрами 5 и 10 дюймов. Для коэффициентов, соответствующих этой паре, найдены следующие значения:

$$\alpha_5 = -0,094 \text{ мбэр} \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{имп.}^{-1} \cdot \text{с},$$

$$\alpha_{10} = 0,667 \text{ мбэр} \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{имп.}^{-1} \cdot \text{с}.$$

Принятые величины для чувствительностей $\epsilon_5(E)$ и $\epsilon_{10}(E)$ 1/V - детектора с замедлителями, диаметры которых равны 5 и 10 дюймов, приведены в табл. 2.

На рис. 1 приведены зависимости $h_0(E)$ и

$$q_s(E) = -0,094 \epsilon_5(E) + 0,667 \epsilon_{10}(E). \quad /8/$$

Для детектора с замедлителем диаметром 10 дюймов от градуированного по спектру /22/ Pu-Be - источника определялась дозовая чувствительность:

$$q_{10}(E) = \beta \epsilon_{10}(E). \quad /9/$$

Значение β оказалось равным 0,508 мбэр·час⁻¹·имп.⁻¹·с.

Для 51-го спектра /табл. 1/ вычислялись значения мощности МЭД \dot{H}_s по показаниям детектора в двух замедлителях с диаметрами 5 и 10 дюймов:

$$\dot{H}_s = (-0,094 C_5 + 0,667 C_{10}) \text{ мбэр/час}, \quad /10/$$

Таблица 1

Характеристики спектров нейтронов

№	Источник излучения	E_2 , МэВ*	\bar{E} , МэВ**	N_0/N_V	N_{10}/N_V	N_{10}/N_{10}^*	Q_3/Q_0	Литература
1	Синхроциклотрон для ОИЯИ	630	1,78	0,80	1,83	0,91	4,73	10
2		630	50,50	1,03	0,97	0,50	1,34	11
3		630	69,20	1,02	0,98	0,38	1,42	11
4		630	77,60	1,03	0,96	0,41	1,28	10,11
5		630	65,50	0,99	1,03	0,32	1,92	11
6		630	56,90	1,00	0,99	0,36	1,64	11
7		630	16,10	0,98	1,13	0,65	2,43	11
8		630	16,40	0,99	1,14	0,65	2,43	11
9		630	101,00	1,01	0,93	0,30	1,22	11
10		63	0,389	0,87	1,60	0,99	4,16	11
11		630	85,00	1,03	0,96	0,34	1,32	12
12		630	75,10	0,97	0,90	0,35	1,29	12
13		630	54,60	0,96	0,90	0,45	1,35	12
14		630	64,60	1,00	0,94	0,43	1,33	-
15	Синхрофазотрон ЛВЗ ОИЯИ	250	2,91	1,01	1,12	0,90	2,20	1, 13
16		100	7,23	1,09	0,92	0,92	0,71	13
17		63	1,34	1,09	1,08	0,99	1,62	14
18		250	2,24	1,01	1,21	0,89	2,61	14
19		63	1,15	1,05	1,19	0,97	2,35	14
20		630	9,42	0,88	1,49	0,68	3,91	14
21		2500	7,38	0,95	1,60	0,86	3,90	-
22	Ускорители много- зарядных ионов ДЯР ОИЯИ	25	0,20	0,92	1,66	1,00	4,10	15
23		25	0,93	0,87	1,45	1,00	3,86	15
24		25	0,52	1,03	1,37	1,00	3,04	15
25	Реактор ИБР-30	15	0,093	0,83	1,80	1,00	4,60	16
26		15	1,40	0,93	1,07	1,00	2,38	16
27		15	0,211	0,95	1,46	1,00	3,59	16
28		15	0,852	1,07	1,19	1,00	2,21	16
29		15	0,257	0,96	1,48	1,00	3,62	16
30		15	0,227	0,83	1,58	1,00	4,27	16
31		15	0,363	0,97	1,40	1,00	3,37	16
32		15	0,630	1,10	1,25	1,00	3,61	6,8,17
33		15	0,537	1,09	1,22	1,00	2,28	6,8,17
34		15	0,756	1,11	1,31	1,00	2,52	-
35	Реактор ИБР-2	10	0,453	1,06	1,30	1,00	2,68	18
36	Реакторы	0,63	0,007	0,64	3,37	1,00	6,07	19
37		3,98	0,022	0,69	2,69	1,00	5,70	19
38		2,51	0,062	0,89	2,02	1,00	4,71	19
39		1,58	0,090	0,92	1,81	1,00	4,36	19
40		0,63	0,043	0,83	2,28	1,00	5,12	19
41		1,00	0,052	0,86	2,09	1,00	4,88	19
42		3,98	0,083	0,90	1,84	1,00	4,44	19
43		10	0,221	0,83	2,09	1,00	4,95	19
44		10	0,219	0,98	1,91	1,00	4,32	19
45		1	0,022	0,77	2,42	1,00	5,36	19
46	1	0,020	0,72	2,63	1,00	5,61	19	
47	3,98	0,025	0,67	2,57	1,00	5,68	19	
48	Ускоритель ИВЭЭ	10000	129	1,05	1,03	0,30	1,35	20
49	Ru-Be	16	2,12	1,19	1,05	1,00	1,02	21
50		10,8	3,90	1,17	1,00	1,00	0,77	22
51		I/E - спектр	25	1,16	0,92	1,19	1,00	2,89

