

Г-311



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3516/2-76

6/ix-76

P16 - 9749

М.Г.Гелев, М.М.Комочков, И.Т.Мишев, Ю.В.Мокров,
М.И.Салацкая

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ АЛЬБЕДНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРА
НА ОСНОВЕ ПЛЕНКИ С ЭМУЛЬСИЕЙ ТИПА "К"
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ТЕПЛОВЫМИ
И ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ НЕЙТРОНАМИ

Дубна 1976

P16 - 9749

М.Г.Гелев, М.М.Комочков, И.Т.Мишев, Ю.В.Мокров,
М.И.Салацкая

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ АЛЬБЕДНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРА
НА ОСНОВЕ ПЛЕНКИ С ЭМУЛЬСИЕЙ ТИПА "К"
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ТЕПЛОВЫМИ
И ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ НЕЙТРОНАМИ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

ВВЕДЕНИЕ

Для измерения индивидуальных доз промежуточных нейтронов в последнее время нередко используются детекторы, чувствительность которых изменяется обратно пропорционально скорости нейтронов. С их помощью регистрируются в основном тепловые нейтроны, обратно рассеянные от тела человека при падении на него нейтронов широкого энергетического спектра, в том числе и промежуточных. Такие детекторы в качестве дозиметров называются альbedo-дозиметрами, а сам метод - альbedo-методом /1-6/. Основным параметром при использовании этого метода является так называемое тепловое альbedo /4/

$$\beta_T = \frac{\text{флюенс обратно рассеянных тепловых нейтронов}}{\text{флюенс падающих нейтронов}}$$

Для нас большой интерес представляет чувствительность используемого в ОИЯИ индивидуального дозиметра нейтронов (ИФКн) на основе ядерной эмульсии типа "К" /7/ к промежуточным и тепловым нейтронам, принцип регистрации которых основан на альбедных свойствах человеческого тела и способности эмульсии регистрировать нейтроны по протонам из реакции $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ на азоте эмульсии.

В работе /8/ описана ожидаемая реакция такого дозиметра на тепловые и промежуточные нейтроны с использованием данных работы /2/ по тепловому альbedo. В последние годы появился ряд новых работ по исследованию зависимости этого коэффициента на поверхности фантома от энергии падающих нейтронов /4/. Полу-

ченные в этих работах данные существенно отличаются от использованных нами ранее /2/. В этой связи появилась необходимость пересчитать функцию чувствительности ядерной эмульсии типа "К" толщиной 20 мкм к нейтронам в области промежуточных энергий и экспериментально проверить значение этой функции при двух доступных нам энергиях нейтронов.

1. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ФУНКЦИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

На основе наиболее достоверных, на наш взгляд, данных о β_T , приведенных на рис. 1 и заимствованных из работы /4/, была вновь рассчитана ожидаемая

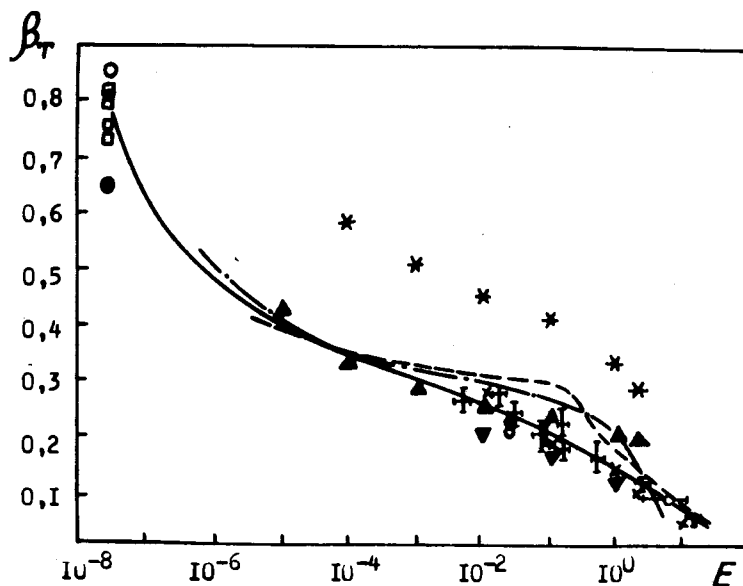


Рис. 1. Зависимость теплового альбеда β_T от энергии падающих нейтронов E , МэВ; ● - результаты настоящей работы, остальное - данные работы /4/.

