

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4606/2-80

22/9-80

P16-80-453

В.Е.Алейников, А.В.Солодилов, Г.Н.Тимошенко,
Г.Хан

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЧЕТЧИКА
С ПЛАСТИЧЕСКИМ СЦИНТИЛЛЯТОРОМ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ
И ФЛЮЕНСА НЕЙТРОНОВ
С ЭНЕРГИЕЙ ОТ 10 ДО 300 МэВ

Направлено в журнал "Kernenergie"

1980

Алейников В.Е. и др.

P16-80-453

Использование счетчика с пластическим сцинтиллятором для определения эквивалентной дозы и флюенса нейтронов с энергией от 10 до 300 МэВ

Описан прототип сцинтилляционного счетчика нейтронов в диапазоне энергий от 10 до 300 МэВ, предназначенного для измерения эквивалентной дозы и потока нейтронов в полях излучения за защитой ускорителей протонов на высокие энергии.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Alejnikov V.E. et al.

P16-80-453

Study on the Counter with a Plastic Scintillator to Determine Equivalent Dose and Neutron Fluence within 10-300 MeV Energy Range

30
fo
ra
pr

De
Re



Рис. 1. Конструкция дозиметра: 1 - детектор нейтронов; 2, 5 - световоды, 3, 6 - фотоумножители, 4 - охранный сцинтиллятор.

Исследования полей излучения за защитой ускорителей^{/1/} показали, что в таких полях величина эквивалентной дозы нейтронов определяется потоками частиц с энергией более нескольких МэВ. В практике дозиметрического контроля на ускорителях протонов эквивалентную дозу нейтронов с энергией более 20 МэВ определяют по величине флюенса адронов, измеренного с помощью активационного углеродсодержащего детектора. Этот метод обладает относительно низкой чувствительностью и методической погрешностью, связанной с зависимостью от спектров адронов коэффициента перехода от флюенса частиц к эквивалентной дозе.

Поэтому остается актуальной проблема создания чувствительного дозиметра нейтронов высокой энергии. Целью настоящей работы являлась разработка прототипа сцинтилляционного дозиметра нейтронов в диапазоне энергий от 10 до 300 МэВ, расчет его функций чувствительности и рассмотрение метода обработки информации, получаемой с его помощью.

Конструкция дозиметра представлена на рис. 1. В качестве детектора /1/ использован пластический сцинтиллятор на основе $\text{CH}_{1,105}$ диаметром и высотой 12 см, соединенный посредством световода /2/ с фотоумножителем /3/ ФЭУ-52. Сцинтиллятор упакован в дюралюминиевый кожух толщиной 2 мм. Фотоумножитель имеет магнитную защиту. Для устранения влияния заряженного компонента регистрируемого излучения, присутствующего в рассеянных полях нейтронов за защитой ускорителей на высокие энергии, предусмотрен охранный пластический сцинтиллятор /ОС/, имеющий форму стакана /4/ со стенками толщиной 1,5 см, который надвигается на сцинтиллятор дозиметра. ОС просматривается через световод /5/ фотоумножителем /6/ ФЭУ-63, работаю-

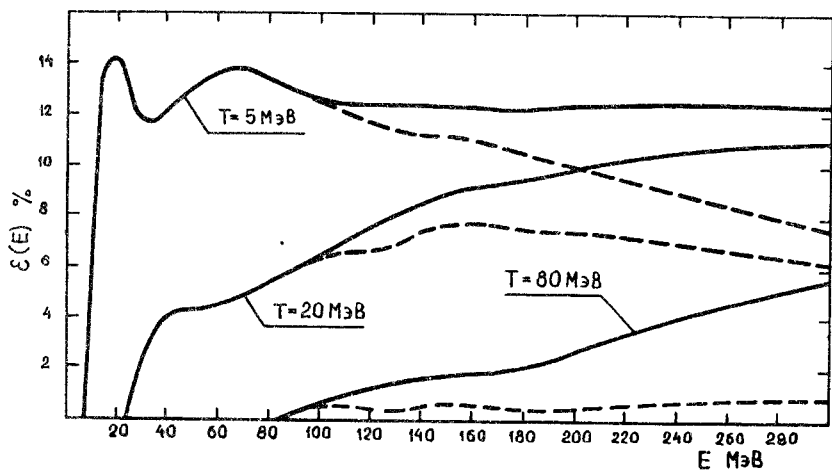


Рис.2. Расчетные эффективности детектора нейтронов при порогах $T = 5, 20, 80$ МэВ с учетом / - - - / и без учета / — / охранный сцинтиллятора.