* E_2 , МэВ - максимальная энергия спектра;** \bar{E} , МэВ - средняя энергия спектра.

Таблица 2

Функции чувствительности $1/V$ - детектора с замедлителями, диаметры которых равны 5 (ϵ_5) и 10 дюймам (ϵ_{10})

п/п	E, МэВ	ϵ_5	ϵ_{10}	п/п	E, МэВ	ϵ_5	ϵ_{10}
1	1.00E-8	0,050	0,004	25	6.31E-4	0,348	0,050
2	1.58E-8	0,056	0,004	26	1.00E-3	0,360	0,052
3	2.51E-8	0,070	0,008	27	1.58E-3	0,374	0,058
4	3.98E-8	0,080	0,014	28	2.51E-3	0,384	0,062
5	6.31E-8	0,090	0,020	29	3.98E-3	0,392	0,066
6	1.00E-7	0,102	0,024	30	6.31E-3	0,402	0,068
7	1.58E-7	0,124	0,026	31	1.00E-2	0,410	0,070
8	2.51E-7	0,144	0,028	32	1.58E-2	0,424	0,072
9	3.98E-7	0,164	0,030	33	2.51E-2	0,430	0,074
10	6.31E-7	0,182	0,032	34	3.98E-2	0,434	0,078
11	1.00E-6	0,200	0,034	35	6.31E-2	0,460	0,088
12	1.58E-6	0,218	0,036	36	1.00E-1	0,440	0,100
13	2.51E-6	0,228	0,036	37	1.58E-1	0,438	0,118
14	3.98E-6	0,238	0,036	38	2.51E-1	0,436	0,140
15	6.31E-6	0,248	0,036	39	3.98E-1	0,430	0,180
16	1.00E-5	0,254	0,034	40	6.31E-1	0,418	0,220
17	1.58E-5	0,262	0,036	41	1.00E+0	0,382	0,260
18	2.51E-5	0,270	0,038	42	1.58E+0	0,320	0,350
19	3.98E-5	0,282	0,040	43	2.51E+0	0,236	0,340
20	6.31E-5	0,296	0,040	44	3.98E+0	0,150	0,324
21	1.00E-4	0,304	0,042	45	6.31E+0	0,100	0,380
22	1.58E-4	0,314	0,044	46	1.00E+1	0,074	0,226
23	2.51E-4	0,328	0,046	47	1.58E+1	0,048	0,172
24	3.98E-4	0,338	0,048	48	2.51E+1	0,034	0,134

и значения мощности МЭД \dot{N}_{10} по показаниям детектора в замедлителе диаметром 10 дюймов:

$$\dot{N}_{10} = 0,508 C_{10} \text{ мБэр/час.} \quad /11/$$

$V/10/$, $/11/ C_5$ и C_{10} - скорости счета /имп./с/ детектора в замедлителях диаметром 5 и 10 дюймов соответственно.

Методические погрешности в определении мощности МЭД детектором с двумя замедлителями δ_5 и одним замедлителем диаметром 10 дюймов δ_{10} вычислялись по следующим формулам:

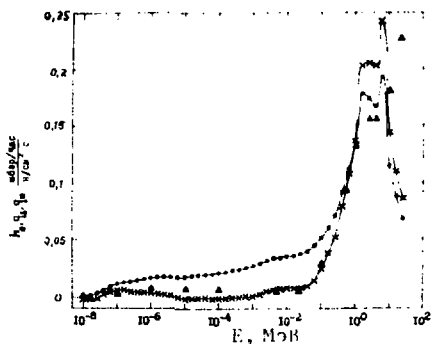


Рис. 1. Зависимость h_0 , q_s и q_{10} от энергии нейтронов E : Δ - h_0 ; \times - q_s ; \bullet - q_{10} .

$$\delta_s = \frac{|\dot{N}_s - \dot{N}_s|}{\dot{N}_s} \times 100\%, \quad /12/$$

$$\delta_{10} = \frac{|\dot{N}_s - \dot{N}_{10}|}{\dot{N}_{10}} \times 100\%. \quad /13/$$

Значения \dot{N}_s/\dot{N}_s и \dot{N}_{10}/\dot{N}_s приведены в табл. 1, а на рис. 2 представлены распределения долей спектров, для которых δ_s и δ_{10} больше заданной погрешности δ .

