

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

16-84-804

Г.Я.Касканов, М.М.Комочков, М.И.Салацкая,
Д.А.Соловкин

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АЛЬБЕДО-ДОЗИМЕТРОВ
С ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ
К НЕЙТРОНАМ
РАЗЛИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ

1984

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы большое внимание уделяется исследованию различных модификаций альбедных дозиметров, регистрирующих замедлившиеся в теле человека и выходящие обратно нейтроны. Принцип работы такого дозиметра описан в^{/1/}. В качестве детекторов в таких дозиметрах часто применяются термолюминесцентные детекторы /ТЛД/, регистрирующие тепловые и промежуточные нейтроны.

Для использования в индивидуальной дозиметрии нейтронов в полях излучений ядерно-физических установок ОИЯИ была выбрана конструкция альbedo-дозиметра, аналогичная описанной в^{/2/}. Согласно приведенным в^{/2/} данным такой дозиметр позволяет повысить точность определения индивидуальных доз облучения путем введения корректирующих коэффициентов. На рис.1 представлена схема альbedo-дозиметра. В качестве детекторов используются TLD-600 и TLD-700 фирмы Harshaw. Две пары детекторов /m и i / помещены внутри экрана из карбида бора с наполнителем /бакелит + пресс-порошок K-18^{/3/}/. Отношение B₄C к наполнителю 1:1, экран уменьшает поток тепловых нейтронов примерно в 10⁴ раз. Одна пара детекторов (a) расположена на поверхности дозиметра. В табл.1 указано, какие нейтроны регистрируются каждой парой детекторов^{/2/}.

Чувствительность альbedo-дозиметров зависит от энергии падающих нейтронов^{/1,2,4,5/}, изменяясь, к примеру, более чем на два порядка при изменении энергии нейтронов от тепловых до быстрых. Однако при измерении индивидуальных доз облучения в полях нейтронов за защитой ядерно-физических установок чувствительность дозиметров изменяется в значительно меньших пределах от спектра к спектру^{/1,6/}. На рис.2 представлена заимствованная из^{/6/} зависимость чувствительности альbedo-дозиметров (R) от отношения показаний детекторов i/a для различных величин эффективной энергии падающих нейтронов E_{эфф} и вклада в полную эквивалентную дозу (H) тепловых нейтронов (H_{тепл}). Однако необходимую для практического использования зависимость R = f(i/a) может дать только

- — TLD-600
- — TLD-700
- — ПОЛИЭТИЛЕН
- — B₄C + БАКЕЛИТ
- — ПОЛИМЕРТАН

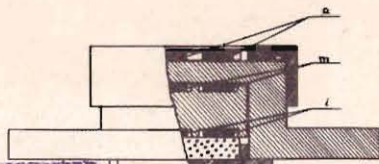


Рис.1. Схема альbedo-дозиметра нейтронов. a, m, i — 3 пары термолюминесцентных детекторов TLD-600 и TLD-700.

05
НАСНИИ ИССЛЕДОВАНИИ
ФИЗ. УСТАНОВКИ

градуировка альbedo-дозиметров в реальных полях излучений. Такой метод по данным работы ^{16/} дает возможность измерять обусловленную нейтронами индивидуальную дозу с точностью $\pm 30\%$.

Таблица 1

Нейтроны, регистрируемые детекторами пары а, м и i

Показание дозиметра /рис. 1/	Регистрируемые нейтроны	
	падающие	обратно рассеянные
а	тепловые + промежуточные	промежуточные
м	промежуточные	промежуточные
i	промежуточные	тепловые + промежуточные
а - i	тепловые	
i - 1,4м		тепловые

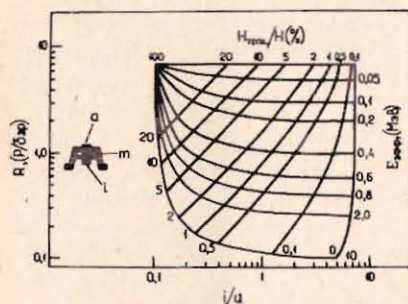


Рис. 2. Зависимость чувствительности альbedo-дозиметра $R/P/бэр/$ от отношения показаний детекторов i/a для различных $H_{тепл.}/H$ и $E_{эфф}$ спектров нейтронов

1. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Изготовленные в ОИЯИ альbedo-дозиметры при облучении нейтронами различных энергетических спектров располагались на 4 сторонах тканезквивалентного фантома размером $34 \times 17 \times 34$ см. Облучение дозиметров нейтронами источников $^{239}Pu + Be$ и ^{252}Cf производили в градуировочной комнате размерами $10 \times 5 \times 3,5$ м. Вклад рассеянного излучения определяли при облучении дозиметров с расположенным между источником и фантомом конусом из парафина с бором. Он оказался в пределах 8%. Альbedo-дозиметры были

облучены промежуточными нейтронами со средней энергией ~ 30 кэВ, получаемыми при бомбардировке протонами литиевой мишени на электростатическом генераторе ЭГ-5. Вклад рассеянного излучения при этом составлял по оценкам несколько процентов. При выборе мест для облучения дозиметров в полях рассеянных нейтронов вблизи ядерно-физических установок ОИЯИ руководствовались сообщениями проведения градуировки дозиметров в наиболее характерных, но в то же время различных по спектру полях нейтронов, там, где ранее уже проводились облучения индивидуальных фотоэмульсионных дозиметров нейтронов /ИФКН/ с целью определения адекватности их показаний наиболее достоверному значению эквивалентной дозы. Так, в полях излучений на реакторе ИБР-30 альbedo-дозиметры облучались как на пучках нейтронов, так и в полях рассеянных нейтронов в экспериментальных залах ИБР-30 и его рабочих помещениях /например, в точках 1,3,5 из ^{7/}/. На синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий альbedo-дозиметры облучали за бетонной защитой толщиной 1,5 и высотой 2 м, поставленной на расстоянии ~ 9 м от оси пучка выведенных из камеры ускорителя протонов с энергией 3,65 ГэВ, падающих в районе бетонной защиты на толстую медную мишень, и внутри домика экспериментаторов, расположенного также вблизи мишени и окруженного бетонной защитой. В режиме выведенного пучка ядер ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ на нуклон альbedo-дозиметры с фантомом при облучении располагали в прямой видимости медной мишени, на которую падал пучок, на расстоянии ~ 2 м от нее. На ускорителях многозарядных ионов альbedo-дозиметры облучали в 3 точках: "жестким" спектром нейтронов на циклотроне У-400 в направлении выведенного пучка на расстоянии ~ 1 м от углеродной мишени, на которую падает пучок ядер Ti с энергией ~ 200 МэВ, и в 2 точках за защитой на циклотроне У-300 /одна - точка 3 из ^{8/}, другая расположена в 2 м от нее на выходе из лабиринта/ в режиме, когда пучок ускоренных ионов азота падал на мишень из тяжелых элементов (W, Tb).

Для снятия показаний с детекторов использовали прибор 2000 (A+B) фирмы Harshaw. Реакцию детекторов на нейтроны определяли как разность показаний TLD-600 и TLD-700, выраженную в Р. Градуировку ТЛД по гамма-излучению производили на поверочной установке типа УПГД ^{9/} с использованием образцового источника ^{60}Co 2-го разряда. Полученные с расположенных на наиболее облучаемой стороне фантома альbedo-дозиметров показания i -детектора сопоставляли с наиболее достоверными значениями эквивалентных доз облучения $H(R = i/H)$. Значения H вычисляли на основании знания спектров нейтронов в исследуемых полях и коэффициентов перехода от флюенса нейтронов к эквивалентной дозе ^{10,11/}. Спектры нейтронов $^{239}Pu + Be$ и ^{252}Cf были заимствованы из ^{12,13/} соответственно. Спектры нейтронов в местах облучения альbedo-дозиметров на ядерно-физических установках ОИЯИ восстанавливали методом статистической регуляризации ^{14,15/} по показаниям активацион-

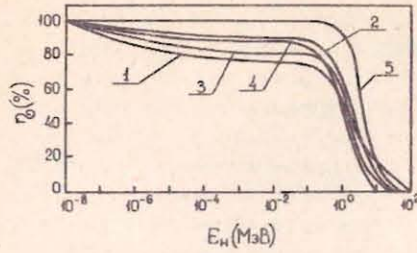


Рис.3. Относительный вклад (η) нейтронов с энергией выше заданной в эквивалентную дозу в различных точках облучения вблизи ядерно-физических установок ОИЯИ. 1 - в точке 1^{7/7} на ИБР-30, 2 - в точке 5^{7/7} на ИБР-30, 3 - внутри домика экспериментаторов на синхрофазотроне, 4 - на У-300 в точке 3^{8/8}; 5 - на У-400 "жесткий" спектр нейтронов /в направлении пучка/.

