

81-393



Объединенный
институт
ядерных
исследований
Дубна

4598 / 2-81

7/9-81

P16-81-393

+

В.Е.Алейников, В.А.Архипов, Л.Г.Бескровная,
М.М.Комочков, Ю.В.Мокров

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДЕТЕКТОРОВ
ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ С ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ

Направлено в ПТЭ

1981

1. ВВЕДЕНИЕ

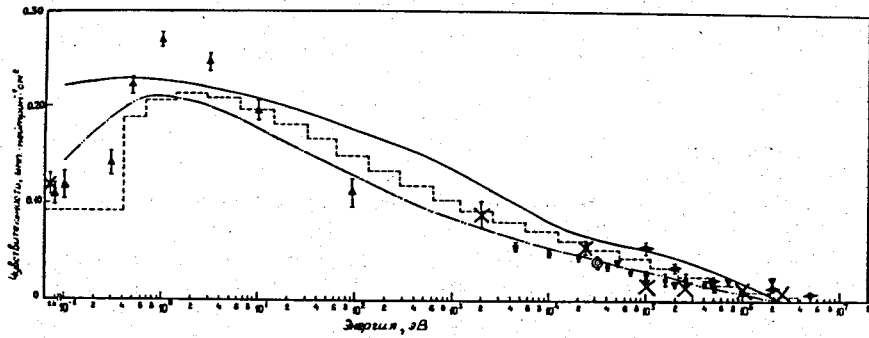
В спектрометрии нейтронов с целью получения дозиметрических характеристик поля излучения широко используются детекторы тепловых нейтронов с замедлителями. Достоверность получаемых с их помощью результатов во многом определяется используемыми данными о зависимостях чувствительности таких детекторов $\epsilon(E)$ от энергии нейтронов. Задача определения и уточнения $\epsilon(E)$ является актуальной и в последние годы ей уделяется большое внимание.

В настоящей работе приводятся результаты измерения $\epsilon(E)$ для некоторых детекторов тепловых нейтронов с замедлителями, полученные в ОИЯИ, которые сравниваются с экспериментальными и расчетными данными других авторов.

2. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДЕТЕКТОРА $\text{LiI}(\text{Eu})$ В ШАРОВЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЯХ

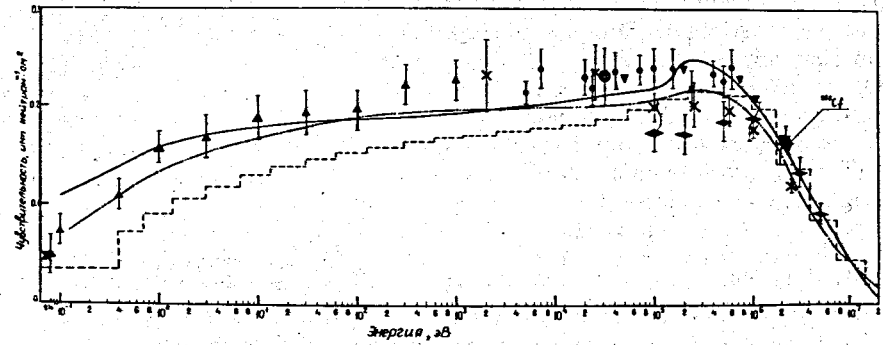
Значения $\epsilon(E)$ были определены экспериментально в работе^{1/} в 1968 г. на пучке импульсного реактора^{2/}. Вследствие некоторых расхождений результатов работы^{1/} и расчетных данных других авторов по виду $\epsilon(E)$ в 1979 г. на пучке ИБР-30^{3/} методом спектрометрирования нейтронов по времени пролета были экспериментально определены в диапазоне энергий от долей до сотен эВ относительные значения $\epsilon(E)$ для детектора LiI высотой 4 мм и диаметром 5 мм в полиэтиленовом шаре диаметром 7,6 см. Измерения проводились на расстоянии 240 м от источника нейтронов при средней мощности реактора 22 кВт. С детектора импульсы поступали на анализатор АИ-4096, временная шкала которого калибровалась по положению известных резонансов поглощения Ag , In , Mn , Co . Значения $\epsilon(E)$ определялись относительно чувствительности для 80 эВ и нормировались при этой энергии по данным работы^{1/}. Полученные результаты сравнивались с экспериментальными данными работ^{4-8/} для диапазона энергий от 2 кэВ до 19 МэВ и с расчетными данными работ^{9-12/}. Эти результаты представлены на рис. 1-4.