щем в режиме антисовпадений с нейтронным счетчиком. Толщина стенок ОС выбрана таким образом, чтобы, с одной стороны, обеспечить надежный запрет регистрации слабоионизирующих частиц, а с другой - не приводит к значительному возмущению поля нейтронов во внутренней полости охранный сцинтиллятора. Режекция γ -квантов не производится, так как спектр γ -квантов, рожденных в материале защиты в результате перехода возбужденных ядер ^{28}Si и ^{16}O в основное состояние, и γ -квантов, образованных в результате n - γ реакций на тепловых нейтронах, простирается до 10 МэВ. Исключение составляют γ -кванты от распада π^0 -мезонов, однако их доля в спектре γ -квантов за защитой ускорителей протонов на средние энергии пренебрежимо мала.

Расчет зависимости эффективности пластического сцинтиллятора от энергии нейтронов $\epsilon(E)$ проводился по программе /2/. Сечения взаимодействия нейтронов с ядрами ^1H и ^{12}C взяты из работы /3/. В диапазоне энергий нейтронов 1-300 МэВ учитываются следующие реакции: $^{12}\text{C}(n, n')^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C}(n, n'+\gamma)^{12}\text{C}_{4,48}$, $^{12}\text{C}(n, \alpha)^9\text{Be}$, $^{12}\text{C}(n, n'+3\alpha)$, $^{12}\text{C}(n, p)^{12}\text{B}$, $^1\text{H}(n, n')^1\text{H}$, а также возможность последовательного протекания некоторых указанных реакций. В программе рассчитывается вероятность регистрации нейтронов, взаимодействующих с ядрами ^{12}C и ^1H сцинтиллятора по любому из приведенных выше каналов реакций, в случае превышения величины световой вспышки от вторичных заряженных частиц порога регистрации T , выраженного в эквивалентной энер-

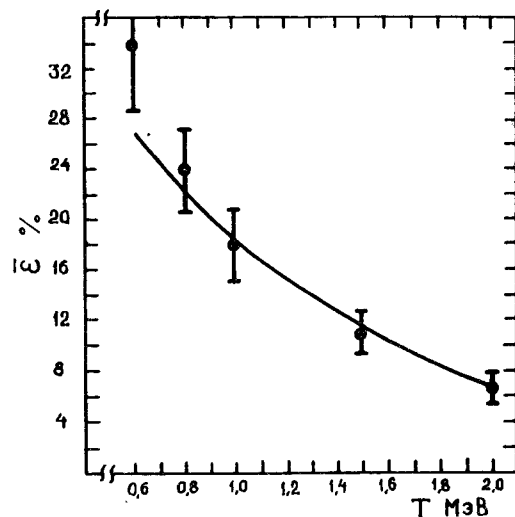


Рис.3. Зависимость усредненной по спектру Pu-Be источника эффективности нейтронного счетчика $\bar{\epsilon}$ от порога T : — - - - - расчетная эффективность, • - экспериментальные результаты.

нейтронов на $\epsilon(E)$ показали, что в зависимости от угла падения нейтронов на сцинтиллятор $\epsilon(E)$ во всем диапазоне энергий меняется в пределах $\pm 15^\circ$. Взаимодействие нейтронов с ОС будет приводить к некоторому искажению спектра нейтронов во внутренней полости ОС, однако в диапазоне энергий нейтронов от 10 до 300 МэВ эффективность взаимодействия нейтронов при данной толщине ОС не превышает 2%. Проверка корректности расчета $\epsilon(E)$ проводилась в поле излучения Pu-Be источника. Для уменьшения влияния γ -фона использовался свинцовый фильтр. Мониторинг проводился при помощи $^6\text{LiJ}(\text{Eu})$ -детектора в замедлителе диаметром 25,4 см. На рис.3 представлены расчетная эффективность дозиметра, усредненная по спектру Pu-Be источника $\bar{\epsilon}$, в зависимости от порога регистрации T и результаты эксперимента.