ных детекторов и спектрометра Боннера. На рис.3 представлен относительный вклад нейтронов с энергией выше заданной в величину эквивалентной дозы в некоторых точках, где облучались дозиметры.

Показания дозиметров, расположенных на противоположных сторонах фантома, использовались для учета степени "изотропности" облучения при подсчете величины N .

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В табл.2 представлены полученные в описанных выше экспериментах результаты по определению чувствительности альbedo-дозиметров (R) к нейтронам различных энергетических спектров. В качестве характеристик таких спектров по аналогии с ¹⁰ приведены две величины: $N_{\text{тепл}}/N$ - вклад тепловых нейтронов в эквивалентную дозу; $E_{\text{эфф}}$ - эффективная /по дозе/ энергия нейтронов рассматриваемого спектра. Этой энергии $E_{\text{эфф}}$ в табл.2/ соответствует удельная эквивалентная доза h ^{10,11} $E_{\text{эфф}}$, взвешенная по спектру нейтронов $\phi(E)$ для нейтронов с энергией более 0,4 эВ:

$$h = \frac{\int_{0,4 \text{ эВ}}^{E_{\text{макс}}} h(E) \phi(E) dE}{\int_{0,4 \text{ эВ}}^{E_{\text{макс}}} \phi(E) dE}$$

На практике $E_{\text{эфф}}/E_{2 \text{эфф}}$ в табл.2/ можно оценить по отношению показаний детекторов в шарах Боннера диаметром 7,6 см (N_3) и 30,4 см (N_{12}) пользуясь аппроксимационной формулой:

$$E_{2 \text{эфф}} = 1,7[1 - \exp(-N_{12}/1,7N_3)] \text{ МэВ.}$$

В табл.2 приведены для сравнения с экспериментальными значениями R величины чувствительностей R_0 , определенные по приведенной на рис.2 номограмме для указанных в таблице $N_{\text{тепл}}/N$, $E_{1 \text{эфф}}$

Таблица 2
Чувствительность R альbedo-дозиметров к нейтронам различных энергетических спектров

№ пп	Условия облучения	Источник: место облучения, режим	Характеристика спектра нейтронов		i/a	$R = \frac{1}{N} \cdot \rho / \text{бэр}$	
			$N_{\text{тепл}}/N$	$E_{\text{эфф}}$ МэВ		R	R_0
1.	²³⁹ Pu+Be в градуировочной комнате		0,06*	~2,6	4,9±0,5	0,23±0,04	0,23
2.	²⁵² Cf в градуировочной комнате		0,07*	~1,0	5,4±0,5	0,28±0,04	0,37
3.	У-400 в направлении пучка ускоренных ионов		0,15	1,2	1,9±0,8	0,33±0,13	0,37
4.	У-300 точка 3 ^{8/8} за защитой		5,5	0,23	0,26±0,10	1,3±0,4	1,8
5.	У-300 точка в лабиринте		7,5	0,20	0,29±0,12	1,7±0,5	2,4
6.	ИБР-30 пучок № 6		0,7	0,37	1,27±0,15	1,29±0,14	1,2
7.	"-" пучок № 1		0,3-0,9	0,37	1,57±0,50	1,7±0,7	1,2
8.	"-" точка 1 ^{7/7}		9	0,12	0,42±0,16	3,05±0,54	3,2
9.	"-" точка 3 ^{7/7}		7	0,12	0,39±0,15	2,16±0,83	3,2
10.	"-" точка 5 ^{7/7}		4	0,22	0,57±0,18	1,59±0,51	2,0
11.	синхрофазотрон перед защитой, ускорители ионы ⁴ С		0,5	0,25	1,6±1,2	0,82±0,26	1,5
12.	"-" точка за локальной защитой, ускорители протоны		5	0,07	0,47±0,15	2,0±0,8	3,2
13.	"-" " "		3	0,15	0,54±0,26	2,1±1,2	2,5
14.	"-" точка за локальной защитой, ускорители ⁴ С-частицы		3		0,48±0,14	2,7±0,5	
15.	"-" точка в экспериментальном домике, ускорители протоны		5,5	0,13	0,36±0,04	2,3±0,5	2,7
16.	ЭГ-5 пучок нейтронов $E_n \sim 30 \text{ кеВ}$		0,15	0,03	7,6±2,6	10,4	>7

* - зависит от помещения, в котором облучаются дозиметры.

