

24/III 72

Г-311



969/2-72

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ОТДЕЛ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

16 - 6243

М.Г. Гелев , М.М. Комочков, И.Т. Мишев ,
М.И. Салацкая

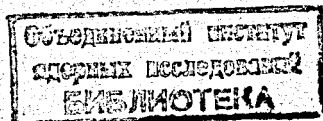
**ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРА
НА ОСНОВЕ ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ
ТИПА "К" К ДОЗЕ ТЕПЛОВЫХ,
ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ**

16 - 6243

М.Г. Гелев*, М.М. Комочков, И.Т. Мишев*,
М.И. Салацкая

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРА
НА ОСНОВЕ ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ
ТИПА "К" К ДОЗЕ ТЕПЛОВЫХ,
ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ

Направлено в А 3



* Физический институт БАН, София, НРБ

В течение последних десяти лет в Объединенном институте ядерных исследований для измерения индивидуальной дозы нейтронов, получаемой сотрудниками при работе вблизи источников излучения, используется ядерная эмульсия типа "К" толщиной 20 мкм, нанесенная на триацетатную пленку, заключенная в корректирующий пакет ^{/1,2/}. Этот метод ранее ^{/1,2/} был обоснован для измерения дозы быстрых нейтронов ($0,5 \text{ Мэв} \leq E < 15 \text{ Мэв}$) и позволяет измерять дозу таких нейтронов в пределах 0,02+15 бэр. Однако измерение дозы быстрых нейтронов не является достаточным для определения полной индивидуальной дозы нейтронов при работе за толстой защитой реакторов и ускорителей. В таких случаях, как показано в работах ^{/3,4/}, вклад тепловых нейтронов ($E < 0,4 \text{ эв}$) в полную дозу может достигать 10%, а промежуточных ($0,4 \text{ эв} < E < 0,5 \text{ Мэв}$) - даже 60% и более. Поэтому дозиметры, используемые для индивидуального контроля, должны с достаточной точностью регистрировать не только дозу быстрых нейтронов, но также дозу тепловых и промежуточных нейтронов. Целью настоящей работы является расчетная оценка чувствительности индивидуального дозиметра нейтронов на основе эмульсии типа "К" к дозе тепловых и промежуточных нейтронов, а также экспериментальная проверка чувствительности такого дозиметра к тепловым нейтронам.

Общие соображения и полученные результаты

В состав используемой в индивидуальной дозиметрии нейтронов эмульсии типа "К" наряду с другими элементами входит азот^{15/}. Под действием тепловых нейтронов в эмульсии идет реакция $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ с вылетом протонов с энергией около 0,6 Мэв. Пробег этих протонов в эмульсии равен примерно 6 мкм, и треки от таких протонов можно наблюдать с помощью микроскопа. Число протонов $N(E)$, образующихся на 1 см^2 эмульсии при облучении ее нейтронами с энергией E , можно выразить следующим образом:

$$N(E) = \Phi(E) \cdot \sigma(E) \cdot A,$$

где: $\Phi(E)$ - поток нейтронов с энергией E , нейтрон $\cdot\text{см}^{-2}$; $\sigma(E)$ - сечение реакции $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$, см^2 ; A - число атомов азота на 1 см^2 эмульсии. Для эмульсии типа "К" толщиной (20±3) мкм $A = (7\pm 1) \cdot 10^{18}$.

Если предположим, что эффективность регистрации протонов 100% и регрессия в эмульсии отсутствует, очевидно, что число протонов, вылетевших из ядер азота, равно числу зарегистрированных треков, образованных этими протонами. На рис. 1 (кривая 1) показана, при указанных выше предположениях, расчётная зависимость чувствительности от энергии нейтронов. Здесь и далее чувствительность выражена числом треков на 1 см^2 эмульсии в расчёте на 1 бэр нейтронов, причём значения коэффициента качества (KK) нейтронов заимствованы из работы^{16/}. Для нейтронов с энергией 0,025 эв $\sigma(E)$ приняли равным $1,76 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$, а с ростом энергии нейтронов изменение сечения принято обратно пропорциональным их скорости.