чувствительность эмульсии, используемой в дозиметре ИФКн, к нейтронам промежуточных энергий. На рис. 2 представлена полученная при этом зависимость чувствительности детектора (кривая 1) от энергии падающих нейтронов в области энергий от тепловых до 1 МэВ. Чувствительность η выражена числом треков на 1 см² эмульсии в расчете на 1 бэр нейтронов, причем значения бэр.нейтрон⁻¹.см² взяты нами из /9/. Сравнение

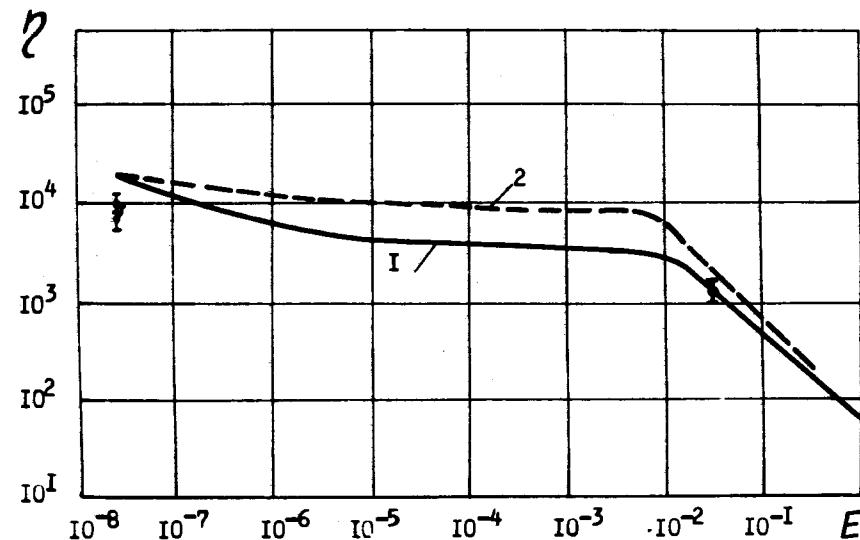


Рис. 2. Зависимость чувствительности эмульсии типа "К" 20 мкм, используемой в качестве альbedo-дозиметра, от энергии падающих нейтронов (по оси ординат - чувствительность η , трек.см.⁻² бэр⁻¹, по оси абсцисс - энергия нейтронов E , МэВ) — - рассчитана на основе значений β_T , заимствованных из работы /4/, - - - - кривая из работы /8/, ● - экспериментальные результаты настоящей работы.

полученных результатов с данными работы /8/, приведенными на этом же рисунке (кривая 2), указывает на значительное расхождение величин чувствительности и необходимость экспериментальной проверки полученных результатов.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА С ЦЕЛЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

Проверку чувствительности дозиметра ИФКн производили в опытах с тепловыми нейтронами и нейтронами с энергией ~ 30 кэВ. В этих же экспериментах были измерены коэффициенты β_T .

Облучение дозиметра тепловыми нейтронами производили на тепловой колонне реактора ИРТ-2000 в Софии. Кадмиевое отношение в пучке нейтронов было более 1000. В качестве фантома использовался парафиновый блок размером 30x20x15 см. Флюенс тепловых нейтронов без фантома и на его поверхности измеряли методом индиевых фольг с ошибкой, не превышающей $\pm 10\%$, обусловленной в основном неточностью в определении активности фольг и неопределенностью во времени при открытии и закрытии канала, где происходило облучение. В таких же условиях на поверхности фантома и без него были облучены кассеты ИФКн с корректирующими пакетиками /7/, содержащими эмульсию "К" толщиной 20 мкм, и пакетики без кассет. В обоих случаях пакетики облучались в Cd и без него. В результате подсчета треков протонов из азота значение β_T получено равным $0,80 \pm 0,13$. Аналогичная величина β_T , полученная с помощью индиевых фольг, - $0,65 \pm 0,13$.

Чувствительность к тепловым нейтронам оказалась равной:

- при облучении эмульсии в пакетике без кассет - $(0,95 \pm 0,14) \cdot 10^4$ тр.см.⁻² бэр⁻¹
- при облучении эмульсии в кассете - $(0,74 \pm 0,12) \cdot 10^4$ тр.см.⁻² бэр⁻¹.

