

K-636



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

764/2-77

13 - 10188

М.М.Комочков, Б.В.Манько, М.И.Салацкая, Б.С.Сычев

28/2-77

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПЛОТНОСТИ РАЗРЫВОВ В ТРЕКАХ,
ОБРАЗОВАННЫХ В ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ ТИПА "К"
ПРОТОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ ДО 200 МЭВ

Дубна 1976

13 - 10188

М.М.Комочков, Б.В.Манько, М.И.Салацкая, Б.С.Сычев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПЛОТНОСТИ РАЗРЫВОВ В ТРЕКАХ,
ОБРАЗОВАННЫХ В ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ ТИПА "К"
ПРОТОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ ДО 200 МЭВ

Экспериментальное определение плотности разрывов в треках, образованных в ядерной эмульсии типа "К" протонами с энергией до 200 МэВ

Приведены результаты исследования плотности разрывов в треках, образованных протонами с энергией до 200 МэВ в ядерной эмульсии типа "К". Предложено аналитическое описание полученных данных. Сделан практический вывод о возможности визуального разделения треков протонов на 2 группы (с энергией ниже 50 МэВ и выше этой границы), что может быть использовано при интерпретации данных индивидуального контроля дозы нейтронов, получаемых с помощью фотоэмульсионного метода.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности ОИЯИ.

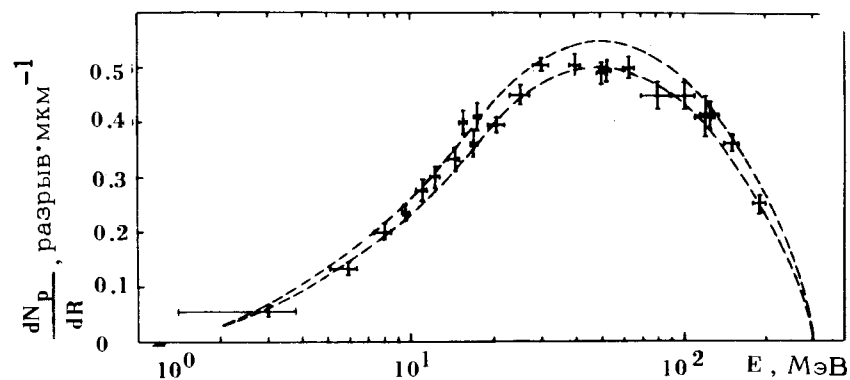
Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

В практической дозиметрии широко применяется методика индивидуального фотографического контроля дозы нейтронов /ИФКн/, основанная на использовании ядерных эмульсий типа "К" /1/. Разработанная первоначально применительно к полям нейтронов на ядерных реакторах /2/, эта методика была затем использована и для контроля дозы нейтронов на ускорителях /1,3,4,5/. В полях рассеянных излучений от ускорителей, где энергетический нейтронный спектр представлен в основном группой нейтронов с энергией ниже 20 МэВ /6-8/, использование метода ИФКн вполне обосновано /3/ /предполагается, что калибровка дозиметров производится на источниках быстрых нейтронов/. В то же время, если рассмотреть поле излучений за сплошной защитой ускорителей протонов на энергии выше 100 МэВ, то станет очевидным, что основной вклад в суммарный эквивалент дозы дают нейтроны с энергией выше 20 МэВ /9-11/, что особенно существенно, в таком поле излучений присутствуют протоны /9,12/, которые могут регистрироваться дозиметром ИФКн с высокой эффективностью. Поскольку в литературе отсутствуют экспериментальные данные о сенситометрических свойствах эмульсии типа "К" по отношению к протонам с энергией в десятки и сотни МэВ, возникла необходимость восполнить соответствующий пробел.

Облучение эмульсий было выполнено на медицинском протонном пучке Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ /13/. Энергия протонов составляла /191±10/ МэВ. Для проведения эксперимента были выбраны эмульсии типа "К" толщиной 400 мкм. Из слоев эмульсии размером 25хх 100 мм набиралась стопка высотой 25 мм. Таким

образом получался экспериментальный блок эмульсий длиной 100 мм по пучку протонов и поперечным сечением 25x25 мм. Просмотр обработанных эмульсий производился на микроскопе МБИ-3. Определяли плотность разрывов в треках как функцию энергии протонов, которая находилась с помощью табличные данных о соотношении пробег-энергия для ядерных эмульсий^{/14/}.