Как видно на рис. 1 (кривая 1), пленку с эмульсией типа "К" нельзя использовать в качестве дозиметра промежуточных нейтронов из-за резкого падения ее чувствительности с нарастанием энергии нейт-

ронов. Однако использование такой пленки в кассете дозиметра, носимого на теле человека, возможно для индивидуальной дозиметрии в более широком диапазоне энергий нейтронов. Как показано в ^{/7/}, поток тепловых нейтронов, рассеянных от фантома при облучении его промежуточными нейтронами, слабо зависит от энергии вплоть до 7 кэв и составляет примерно 0,8 нейтрона на 1 падающий нейтрон (см.рис. 2). По другим данным ^{/8/}, эта величина составляет $\approx 0,5$ нейтрона на 1 падающий нейтрон. С увеличением энергии нейтронов поток рассеянных от фантома тепловых нейтронов заметно уменьшается. Пользуясь данными ^{/7/}, мы рассчитали зависимость чувствительности эмульсии типа "К" (20 мкм) к тепловым и промежуточным нейтронам с учётом регистрации эмульсией рассеянных "назад" от фантома тепловых нейтронов. Результаты представлены на рис. 1 (кривая 2). Участок кривой 2 для энергий нейтронов более 0,3 Мэв представляет зависимость чувствительности эмульсии с корректирующим пакетом к быстрым нейтронам согласно ^{/1/}. Как видно из этих данных, эмульсия с корректирующим пакетом может использоваться в качестве индивидуального дозиметра нейтронов с энергией от тепловых до 7 кэв и от 0,5 до 15 Мэв. В области энергий нейтронов 7-500 кэв чувствительность такого дозиметра резко меняется и поэтому использование его в качестве дозиметра нейтронов в этой области энергий невозможно.

Для экспериментальной проверки чувствительности индивидуальных дозиметров с эмульсией "К" (20 мкм), нанесенной на триацетатную пленку, к тепловым нейтронам дозиметры облучали на тепловой колонне реактора ИРТ-2000 в Софии. Кадмиевое отношение в пучке нейтронов было больше 1000. Поток тепловых нейтронов измеряли индиевым детектором; ошибка в определении потока составляла $\pm 20\%$. При таких условиях было найдено, что чувствительность дозиметра к тепловым нейтронам

Число треков $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{бэр}^{-1}$

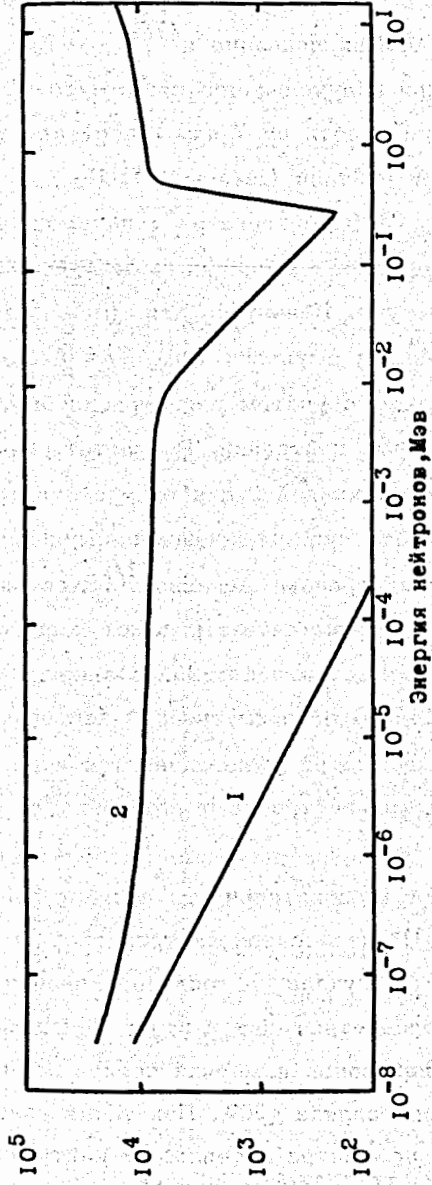


Рис. 1. Зависимость расчётной чувствительности индивидуального дозиметра на основе ядерной эмульсии типа "К" от энергии нейтронов. Кривая 1 - облучение без фантома. Кривая 2 - облучение с фантомом.