Так как результаты работ^{1,4-12/} получены для разных условий /разные размеры кристалла, упаковки и т.д./ или для разных детекторов /ТЛД, борные счетчики и т.п./, то особую важность приобретает нормировка представленных результатов. Известно, например, из работ^{9,12,13/}, что отмеченные различия не искажают



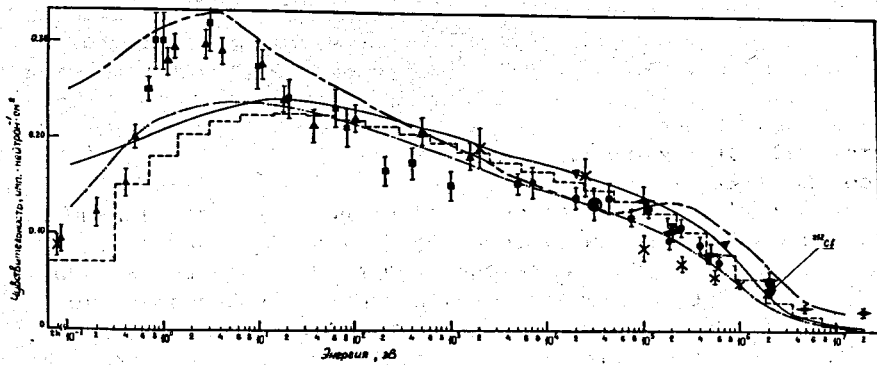
- ▲ ОИЯИ, Дубна, 1969¹¹¹
- ◆ SESR, Cadarache, 1971¹²¹
- * PTB, Braunschweig, 1979¹³¹
- ⊕ LLL, California, 1976¹⁴¹
- ⊙ ОИЯИ, Дубна, 1979¹⁵¹
- HASL, New York, 1973¹⁷¹
- MKRE, Report 28, 1978¹⁹¹
- BARC, Bombay, 1980¹⁶¹
- ▼ Hatwell, S.T. Boot, personal comm., 1978¹⁸¹

Рис.1. Зависимость чувствительности LiJ(Eu) в шаре диаметром 5,1 см от энергии нейтронов.



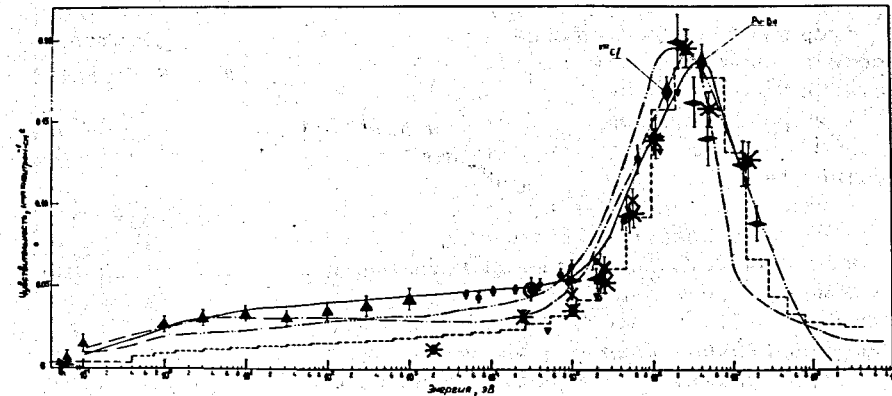
- ▲ ОИЯИ, Дубна, 1969¹¹¹
- ◆ SESR, Cadarache, 1971¹²¹
- * PTB, Braunschweig, 1979¹³¹
- ⊕ LLL, California, 1976¹⁴¹
- ⊙ ОИЯИ, Дубна, 1979¹⁵¹
- HASL, New York, 1973¹⁷¹
- MKRE, Report 28, 1978¹⁹¹
- BARC, Bombay, 1980¹⁶¹
- ▼ Hatwell, S.T. Boot, personal comm., 1978¹⁸¹

Рис.3. Зависимость чувствительности LiJ(Eu) в шаре диаметром 12,7 см от энергии нейтронов.



- ▲ ОИЯИ, Дубна, 1969¹¹¹
- ◆ SESR, Cadarache, 1971¹²¹
- * PTB, Braunschweig, 1979¹³¹
- ⊕ LLL, California, 1976¹⁴¹
- ⊙ ОИЯИ, Дубна, 1979¹⁵¹
- ⊙ ОИЯИ, Дубна, 1979
- HASL, New York, 1973¹⁷¹
- MKRE, Report 28, 1978¹⁹¹
- BARC, Bombay, 1980¹⁶¹
- ▼ Hatwell, S.T. Boot, personal comm., 1978¹⁸¹
- Институт Баруха, Москва, 1973¹⁸¹

Рис.2. Зависимость чувствительности LiJ(Eu) в шаре диаметром 7,6 см от энергии нейтронов.