Результаты измерений представлены на рис. 1. Полученные данные можно прокомментировать следующим образом. При относительно высоких энергиях протонов /100±200/МэВ среднее расстояние между соседними проявленными зернами много больше их геометрического размера, и в этом случае число разрывов очень близко к числу зерен, так как вероятность проявления двух соседних зерен невелика. Наоборот, при относительно малых энергиях /ниже 30 МэВ/ вследствие большой плотности ионизации более вероятно образование сгустков и число разрывов становится существенно меньше числа зерен. В промежуточной области энергий /40±60/МэВ наблюдается наибольшая плотность разрывов и доли длины трека, занимаемые разрывами и проявленными зернами, приблизительно одинаковы. При мень-



Линейная плотность разрывов в треках, образованных в эмульсиях К-400 протонами различной энергии E: точки - результаты эксперимента; кривые - расчет согласно выражениям /4/ и /6/ /верхняя - D = 0,45 мкм, нижняя - D = 0,50 мкм/.

ших энергиях большая доля длины приходится на проявленные зерна /в основном в виде сгустков/, а при больших - на разрывы между проявленными зернами.

В связи с изложенным можно сделать полезный практический вывод о возможности визуального определения энергетической группы спектра протонов, к которой принадлежит данный трек. Условно спектр можно разбить на две группы: ниже и выше 50 МэВ /“черные” и “серые” треки/.

Полученные экспериментальные данные по плотности разрывов в треках поддаются приближенному аналитическому описанию. Предположим, что трек представляет собой образование из проявленных зерен, имеющих диаметр D, причем максимальное число проявленных зерен на единицу длины есть 1/D. Пусть (dN/dR) - среднее число проявленных зерен на единицу длины трека. Тогда среднее число разрывов на единицу длины будет ниже (dN/dR) вследствие того, что возможно проявление нескольких зерен подряд, без образования разрыва /непроявленного зерна или нескольких зерен/. Обозначим $\omega = D(dN/dR)$ долю длины трека, занимаемую зернами.

Тогда (1- ω) - доля длины трека, занимаемая разрывами. Для того, чтобы вычислить число разрывов на единицу длины трека, необходимо учесть эффект проявления группы зерен /образование сгустка/. Поскольку ω обозначает фактически вероятность данному монокристаллу проявиться с образованием зерна диаметром D, то вероятность последовательного проявления n зерен есть ω^n . Отсюда получаем среднее число разрывов /сгустков/ на единицу длины трека:

$$\frac{dN_p}{dR} = \frac{dN}{dR} \left(\frac{\sum_{n=1}^{\infty} \omega^n}{\sum_{n=1}^{\infty} n \omega^n} \right) = \frac{\omega(1-\omega)}{D} = \frac{dN}{dR} (1-D \frac{dN}{dR}). \quad /2/$$

В работе /15/ для средней плотности образования зерен в ядерных эмульсиях получено следующее выражение:

$$\frac{dN}{dR} = b [1 - \exp(-f(\frac{dE}{dR}))], \quad /3/$$

где b - максимальное число проявленных зерен, которое

еще может быть оптически разрешено на единице длины; dE/dR - линейные потери энергии заряженной частицы. В наших обозначениях $b \approx 1/D$, поэтому для плотности разрывов получаем:

$$\frac{dN_p}{dR} = \frac{1}{D} [1 - \exp(-f(\frac{dE}{dR}))] \exp(-f(\frac{dE}{dR})). \quad /4/$$

В работе^{/15/} согласно полученным экспериментальным данным было найдено, что функция $f(dE/dR)$ удовлетворительно описывается следующим выражением:

$$f(\frac{dE}{dR}) = \frac{k}{b} \ln(\frac{1}{a} \frac{dE}{dR}), \quad /5/$$

где параметры k , b и a подбираются исходя из результатов эксперимента.

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 1, показал, что для их описания согласно выражению /4/ предпочтительнее использование функции $f(dE/dR)$ в виде

$$f(\frac{dE}{dR}) = \lambda (\frac{dE}{dR} - \delta)^\beta. \quad /6/$$

На основании результатов просмотра было установлено, что для исследованной эмульсии К-400 параметры в формулах /4/ и /6/ имеют следующие значения: $D = 0,45 \div 0,50$ /мкм; $\lambda = 0,41$; $\beta = 0,69$; $\delta = 0,91$ кэВ/мкм, при этом предполагается, что (dN_p/dR) имеет размерность разрыв/мкм, а dE/dR - кэВ/мкм. Результаты расчета представлены на рис. 1. Заметим, что если аппроксимировать функцию $f(dE/dR)$ выражением /5/, то получаются следующие значения параметров: $b = 2$ зерна/мкм; $k = 0,76$ зерна/мкм; $a = 0,78$ кэВ/мкм. Исследованная эмульсия К-400 по своим сенситометрическим характеристикам находится между эмульсиями П-Р₁ и П-9_ч, для которых в работе^{/15/} получены соответственно значения параметров: $b = 3,2$ и $2,5$; $k = 0,70$ и $0,95$; $a = 0,2$ и $2,0$.