6

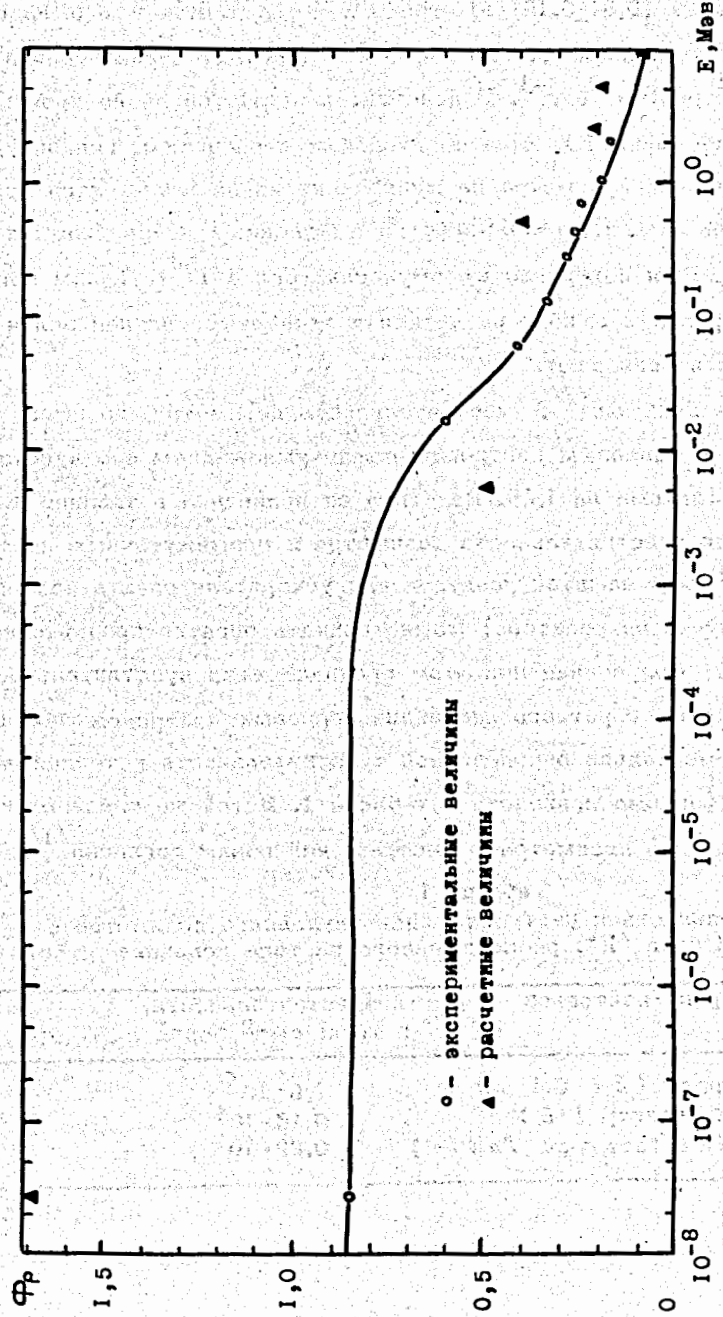


Рис. 2. Зависимость потока тепловых нейтронов Φ_p , рассеянных "назад" от фантома при падении на него единичного потока с энергией E (по Деннису и др. [1]).