Таблица 3
Значения чувствительностей (R) альbedo-дозиметров, рекомендуемые для использования в различных полях нейтронов

№ пп:	Характеристика поля		диапазон	R, Р/бэр
	источник излучения	нейтронов		
		$H_{тепл}/H; E_{эфф}, \text{МэВ}$	i/a	
		%		
1.	$^{239}\text{Pu} + \text{Be}, ^{252}\text{Cf}$ без защиты		4,5 + 6,0	$0,23 \pm 0,04$ $0,28 \pm 0,04$
2.	ИБР-30, пучки нейтронов	$\leq I$	$\rightarrow 0,4$ I, I + 2, I	$1,3 \pm 0,3$
3.	ИБР-30, за защитой	< 10	0, I + 0,3 0,24 + 0,75	$2,3 \pm 0,7$
4.	синхрофазотрон, за защитой	< 10	0,07 + 0,20 0,20 + 0,80	$2,3 \pm 0,7$
5.	У-300, за защитой	< 8	$\rightarrow 0,25$ 0,16 + 0,4I	$1,5 \pm 0,5$
6.	У-400, до защиты	$< 0,2$	I, 2 I, I + 2,7	$0,33 \pm 0,13$

$E_{2 \text{ эфф}}$. Представленные в таблице погрешности в определении R и i/a /при доверительной вероятности 0,95/ являются случайными и не учитывают точности определения активности образцового источника /он всегда был один и тот же/ и точности определения наиболее вероятного значения дозы облучения H.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. ВЫВОДЫ

Из рассмотрения приведенных в табл.2 данных следует, что полученная в экспериментах чувствительность альbedo-дозиметров изменяется примерно в 50 раз от 0,23 Р/бэр - для нейтронов $^{239}\text{Pu} + \text{Be}$ до 10,4 Р/бэр - для промежуточных нейтронов с энергией ~ 30 кэВ.

Однако в спектрах нейтронов за защитой ядерно-физических установок ОИЯИ, в местах, где могут находиться работающие на этих установках сотрудники / п. 4,5,8 ÷ 10, 12 ÷ 15 табл. 2/, чувствительность альbedo-дозиметров изменяется в гораздо меньших пределах. Следует отметить также, что полученные в экспериментах величины R и значения R_0 , найденные с использованием номограммы рис.2, в большинстве случаев совпадают в пределах ошибок эксперимента, и значения R_0 мало зависят от способа определения $E_{эфф}$.

В табл. 3 приведены рекомендуемые для использования значения чувствительностей альbedo-дозиметров.

В заключение можно сделать некоторые практические выводы относительно использования альbedo-дозиметров:

1. Дозу облучения сотрудников, работающих в контролируемых зонах за защитой ядерно-физических установок ОИЯИ, можно определять по показаниям носимых ими альbedo-дозиметров, используя при этом значение чувствительности $R = 2,3 \pm 0,7$ Р/бэр.

2. Полученное в работе соответствие значений R значениям чувствительностей R_0 /рис.2/ дает право использовать номограмму для определения дозы нейтронов в случаях, когда i/a заметно отличается от приведенных в табл.3. При этом для большей достоверности определения дозы облучения необходимо оценить $H_{тепл}/H$ и $E_{эфф}$ в полях излучения, где работал сотрудник.

3. Анализ экспериментальных данных указал на отсутствие необходимости использования 3-й пары /ш/ детекторов для целей индивидуальной дозиметрии в ОИЯИ.

4. В случае получения сотрудником в течение квартала дозы $\geq 0,5$ бэр специалист должен уточнить значение полученной дозы на основании данных табл.2.

Необходимо дальнейшие исследования по определению чувствительности альbedo-дозиметров в других спектрах нейтронов, с тем чтобы для каждой ядерно-физической установки получить свою зависимость $R = f(i/a)$, как это сделано в ^{6/}. При оценке результатов проделанной работы следует иметь в виду, что использование ТЛД в индивидуальной дозиметрии значительно улучшит оперативность выдачи данных индивидуального дозиметрического контроля и исключит присущие ИФКн большие субъективные ошибки, связанные со счетом треков в эмульсии.