Расчетное значение чувствительности эмульсии, не

учитывающее влияния кассеты и корректирующего пакетика, равно $2,1 \cdot 10^4$ тр.см.⁻² бэр⁻¹. Оценки показывают, что корректирующий пакетик ослабляет падающий поток тепловых нейтронов на 15%, а кассета ИФК-2,3 с рентгеновской пленкой и корректирующим пакетиком ослабляют излучение на 50+60%. Кроме того, приблизительно 10% треков протонов, образованных в эмульсии тепловыми нейтронами, не будет сосчитано при просмотре на микроскопе из-за малых длин треков (менее 3 мкм), выходящих из эмульсии, и из-за больших углов между треком и поверхностью эмульсии (более 77°). С учетом этих оценок расчетная величина чувствительности ИФКн к тепловым нейтронам при облучении ИФКн на фантоме равна $0,81 \cdot 10^4$ тр.см.⁻² бэр⁻¹. При сравнении расчетной и экспериментально полученной величин чувствительности необходимо учитывать эффективность просмотра. Эта величина, определенная для группы лаборантов при просмотре треков, образованных в эмульсии "К" 20 мкм нейтронами Pu+Ве источника, находилась в пределах 75+85%.

Таким образом, произведенные оценки указывают на близкие значения экспериментальных и расчетных результатов чувствительности дозиметра ИФКн к тепловым нейтронам.

Измерение β_T при падении на фантом нейтронов с энергией в несколько десятков кэВ и определение чувствительности дозиметра ИФКн к таким нейтронам производили на нейтронах, получаемых при бомбардировке литиевой мишени протонами ускорителя Ван-де-Граафа. В качестве мишени использовали Li_2CO_3 . Энергия ускоренных протонов на 10 кэВ превышала порог реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$. При этом спектр нейтронов рассчитывался в соответствии с работой /10/. Форма спектра близка к треугольной с вершиной при 30 кэВ и основанием от 8 до 70 кэВ. Средняя энергия нейтронов в спектре - около 30 кэВ. Поток нейтронов таких энергий измерялся с помощью детектора медленных нейтронов (таблетка ZnS с бором) в полиэтиленовом замедлителе диаметром 12,7 см. Чувствительность детектора к нейтронам в области энергий 5+100 кэВ практически постоянна /11/

и контролировалась во время эксперимента с помощью нейтронов $Pu + Be$ источника. Детектором тепловых нейтронов при определении величины β_T служил борный счетчик типа СНМ-13, проградуированный в известном потоке тепловых нейтронов /12/.

В экспериментах расстояние от оси счетчика до поверхности фантома было 7+8 мм. Фантом с детекторами располагался на расстоянии 1 м от мишени - источника нейтронов. Мишень и детекторы были приподняты над полом на высоту 2 м, ближайшее расстояние от стен до мишени - 3 м; от стен до детектора - 2 м. В этих условиях поток тепловых нейтронов, отраженных от стен, пола, потолка на два порядка меньше потока падающих нейтронов.

В качестве фантома использовали полиэтиленовую емкость размером 32x20x34 см, наполненную тканевэквивалентной жидкостью. С целью исключения влияния рассеяния от стен, пола, аппаратуры тепловых нейтронов, вышедших из фантома, фантом с детекторами заключали в большой кадмиевый чехол толщиной ~1 мм. Были получены следующие результаты: $\beta_T = 0,22 \pm 0,06$ (при облучении фантом с детекторами был закрыт Cd), $\beta_T = 0,25 \pm 0,07$ (облучение производилось в отсутствие кадмиевого экрана). Эти результаты показывают, что в проведенном нами эксперименте фон обратно рассеянных от окружающих предметов и стен тепловых нейтронов мал и в пределах ошибок им можно пренебречь. Полученные данные хорошо согласуются со значениями β_T на рис. 1. Так, значение β_T , рассчитанное для спектра нейтронов на основе значений β_T представленных кривой на рис. 1, дает величину 0,24, что соответствует энергии нейтронов 30-34 кэВ и хорошо согласуется с измеренной в нашем случае величиной β_T . Полезно отметить, что удаление счетчика СНМ-13 на 1,5 см от поверхности фантома не изменило его показаний.