7

без фантома равна $(0,84 \pm 0,19) \cdot 10^4$ трек.см⁻² бэр⁻¹. Как уже было показано на рис. 1 (кривая 1), его расчётная чувствительность равна $(1,23 \pm 0,18) \cdot 10^4$ трек.см⁻² бэр⁻¹. В действительности, согласно произведённой оценке, примерно 10% треков, входящих в расчётную величину, не будет сосчитано при просмотре на микроскопе из-за малых длин треков протонов (менее 3 мкм), выходящих из эмульсии, и из-за больших углов между треком и поверхностью эмульсии (более 77°). Таким образом видно, что в пределах ошибок расчётная и экспериментальная величины чувствительности совпадают.

Пользуясь данными /7/, чувствительность дозиметра, носимого на теле человека, к тепловым нейтронам нашли умножением его чувствительности без фантома на 1,86. Величина ее приведена в таблице 1.

Для оценки чувствительности дозиметра к промежуточным нейтронам за толстой бетонной защитой реактора или ускорителя спектр нейтронов (особенно в случае на реакторе) можно принять обратно пропорциональным энергии. Полученная при этом предположении чувствительность дозиметра с учётом обратного рассеяния тепловых нейтронов от фантома и экспериментально определенной чувствительности к тепловым нейтронам без фантома приведена в таблице 1. В той же таблице указана чувствительность дозиметра к быстрым нейтронам согласно /1/.

Таблица 1

Чувствительность к нейтронам индивидуального дозиметра с эмульсией типа "К", расположенного на теле человека

Диапазон энергий нейтронов	: Чувствительность, : трек. см ⁻² бэр ⁻¹
тепловые нейтроны ($E < 0,4$ эв)	$1,6 \cdot 10^4$
0,4 эв + 0,5 Мэв (спектр $1/E$)	$0,16 \cdot 10^4$
0,5 Мэв + 15 Мэв (источник $Po + Be$)	$0,92 \cdot 10^4$

В применяемой до настоящего времени в ОИЯИ методике измерения индивидуальной дозы нейтронов используется чувствительность дозиметра к быстрым нейтронам. Однако это не вполне корректно, если иметь в виду наличие в контролируемых полях тепловых и промежуточных нейтронов. Соотношение вкладов в дозу нейтронов различных энергий на рабочих местах за защитой ядерно-физических установок ОИЯИ дано в таблице 2^{19/}. В этой же таблице представлены вычисленная в соответствии с этими данными чувствительность индивидуального дозиметра к нейтронам и поправочные коэффициенты K , на которые нужно умножить зарегистрированную в соответствии с уже используемой методикой дозу, чтобы получить полную индивидуальную дозу нейтронов с энергией от тепловых до 15 Мэв.

Таким образом, основываясь на приведенных выше измерениях и оценках, можно сказать, что регистрируемая индивидуальным дозиметром с ядерной эмульсией доза нейтронов при работе в помещениях за защитой занижается на 10-65%; степень занижения дозы зависит от источника излучения и защиты. При этом вклад частиц с энергией, больше 20 Мэв, в полную дозу за защитой не должен превышать 5%^{1/10/}. Большой вклад в дозу частиц высоких энергий может привести даже к завышению регистрируемой индивидуальной дозы.

В связи с тем, что треки протонов из азота имеют малую длину, представлялось необходимым изучить регрессию треков в эмульсии в зависимости от интервала времени между облучением и обработкой эмульсии. Эксперимент проводился дважды.

В 1-ом опыте все пленки облучали одновременно на тепловой колонне реактора "Анна" (Польша), хранили в обычных комнатных условиях (температура около +23°, влажность примерно 30%) и проявляли по 4 с некоторым интервалом между проявлениями. При просмотре пленок треки визуально разделяли на 2 группы: треки длиной до 6 мкм и треки длиной больше 6 мкм. Последняя группа треков обусловлена только протонами

отдачи, возникающими при взаимодействии быстрых нейтронов с водородом эмульсии и корректирующего пакета. Полученные результаты представлены на рис. 3 и аппроксимированы прямыми линиями, положение которых определено по методу наименьших квадратов. Прямые 1,2,3 представляют собой соответственно число треков на пленке с длиной до 6 мкм, более 6 мкм и сумму треков.