- ▲ ОИЯИ, Дубна, 1969, Li:J¹¹¹
- ◆ SESR, Cadarache, 1971¹²¹
- * PTB, Braunschweig, 1979 (Li:J)¹³¹
- ⊕ LLL, California, 1976 (Li:J)¹⁴¹
- ⊙ ОИЯИ, Дубна, 1979, 3'-5 (Li:J)¹⁵¹
- ⊙ ОИЯИ, Дубна, 1979, Li:J¹⁵¹
- HASL, New York, 1973 (Li:J)¹⁷¹
- MKRE, Report 28, 1978 (Li:J)¹⁹¹
- BARC, Bombay, 1980 (Li:J)¹⁶¹
- ▼ Hatwell, S.T. Boot, personal comm., 1978¹⁸¹

Рис.4. Зависимость чувствительности LiJ(Eu) в шаре диаметром 25,4 см от энергии нейтронов.

формы $\epsilon(E)$, влияя, как правило, лишь на абсолютное значение чувствительности. Нормировка состояла в нахождении коэффициентов для каждой из работ ^{1,4-12/}, на которые умножались приведенные в них значения $\epsilon(E)$ для представления и сравнения их в абсолютных единицах. При наличии данных о чувствительностях детекторов в замедлителях к нейтронам изотопных источников/калифорния-252 или плутоний-бериллия/ нормировочный коэффициент определялся как отношение этих величин к чувствительности детектора, используемого в настоящей работе /в некоторых случаях он брался как среднее значение отношений по замедлителям различных размеров/. Так нормировались, например, результаты, приведенные в работе ^{5/} для замедлителей диаметром 5,1; 7,6; 12,7 и 30,5 см /по чувствительности к нейтронам ²⁵²Cf/и в работе ^{10/} для замедлителя диаметром 25,4 см с борным счетчиком /по чувствительности к нейтронам Pu-Be источника/. При отсутствии данных о чувствительности по отношению к нейтронам источников ²⁵²Cf или Pu-Be вместо них при определении нормировочных коэффициентов использовались:

- чувствительность к нейтронам Am-Be источника /для сравнения с чувствительностью к Pu-Be по замедлителям диаметром 20,3 и 25,4 см с LiI в работе ^{4/};

- средние арифметические значения величин чувствительности при энергиях 1 и 2,5 МэВ /для замедлителя диаметром 25,4 см с ТЛД и ³He-счетчиком в работе ^{5/} / или 1 и 2,0 МэВ /для замедлителя диаметром 25,4 см с LiI в работе ^{6/} / для сравнения с чувствительностью к нейтронам ²⁵²Cf;

- среднее арифметическое значение величин чувствительности в диапазоне энергий /0,9-3,7/ МэВ в работе ^{9/} для сравнения с чувствительностью к нейтронам Pu-Be;

- значение чувствительности при энергии 1,6 МэВ и 4 МэВ в работе ^{11/} для сравнения с чувствительностью к ²⁵²Cf и Pu-Be соответственно;

- различные значения чувствительности, приведенные в работе ^{12/} и усредненные по спектру ²⁵²Cf, показанному в работе ^{14/}.

Правомерность предложенной нормировки обоснована тем, что средние значения величин чувствительности для замедлителя диаметром 25,4 см при энергиях 1 и 2 МэВ или 1 и 2,5 МэВ приблизительно равны среднему значению чувствительности из работы ^{12/} для спектра ²⁵²Cf /различия не превышают нескольких процентов/, которое соответствует чувствительности при энергии 1,4 МэВ /для Pu-Be источника среднее значение $\epsilon(E)$ соответствует чувствительности при энергии около 1,7 МэВ/.

В табл. приведены значения чувствительности детекторов к нейтронам изотопных источников, полученные в результате градуировки с использованием экранирующего конуса.

Таблица

Значения чувствительности детекторов к нейтронам изотопных источников

Детектор	Диаметр замедлителя, см	Чувствительность, имп.нейтрон ⁻¹ см ²	
		Pu-Be	²⁵² Cf
	7,6	-	0,046 _{±0,003}
	12,7	-	0,162 _{±0,010}
	20,3	0,197 _{±0,014}	0,210 _{±0,013}
	25,4	0,190 _{±0,010}	0,169 _{±0,010}
	30,5	0,149 _{±0,090}	0,119 _{±0,007}
ДН-А-1	-	/2,3 _{±0,1} / $\frac{\text{ИМП.Ч}}{\text{С. мБЭР}}$	