Авторы выражают глубокую благодарность В.Науменко за подготовку ТЛД и снятие показаний с них, В.Е.Алейникову, В.А.Архипову, В.П.Бамблевскому, С.В.Куликову, Ю.В.Мокрову, В.И.Салацкому, А.В.Солодилову, А.П.Череватенко, В.И.Цовбуну за помощь в проведении экспериментов и получении данных о наиболее достоверных дозах облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочвар И.А. и др. Метод дозиметрии ИКС. Атомиздат, М., 1977, с. 104.
2. Piesch E., Burghardt B. In: Proc. of the Fourth Intern. Conference on Luminescence Dosimetry, Krakow Poland, 1974, vol. III, p. 1123.
3. Шаргородский А.М. и др. Подготовка и смешение композиций. "Химия", Л., 1973, с. 77.
4. Piesch E. Nuclear Instr. and Methods, 1977, 145, p.613.

5. Douglas I.A., Marshall M. Health Phys., 1978, vol.35, p.315.
6. Piesch E., Burghardt B. In: Proc. of the Symposium on Advances In Radiation Protection Monitoring, Stockholm, Sweden, IAEA, Vienna, 1979, p. 207.
7. Архипов В.А. и др. ОИЯИ, 16-11817, Дубна, 1978.
8. Комендантова Г.А. и др. ОИЯИ, 16-12858, Дубна, 1979.
9. Юдин М.Ф. Дозиметрия фотонного излучения 5-3000 кэВ. Издательство комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, М., 1970, с.223
10. Нормы радиационной безопасности НРБ-76 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/80. Энергоиздат, М., 1981.
11. Алейников В.Е., Бескровная Л.Г. ОИЯИ, 16-82-89, Дубна, 1982.
12. Kluge A.H. et al. In: Proc. of the Symposium on Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes, IAEA, Vienna, 1973, vol. 1, p. 13.
13. Knitter H.H. et al. Atomkernenergie, 1973, 22, 2, p.84.
14. Бамблевский В.П., Гречко В.Б. ОИЯИ, Р16-12069, Дубна, 1978.
15. Бамблевский В.П., Гречко В.В. ОИЯИ, Б2-16-12123, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 декабря 1984 года.

Касканов Г.Я. и др.

16-84-804

Чувствительность альbedo-дозиметров с термолюминесцентными детекторами к нейтронам различных энергетических спектров

Определена чувствительность трехкомпонентного альbedo-дозиметра с термолюминесцентными детекторами на основе фтористого лития и экраном, содержащим карбид бора, к нейтронам различных энергетических спектров на ядерно-физических установках ОИЯИ и на изотопных источниках нейтронов. Показано, что, несмотря на значительную зависимость чувствительности от энергии нейтронов, в реальных полях рассеянного излучения на ядерно-физических установках ОИЯИ, в местах, где может находиться персонал, для определения индивидуальной дозы нейтронов можно пользоваться усредненным значением чувствительности 2,3 Р/бэр. Это может внести при определении дозы дополнительную погрешность до 40%. Рекомендованы значения чувствительностей альbedo-дозиметров для спектров с различной эффективной энергией нейтронов и различным вкладом в дозу тепловых нейтронов. Приведены результаты сравнения данных, полученных в настоящей работе и измеренных для такого типа дозиметров другими авторами.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Kaskanov G.Ya. et al.

16-84-804

The Sensitivity of Albedo Dosimeters with Thermoluminescent Detectors to Neutrons of Different Spectra

The sensitivity of a three-component albedo dosimeter with thermoluminescent detectors based on lithium fluoride and having a boron carbide loaded screen for different neutron spectra around JINR nuclear physical installations and for isotopic neutron sources is determined. It is shown that the averaged value of sensitivity (2,3 P/rem) may be used for personnel monitoring of neutrons scattered radiation in real fields of the working area around nuclear physical installations despite a significant dependence of the response on neutron energy. This can cause an additional error up to 40% in dose determining. Sensitivities of albedo dosimeters for neutron spectra with different effective energy and thermal neutron dose fraction are recommended. The data obtained are compared with the results of other authors for this type dosimeters.

The investigation has been performed at the Department of Radiation Safety and Radiation Researches, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984