Во 2-ом опыте пленки периодически (по 2 шт) облучали на тепловой колонне реактора ИРТ-2000 в Софии. Часть облученных пленок хранили в холодильнике в полиэтиленовой упаковке ($\pm 6^{\circ}\text{C}$), а часть - в комнате при $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности порядка 30%. Затем все облученные пленки одновременно обрабатывали. Результаты просмотра этих пленок представлены на рис. 4. В данном случае стандартные ошибки, указанные на графике, значительно больше ошибок, представленных на рис. 3, т.к. в этом случае значительный вклад в них вносит ошибка в определении потока нейтронов, составляющая примерно 20%.

Из приведенных на рис. 3 и 4 данных следует, что в течение 100 дней после облучения регрессией можно пренебречь, т.к. она остается в пределах ошибок (примерно 20%). Кроме того, оказалось, что уменьшение числа треков на пленках не обнаружено как при хранении пленок в холодильнике, так и при хранении в комнатных условиях, близких к рабочим условиям, в которых обычно сотрудники носят или хранят индивидуальные дозиметры.

Заключение

В соответствии с применяемой в ОИЯИ методикой измерения индивидуальной дозы быстрых нейтронов регистрируемая доза таких нейтронов завышается на $10 \pm 80\%$ из-за способности ядерной эмульсии типа "К" регистрировать тепловые нейтроны. Однако, введя коэффициент коррекции, равный 1,5, можно считать, что индивидуальный дозиметр в условиях работы сотруд-