Как видно из рис. 2 и табл. 1, для подавляющего большинства спектров методическая ошибка определения мощности эквивалентной дозы детектором с двумя замедлителями укладывается в рекомендованную МКРЕ ^{1/3} погрешность - 30% измерения доз на уровне

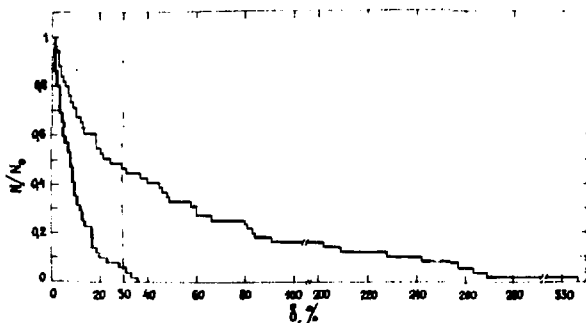


Рис. 2. Доля спектров N от общего числа спектров $N_0 = 51$, для которых методическая погрешность определения МЭД $\delta_s > \delta$ (—) и $\delta_{10} > \delta$ (---).

предельно допустимых, в то время как использование в качестве барметра детектора с одним 10-дюймовым замедлителем, как правило, приводит к существенной переоценке мощности эквивалентной дозы /23/.

При определении мощности МЭД \dot{H} с помощью соотношения /10/ следует иметь в виду, что из-за различия между $q_5(E)$ и $h_0(E)$ в интервале энергий нейтронов от 10^{-8} до 10^{-3} МэВ погрешность определения \dot{H} может превышать 30% для тепловых и медленных нейтронов. Приближенным критерием применимости /10/ для определения \dot{H} с точностью не хуже 30% может служить неравенство

$$\frac{C_5}{C_{10}} \leq 6. \quad /14/$$

Выполнение неравенства /14/ для непрерывного спектра с большой вероятностью гарантирует определение эквивалентной дозы нейтронов с помощью равенства /10/ с методической погрешностью $\leq 30\%$.

Авторы благодарят М.М.Комочкова за полезные обсуждения работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nachtigall D., Rohloff R. Nucl. Instr. Meth., 1967, 50, p.137.
2. Patterson H.W., Thomas R.H. Accelerator Health Physics. Academic Press, New York, 1973.
3. Алейников В.Е., Архипов В.А., Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-4480, Дубна, 1969.
4. Алейников В.Е. и др. В сб.: Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes, vol. 11, p. 363. IAEA, Vienna, 1973.
5. ICRU Report 20, Radiation Protection, Instrumentation and its Application. International Commission on Radiation Units and Measurement, Washington, D.C., 1971.
См. также: Радиационная безопасность. Величины, единицы, методы и приборы. Доклады 19 и 20 МКРЕ /пер. с англ. под ред. И.Б.Кеирим-Маркуса/. Атомиздат, М., 1974.
6. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-12122, Дубна, 1979.
7. Архипов В.А. и др. ОИЯИ, 16-11817, Дубна, 1978.
8. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-80-448, Дубна, 1980.
9. Нормы радиационной безопасности /НРБ-76/. Атомиздат, М., 1978.
10. Алейников В.Е., Гердт В.П., Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-8176, Дубна, 1974.
11. Алейников В.Е. ОИЯИ, 16-11883, Дубна, 1978.
12. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Д9-80-637, Дубна, 1980.
13. Алейников В.Е., Гердт В.П., Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-6791, Дубна, 1972.

14. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, 16-8583, Дубна, 1975.
15. Комендантова Г.А. и др. ОИЯИ, 16-12858, Дубна, 1979.
16. Архипов В.А. и др. ОИЯИ, 16-11817, Дубна, 1978.
17. Бамблевский В.П., Гречко В.В. ОИЯИ, Б2-16-12123, Дубна, 1979.
18. Архипов В.А. и др. ОИЯИ, P13-12466, Дубна, 1979.
19. Sanna R.S. et al. EML-376, New York, 1980.
20. Белогорлов Е.А., Луканин В.С. В кн.: Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1975, т. 2, с. 236.
21. Csikai J., Dezso Z. Annals of Nuclear Energy, 1976, vol.3, p. 527.
22. Kluge H., Welse K., Zill H.W. In: Neutron monitoring for Radiation Protection Purposes. IAEA, Vienna, 1973, vol.1, p. 16.
23. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, P16-80-601, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 сентября 1981 года.