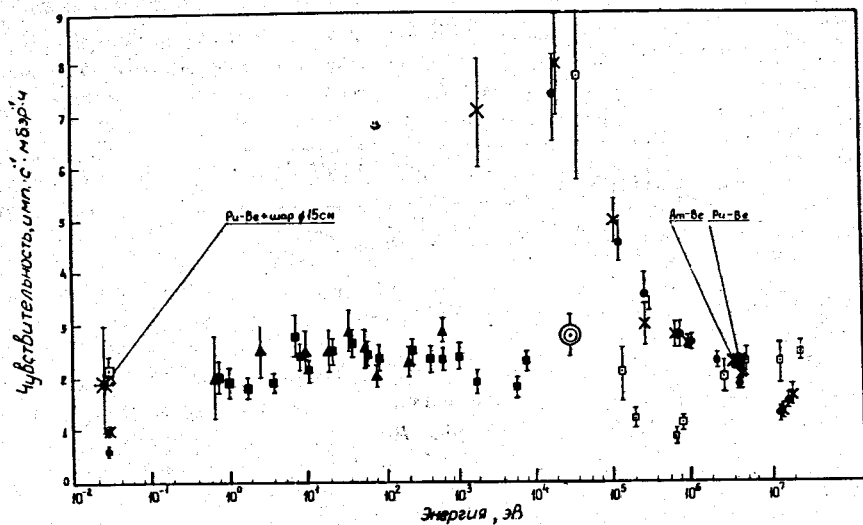
Результаты работы ^{1/}, нормированные к ним относительные значения $\epsilon(E)$, полученные в 1979 г. на пучке ИБР-30, и результаты работы ^{8/} нормировались к средним значениям разных величин чувствительности по работам ^{9,11,13/} при энергиях 0,1, 0,5 и 1,5 кэВ.

При сравнении использовались следующие нормировочные коэффициенты: 1,5^{1/}; 0,9^{4/}; 1,0^{5/}; 0,1^{6/}; 1,1^{8/}; 0,7^{9/}; 1,7^{10/}; 0,08^{11/}; 1,0^{12/}. Полученное значение нормировочного коэффициента для работы ^{1/} совпадает с коэффициентом в работе ^{15/}, на который умножены данные работы ^{1/} для наилучшего согласия с представленными в ^{15/} расчетными результатами.

В работе ^{16/} представлены измеренные значения $\epsilon(E)$ для диапазона энергий 100 кэВ - 4 МэВ, /не приведенные на рисунках/, которые отличаются от рекомендаций ^{11/} не более чем на 15%. Рекомендации ^{11/} и данные работы ^{8/} для замедлителя диаметром 7,6 см представлены в виде кривых, построенных по значениям $\epsilon(E)$ из матриц различных значений чувствительности, приведенных в этих работах.

3. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРИБОРА ДН-А-1

Прибор ДН-А-1 предназначен для измерения мощности эквивалентной дозы нейтронов в диапазоне энергий 0,025 эВ - 20 МэВ. В диапазоне энергий 0,1 эВ - 10 кэВ его чувствительность экспериментально не определена, а приведенные в работе ^{17/} значения чувствительности при энергии выше 10 кэВ существенно отличаются от характеристик "идеального" дозиметра.



* - ДН-А-1, ОИЯИ, Дубна, 1976, абсолют. единицы
 ▲ - ДН-А-1, ОИЯИ, Дубна, 1979, отно. единицы
 ⊙ - ДН-А-1, ОИЯИ, Дубна, 1979, абсолют. единицы^[5]
 □ - ДН-А-1^[15]
 × - Leake counter, PTB, Braunschweig, 1979^[13]
 ⊕ - Leake counter, PTB, Braunschweig, 1979^[13]

Рис. 5. Зависимость чувствительности бэрметров от энергии нейтронов

В 1976 г. в ОИЯИ на пучке ИБР-30 экспериментально определены в абсолютных единицах значения чувствительности прибора ДН-А-1 в диапазоне энергий 1 эВ - 10 кэВ. Энергия нейтронов определялась по времени пролета, а абсолютная чувствительность - путем сравнения показаний ДН-А-1 при работе с пересчетным прибором с показаниями $1/\nu$ -детектора /борного счетчика СНМ-14/, проградуированного в пучке ИБР-30 по золотым фольгам. Полученные результаты представлены в таблице и на рис. 5 в единицах $\text{имп.с}^{-1} \cdot \text{мбэр}^{-1} \cdot \text{ч}$. Переход осуществлялся с использованием коэффициентов, рекомендованных МКРЕ^[18] и аппроксимационной формулы работы^[19].