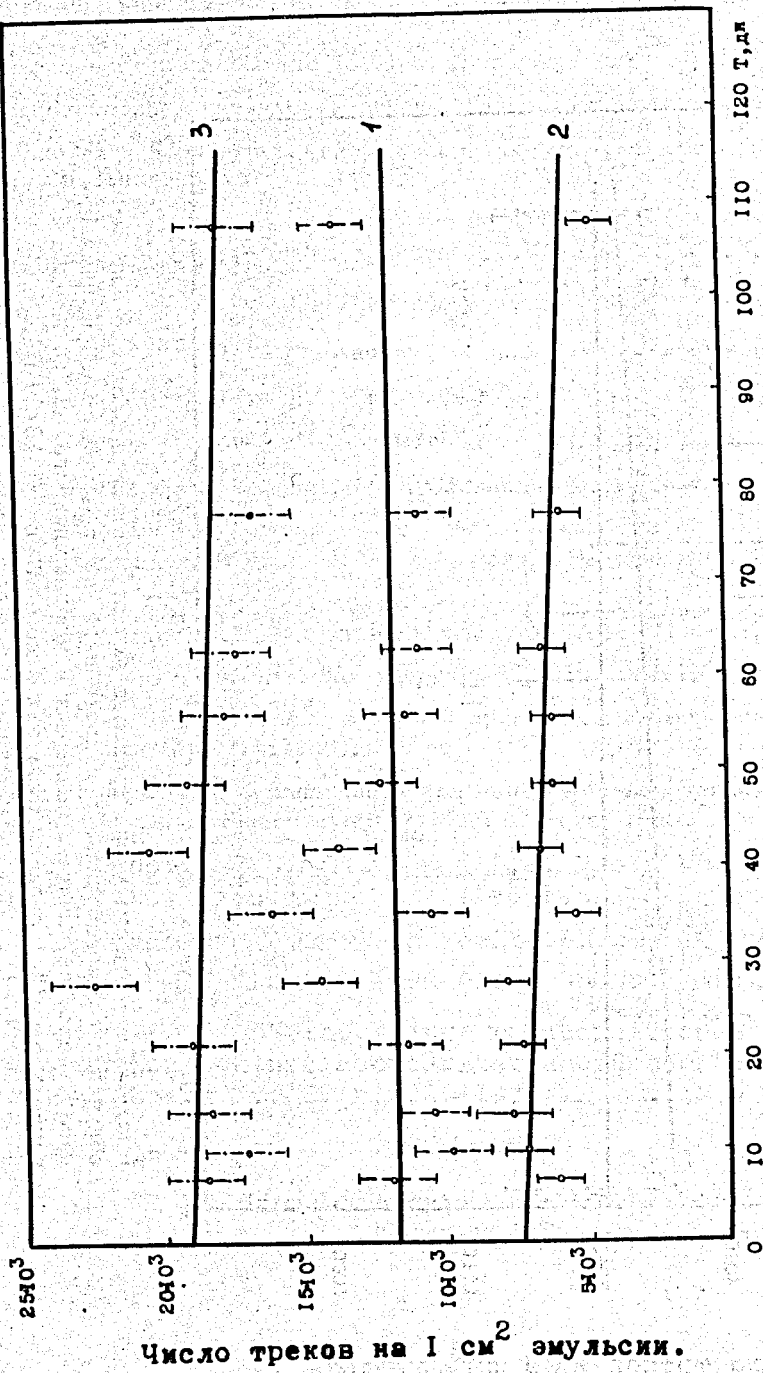


Рис. 3. Зависимость числа треков в эмульсии от интервала времени между облучением и обработкой (при постоянной поглощенной дозе). Кривая 1 — число треков длиной ≤ 6 мкм, кривая 2 — число треков длиной > 6 мкм. Кривая 3 — полное число треков в эмульсии.