В работе^{/15/} вводится определение чувствительности эмульсии как функции минимальных линейных потерь энергии $(\Delta E/\Delta R)_{\min}$, при которых создается след, различимый на фоне вуали, т.е. плотность зерен в следе

подчиняется следующему неравенству: $\Delta N/\Delta R \geq 0,08 \sqrt{N_\phi}$,

где $\frac{\Delta N}{\Delta R}$ - плотность зерен в треке в единицах число

зерен/микрон, N_ϕ - число зерен фона в 1000 мкм³ эмульсии. Согласно данным^{/16/} содержание зерен фона в эмульсии типа "К" составляет $N_\phi = 3$. Поэтому чувствительность исследованной эмульсии составляет, по-видимому, ~ 1 кэВ/мкм, что соответствует энергии протонов 250 МэВ.

Авторы выражают глубокую благодарность О.В.Савченко и Г.П.Решетникову за предоставление возможности провести облучение эмульсий на пучке протонов, В.М.Сидорову - за ряд полезных замечаний.

Литература

1. Л.С.Золин, В.Н.Лебедев, М.И.Салацкая. АЭ, 13, вып. 5, 467 /1962/.
2. J.Cheka. Nucleonics, 12, 6, 40 /1954/.
3. В.Е.Алейников, В.А.Архипов, В.Ф.Виноградов, М.М.Комочков, Ю.В.Мокров, М.И.Салацкая, А.П.Череватенко. ОИЯИ, Р16-6790, Дубна, 1972.
4. В.Т.Головачик, Г.И.Крупный, В.Н.Лебедев. Препринт ИФВЭ, ОРЗ 69-114, Серпухов, 1969.
5. М.М.Комочков, М.И.Салацкая. ОИЯИ, Р16-8175, Дубна, 1974.
6. Л.Р.Кимель, М.М.Комочков, В.П.Сидорин, Б.С.Сычев, Е.П.Череватенко. ОИЯИ, Р9-3402, Дубна, 1967.
7. В.Н.Лебедев, Л.С.Золин, М.И.Салацкая. ОИЯИ, Р-2177, Дубна, 1965.
8. Б.В.Манько, А.Я.Серов, Б.С.Сычев. Труды Радиотехнического ин-та АН СССР "Ускорители заряженных частиц", №14, стр. 163, Москва, 1973.
9. М.М.Комочков, Б.С.Сычев. Сборник докладов Совещания по дозиметрии и физике защиты на ускорителях. ОИЯИ, 16-4888, стр. 15, Дубна, 1970.
10. V.E.Aleinikov, M.M.Komochkov, V.I.Tsouboon. Int. Congress on Protection Against Accelerator and Space Radiation. Proc., vol. 1, CERN 71/16, p. 282, Geneva, 1971.

11. Б.В.Манько, Б.С.Сычев. Труды Радиотехнического института АН СССР "Ускорители заряженных частиц", №20, стр. 147, Москва, 1974.
12. Е.К.Гельфанд, Б.В.Манько, А.Я.Серов, Б.С.Сычев. Труды Радиотехнического института АН СССР "Техника ускорителей", №22, стр. 242, Москва, 1975.
13. В.П.Джелепов и др. ОИЯИ, 9035, Дубна, 1975.
14. W.Galbraith, W.S.C.Williams. High Energy and Nuclear Physics Data Handbook, The National Institute for Research in Nuclear Science, RHEL, Chilton, 1963.
15. Н.А.Перфилов, Е.И.Прокофьева, Н.Р.Новикова, О.В.Ложкин, В.Ф.Даровских, Г.Ф.Денисенко. Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии, 5, вып. 4, 262 /1960/.
16. К.С.Богомоллов, А.А.Сиротинская, М.Ю.Дебердеев, В.М.Уварова. Труды НИКФИ, вып. 11/21/, стр. 58, Москва, 1957.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 октября 1976 года.