Чтобы показания дозиметра были близки к суммарной максимальной эквивалентной дозе H_Σ спектра нейтронов, необходимо подобрать функцию дозовой чувствительности прибора $\lambda(E)$ таким образом, чтобы

$$H_\Sigma = \int \phi(E) h_M(E) dE \approx \int \phi(E) \lambda(E) dE,$$

гии электронов. Наличие ОС приводит к искажению $\epsilon(E)$ за счет регистрации в нем протонов, образованных в сцинтилляторе дозиметра. Для учета влияния ОС на $\epsilon(E)$ программа дополнена расчетом вклада протонов из реакций $^{12}\text{C}(n, p)^{12}\text{B}$, $^1\text{H}(n, n')^1\text{H}$, регистрируемых одновременно в обоих сцинтилляторах. Подобный эффект для вторичных α -частиц не учитывался вследствие малой величины их пробега в сцинтилляторе. Некоторые расчетные эффективности использованного в дозиметре сцинтиллятора, с учетом и без учета влияния ОС, приведены на рис.2. Уменьшение $\epsilon(E)$ за счет ОС становится заметным начиная с энергии нейтронов более 100 МэВ. Оценки влияния углового распределения потока

где $\phi(E)$ - дифференциальный спектр нейтронов, $h_M(E)$ - удельная максимальная эквивалентная доза моноэнергетических нейтронов ^{4,5/}. Пусть S - площадь торца детектора нейтронов. Воспользовавшись зависимостью $\epsilon(E)$ пластического сцинтиллятора от порога регистрации, можно представить $\lambda(E)$ в виде такой линейной комбинации функций $\epsilon_j(E)$ при определенном образом выбранных порогах, что

$$\lambda(E) = \sum_j \alpha_j S \epsilon_j(E) \approx h_M(E), \quad /2/$$

тогда

$$H_\Sigma \approx \int \phi(E) \sum_j \alpha_j S \epsilon_j(E) dE = \sum_j \alpha_j \int \phi(E) S \epsilon_j(E) dE = \sum_j \alpha_j N_j. \quad /3/$$

Здесь N_j - показания дозиметра с j -порогом регистрации, α_j - постоянные коэффициенты. На рис. 4 показаны функции чувствительности дозиметра $\lambda(E)$ с охранным сцинтиллятором, полученные указанным методом и соответствующие требованиям НРБ-76 ^{4/1/} и МКРЗ ^{5/2/}. Значения соответствующих коэффициентов α_j при выбранных порогах регистрации подбирались с помощью метода наименьших квадратов и приведены в таблице. На рис. 4 приведены

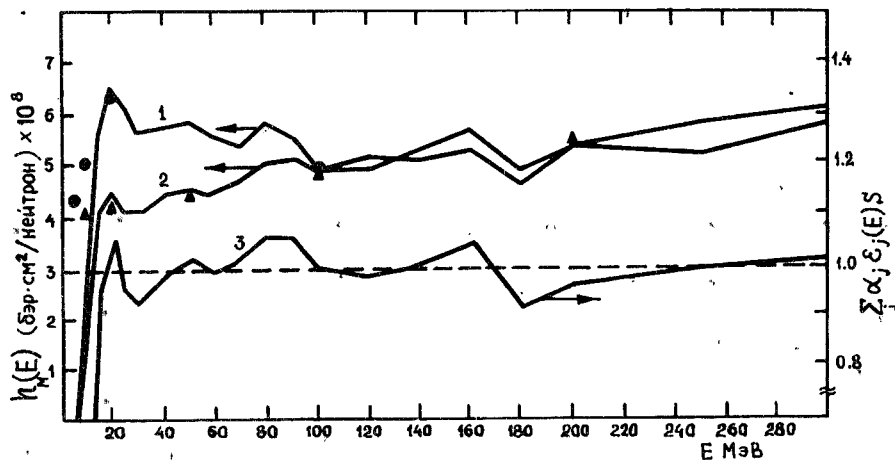


Рис. 4. Дозовые чувствительности, рассчитанные для дозиметра с охранным сцинтиллятором и соответствующие требованиям НРБ-76 ^{4/}/кривая 1/ и МКРЗ ^{5/}/кривая 2/; \bullet , \blacktriangle - значения $h_M(E)$, предписываемые НРБ-76 и МКРЗ соответственно; кривая 3 - функция чувствительности потокомера нейтронов с охранным сцинтиллятором.