Для экспериментального определения чувствительности индивидуального дозиметра ИФКн с эмульсией типа "К" к нейтронам с энергией ~30 кэВ дозиметры ИФКн и толстослойные эмульсии типа "Я-2" (440 мкм) облучались на фантоме в описанных выше условиях. Во время

облучения эмульсий фантом вместе с детекторами был закрыт чехлом из кадмия, на обращенной к источнику поверхности которого помещалась еще одна эмульсия "Я-2" в кадмиевом экране. В проведенных экспериментах из-за недостаточной величины флюенса нейтронов оказалось возможным непосредственно для дозиметра ИФКн указать только верхнюю границу чувствительности к нейтронам с энергией ~30 кэВ. Косвенным путем чувствительность ИФКн определялась из эксперимента по облучению эмульсии "Я-2" толщиной ~440 мкм. При этом учитывалась разница в содержании азота, в толщине эмульсий и в проценте "утерянных" при просмотре треков для обоих типов эмульсий. Расчет ожидаемых в эмульсии "К" числа треков выполнялся с помощью следующего соотношения:

$$N = A \cdot 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ тр.см}^{-2},$$

где N - число треков на 1 см² эмульсии типа "К" толщиной 20 мкм, A - число треков, наблюдаемых на 1 см² эмульсии "Я-2". Чувствительность (η) эмульсии "К" толщиной 20 мкм к нейтронам с энергией ~30 кэВ оказалась равной: $\eta < 3,0 \cdot 10^3 \text{ тр.см.}^{-2} \text{ бэр}^{-1}$ (из данных по облучению ИФКн), $\eta = (1,3 \pm 0,3) \cdot 10^3 \text{ тр.см.}^{-2} \text{ бэр}^{-1}$ (из данных по облучению эмульсии "Я-2"). Помещение перед эмульсией полиэтилена толщиной 3 мм (аналог кассеты) увеличивает чувствительность примерно на 30%. Полученные в экспериментах величины β_T и значения чувствительности используемой в ИФКн эмульсии "К" толщиной 20 мкм нанесены соответственно на рис. 1 и 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные в настоящей работе расчеты и эксперименты уточнили значения чувствительности детекторов ИФКн как индивидуальных дозиметров альбедного типа в диапазоне энергий нейтронов от 0,025 эВ до 0,4 МэВ. Уточненные величины чувствительности оказались примерно в 2 раза ниже ранее принятых в интервале энергий

0,025 эВ - 10 кэВ. Это существенно при измерении индивидуальной дозы за защитой из железа, где вклад нейтронов указанного интервала энергий может быть значительным.

Авторы приносят благодарность В.И.Салацкому, С.М.Леви, Б.Г.Стойковой за помощь при проведении экспериментов, Г.П.Кораблевой, Л.В.Киселевой - за просмотр эмульсий, А.М.Суховому - за расчет спектра нейтронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. J.R.Harvey, CEGB RepRD/B/827 (1967).
2. J.A.Dennis, J.W.Smith and S.J.Boot. Neutron Monitoring, IAEA, Vienna, 537(1967).
3. P.S.Nagarajan, D.Krishnan. Health Physics, 17, 323 (1969).
4. J.R.Harvey, W.H.R.Hudd, S.Townsend.Proc. of Symp. on Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes,Vienna, 11-15 Dec., 1972. IAEA, Vienna, v.II,199 (1973).
5. D.E.Hankins. Proc. of Symp. on Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes,Vienna, 11-15, Dec., 1972, IAEA, Vienna, v.II, 15 (1973).
6. E.Piesch, B.Burgkhardt. Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes; Proc. of a Symp., Vienna, 11-15 December 1972, IAEA, Vienna v.II, 31 (1973).
7. Л.С.Золин, В.Н.Лебедев, М.И.Салацкая. АЭ, 13, 5, 467 (1962).
8. М.Г.Гелев, М.М.Комочков, И.Т.Мишев, М.И.Салацкая. АЭ, 34, 2, 118 (1973).
9. "Радиационная безопасность. Величины, единицы, методы", под ред. И.Б.Кеирим-Маркуса,Атомиздат, М., 1974.
10. Дж.Гиббонс, Г.Ньюсон. "Физика быстрых нейтронов", Москва, Госатомиздат, 1963, т. 1, стр. 60.

11. В.Е.Алейников, В.П.Гердт, М.М.Комочков, Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes.Proc.of a Symp., Vienna, 11-15 Dec., 1972, IAEA,Vienna,v.I,31,1973. M.Bricka et al. Там же, стр. 279.
12. Р.Д.Васильев, Г.А.Дорофеев, К.И.Петров. "Измерительная техника", №8, стр. 74-75 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел
28 апреля 1976 года.