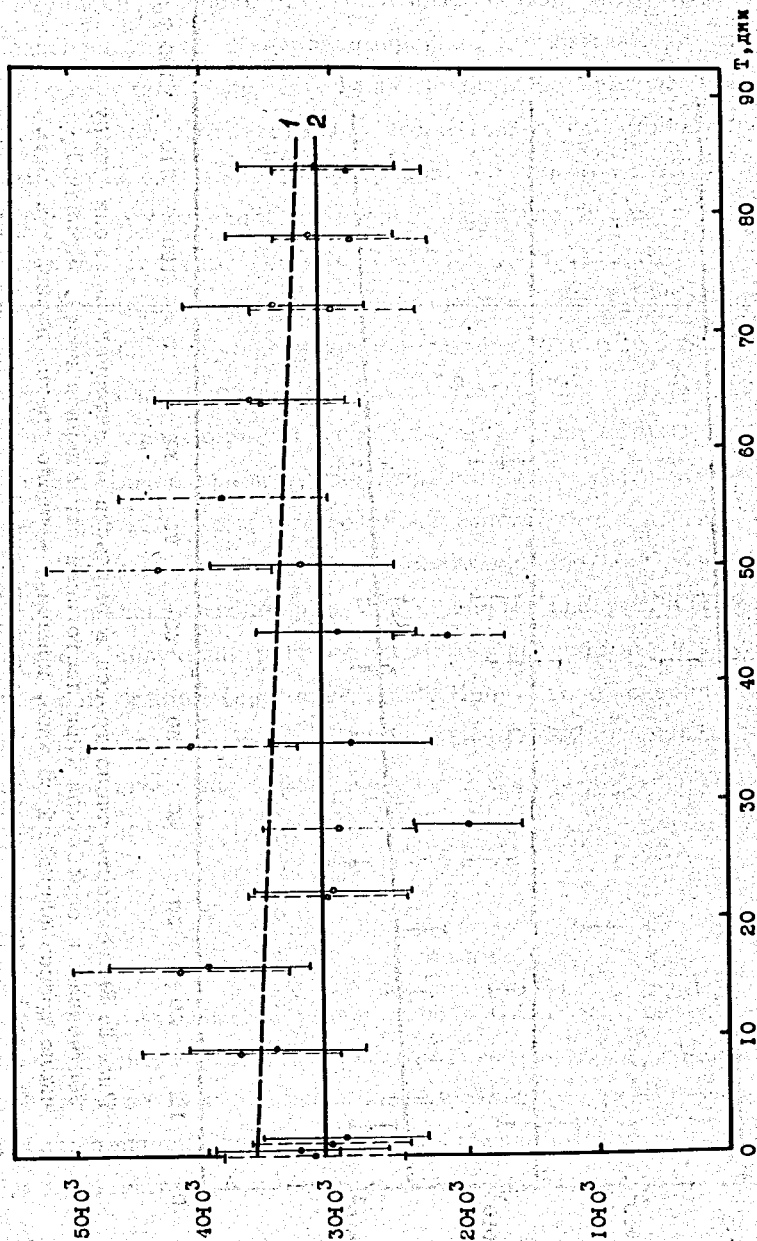


Рис. 4. Зависимость числа треков в эмульсии от интервала времени между облучением и обработкой (при постоянной поглощенной дозе). Кривая 1 - число треков на пленках, хранимых в холодильнике при $+6^{\circ}\text{C}$. Кривая 2 - число треков на пленках, хранимых в комнате при $+18\pm 20^{\circ}\text{C}$.

Число треков на 1 см² эмульсии.

ников на ИБРе и циклотроне регистрирует суммарную дозу нейтронов с энергией от тепловых до 15 Мэв. Для сотрудников, работающих на синхроциклотроне и синхрофазотроне, введение такого коэффициента правомерно лишь в условиях, где вклад в дозу сверхбыстрых нуклонов не превышает 5%.

Авторы приносят благодарность Л.Б. Смирновой и Г.П. Кораблевой за просмотр пленок на микроскопах, С. Пшоне и В.Е. Алейникову за помощь в облучении пленок.

Литература

1. Л.С. Золин, В.Н. Лебедев, М.И. Салацкая. Атомная энергия, т.13, №5, 467 (1962).
2. М.И. Салацкая, В.Н. Лебедев, Л.С. Золин. Радиационная физика, II, Рига, 1964, 107.
3. D.Nachtigall. Neutron Monitoring IAEA, Vienna, p.333 (1967).
4. В.А. Князев и др. Атомная энергия, 27, 210 (1969).
5. М.Ф. Родичева. Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии, 5, №3, 221 (1960).
6. Основные нормы безопасности при защите от излучения. Серия изданий по безопасности №9, МАГАТЭ, Вена, 1968.
7. J.A. Dennis, J.W. Smith and S.J. Boot. Neutron Monitoring IAEA, Vienna, p. 537 (1967).
8. P.S.Nagarajan, D.Krishnan. Health Phys., v17, 323-329 (1969).
9. В.Е. Алейников и др. Публикация ОИЯИ, В1-2759, Дубна, 1968.
10. В.Е. Алейников и др. Proceedings of International Congress on Protection Against Accelerator and Space Radiation. CERN, Geneva, v. I, p.282 (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел
20 января 1972 года.

Таблица 2

Вклад в дозу (%) нейтронов различных групп на установках ОИЯИ и соответствующая им чувствительность индивидуального дозиметра

Установка	Вклад в дозу в процентах			Чувствительность индивидуального дозиметра трек.см ⁻² бэр ⁻¹	Поправочный коэффициент К
	тепловые нейтроны E < 0,4 эв	Проходяточные нейтроны 0,4 эв < E < 0,5 Мэв	Быстрые нейтроны 0,5 Мэв < E < 15 Мэв		
Синхроциклотрон	5	55	40	0,56.10 ⁴	1,65
синхрофазотрон	5	15	80	0,84.10 ⁴	1,1
импульсный быстрый реактор (ИБР)	10	55	35	0,59.10 ⁴	1,56
Циклотрон	3	37	60	0,67.10 ⁴	1,37