Таблица

Значения коэффициентов α_j для дозиметра и потокомера нейтронов

T_j МэВ	α_j /НРБ-76/ бэр·имп ⁻¹	α_j /МКРЗ/ бэр·имп ⁻¹	α_j /потокомер/ нейтрон·имп ⁻¹ ·см ⁻²
5	$3,85 \cdot 10^{-9}$	$2,84 \cdot 10^{-9}$	$6,64 \cdot 10^{-2}$
10	$0,49 \cdot 10^{-9}$	0	0
20	0	$1,18 \cdot 10^{-9}$	$1,60 \cdot 10^{-2}$
40	$-4,82 \cdot 10^{-9}$	$-2,69 \cdot 10^{-9}$	$-6,37 \cdot 10^{-2}$
60	$33,86 \cdot 10^{-9}$	$8,64 \cdot 10^{-9}$	$15,07 \cdot 10^{-2}$
80	$-91,95 \cdot 10^{-9}$	$-13,69 \cdot 10^{-9}$	$-24,33 \cdot 10^{-2}$
90	$88,15 \cdot 10^{-9}$	0	0
100	0	$38,39 \cdot 10^{-9}$	$57,84 \cdot 10^{-2}$

также зависимости $h_M(E)$, рекомендуемые НРБ-76 и МКРЗ. Подобный метод обработки результатов измерений можно использовать и для создания потокомера нейтронов с энергией более 10 МэВ. Так, если выбрать коэффициенты α_j таким образом, чтобы $\sum_j \alpha_j S \epsilon_j(E) = 1$ во всем диапазоне энергий нейтронов, то

$$\sum_j \alpha_j N_j = \int \phi(E) dE. \quad /4/$$

Функция чувствительности потокомера с охранным сцинтиллятором, полученная с использованием тех же эффективностей, приведена на рис. 4. Дифференциальная нелинейность функции чувствительности потокомера в диапазоне от 10 до 300 МэВ составляет 8%, интегральная - 0,2%. Очевидными преимуществами определения эквивалентной дозы и флюенса нейтронов с помощью счетчика с пластическим сцинтиллятором по сравнению с углеродсодержащим активационным детектором являются высокая чувствительность и оперативность обработки полученной информации.

В заключение авторы благодарят В.А.Куликова за помощь при монтаже дозиметра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-9870, Дубна, 1976.
2. Kurz R.I. UCRL-11339, Berkeley, 1964.

3. Del Guerra A. Nucl. Instr. and Meth., 1976, 135, p.337.
4. Нормы радиационной безопасности /НРБ-76/. Атомиздат, М., 1978.
5. Radiation Protection Instrumentation and its Application. ICRU-Report, 20, 1971.

Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д1,2-8405	Труды IV Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Варна, 1974.	2 р. 05 к.
P1,2-8529	Труды Международной школы-семинара молодых ученых. Актуальные проблемы физики элементарных частиц. Сочи, 1974.	2 р. 60 к.
Д6-8846	XIV совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1975.	1 р. 90 к.
Д13-9164	Международное совещание по методике проволочных камер. Дубна, 1975.	4 р. 20 к.
Д1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
Д-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
Д9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
Д2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна 1978. /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна 1978.	5 р. 00 к.
P18-12147	Труды III совещания по использованию ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач.	2 р. 20 к.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 июля 1980 года.

Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
Р2-12462	Труды V Международного совещания по нелокальным теориям поля. Алушта, 1979.	2 р. 25 к.
Д-12831	Труды Международного симпозиума по фундаментальным проблемам теоретической и математической физики. Дубна, 1979.	4 р. 00 к.
Д-12965	Труды Международной школы молодых ученых по проблемам ускорителей заряженных частиц. Минск, 1979.	3 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1979.	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:

101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79,

издательский отдел Объединенного института ядерных исследований