В 1979 г. для воспроизведения и уточнения этих результатов в пучке ИБР-30 определены относительные значения чувствительности в том же диапазоне энергий. Эти результаты представлены на рис. 5 относительно чувствительности при энергии 20 эВ, при которой они приравнялись к среднему арифметическому значению величин чувствительности для энергии 30 кэВ^[7] и для

Pu-Be источника. Здесь же представлено значение чувствительности прибора к тепловым нейтронам источника, состоящего из парафинового шара диаметром 15 см с Pu-Be источником в центре.

Для сравнения на рис. 5 представлены значения чувствительности ДН-А-1 по данным работы^[17], которые нормировались по чувствительности к нейтронам Pu-Be источника /средняя энергия 4,5 МэВ/. Наиболее существенные расхождения их с данными работы^[7] заметны в области 20-40 кэВ.

На рис. 5 по данным работы^[5] представлены для сравнения чувствительности распространенных за рубежом коммерческих дозиметров нейтронов: счетчика Андерсена-Брауна /AB-counter / и счетчика /Leake counter/. Нормировка проводилась по градуировочному коэффициенту из работы^[5] для Am-Be источника /со средней энергией 3,9 МэВ/, который приравнялся градуировочному коэффициенту ДН-А-1 по Pu-Be источнику для настоящей работы. Видно, что дозиметрические характеристики этих дозиметров не лучше, чем у прибора ДН-А-1.

4. ВЫВОДЫ

Представленные на рис. 1-4 результаты позволяют выделить ту область значений $\epsilon(E)$ для детекторов тепловых нейтронов в замедлителях, в которой могут находиться наиболее достоверные значения чувствительности. Для выбора на основе представленных данных матрицы функций чувствительности необходимо оценить различия в спектрах и дозах, возникающие из-за неопределенности используемых функций чувствительности, в частности, в области энергий ниже 20 эВ.

Результаты определения чувствительности прибора ДН-А-1 показывают, что в широком диапазоне энергий, от долей эВ до десятков кэВ, этот прибор, градуируемый по Pu-Be источнику нейтронов, с удовлетворительной погрешностью /около 25%/ близок к "идеальному" дозиметру. Дальнейший интерес представляет корректное определение чувствительности прибора в диапазоне энергий от 0,1 до нескольких МэВ, в котором ожидается наибольшее отклонение $\epsilon(E)$ от чувствительности "идеального" дозиметра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ветцель Л. и др. В кн.: Дозиметрия излучений и физика защиты ускорителей заряженных частиц. ОИЯИ, 16-4888, Дубна, 1970, с. 201.
2. Блохин Г.Е. и др. Атомная энергия, 1961, 10, 5, с. 437.
3. Шабалин Е.П. Импульсные реакторы на быстрых нейтронах. Атомиздат, М., 1976.

4. Benezech G., Bricka M., Dolias M. Neutron Dosimetry and Spectrometry by Multisphere Techniques. In: Proc. of the International Summer School of Radiation Protection. Belgrad, 1971, p. 269.
5. Alberts W.G. et al. PTB-ND-17, September, 1979.
6. Griffith R.V., Fisher T.C. Report UCRL-50007-75-2, 1976, p. 29.
7. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-12819, Дубна, 1979.
8. Андреева Л.С. и др. Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes. Proc. of a Symposium, Vienna, 11-15 December, 1972. IAEA, 1973, p. 97.
9. Sanna R. HASL-267, New York, March, 1973.
10. Байшев И.С. и др. Препринт ИФВЭ, ЛПИ 76-134, 1976.
11. ICRU, Report 28, December, 1978.
12. Dhairyawan M.P. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1980, 169, p. 115.
13. Rohloff F., Heinzelmann M. Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes. Proc. of a Symposium, Vienna, 11-15 December, 1972, IAEA, 1973, p. 269.
14. Knitter H.H. et al. Atomkernenergie, 1973, 22, 2, p. 84-86.
15. Zaborovski H.L. Project $^{252}\text{Cf}-\text{D}_2\text{O}$ le systeme multisphere de dosimetrie et spectrometrie neutron (S.M.-D.S.N.). Centre d'etudes Nucleaires de Cadarache, 1976.
16. Jacobs G., Bosch R. Nucl. Instr. and Meth., 1980, 175, p. 483.
17. Голованов М.А. и др. В кн.: Труды СНИИП, 1964, вып. 1, с. 36-43.
18. Радиационная безопасность. Величины, единицы, методы и приборы. Под ред. И.Б. Кеирим-Маркуса. Атомиздат, М., 1974.
19. Rindi A. Health Phys., 1974, v. 27, No. 3, p. 322.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 июня 1981 года.