

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

16-85-34

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

ПОТОКОМЕР-ДОЗИМЕТР НЕЙТРОНОВ  
ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

Направлено на 17 Симпозиум  
по физике радиационной защиты /Дрезден, 1985 г./

1985

В последние годы в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ ведутся работы по созданию нового высокочувствительного прибора, предназначенного для оперативного дозиметрического контроля на ускорителях высоких энергий, где становится заметным вклад в дозу нейтронов с энергией более 20 МэВ. Основные принципы работы потокомера-дозиметра нейтронов высокой энергии изложены в [1]. Чтобы прибор измерял максимальную эквивалентную дозу  $H_{\Sigma}$  спектра нейтронов  $\phi(E)$ , нужно, чтобы его функция дозовой чувствительности  $\lambda(E)$  была адекватна  $h_M(E)$  - удельной максимальной дозе моноэнергетических нейтронов [2]. Детекторов, обладающих подобной энергетической зависимостью чувствительности, не существует, можно говорить о той или иной степени приближения. Однако, если применить в качестве дозиметра сцинтилляционный счетчик, обладающий высокой эффективностью регистрации нейтронов и воспользоваться зависимостью этой эффективности  $\epsilon(E)$  от порога регистрации  $J$ , можно подобрать линейную комбинацию функций  $\epsilon_j(E)$  такую, что:  $\lambda(E) = \sum_j b_j \epsilon_j(E) = h_M(E)$ , где  $b_j$  - некоторые коэффициенты. Используя полученную таким образом квазичувствительность прибора  $\lambda(E)$ , определим  $H_{\Sigma}$  как:

$$H_{\Sigma} = \int \phi(E) \sum_j b_j \epsilon_j(E) dE = \sum_j b_j \int \phi(E) \epsilon_j(E) dE = \sum_j b_j N_j$$

Здесь  $N_j$  - показания счетчика с  $J$ -м порогом регистрации.

Подобный метод можно использовать и для создания потокомера нейтронов с энергией выше заданной, выбрав коэффициенты  $b_j$  таким образом, чтобы  $\sum_j b_j \epsilon_j(E) = 1$  во всем исследуемом диапазоне. Тогда  $\sum_j b_j N_j = \int \phi(E) dE$ .

В качестве детектора использовался пластический сцинтиллятор, обладающий хорошей тканезквивалентностью. Детектор выполнен в виде цилиндра диаметром 120 мм и высотой 120 мм. Запрет регистрации заряженных частиц в рассеянных полях излучения за защитой ускорителей осуществлялся с помощью охранного сцинтиллятора, имевшего форму стакана со стенками толщиной 15 мм, который просматривался вторым ФЭУ, работавшим в режиме антисовпадений с нейтронным счетчиком  $S_n$ . Блочная схема потокомера-дозиметра приведена на рис.1. Для одновременного набора информации при различных порогах и удобства градуировки в качестве регистрирующего прибора использовался многоканальный анализатор, шкала которого была калибрована в единицах эквивалентной энергии электронов /ЗЗЗ/, создающих в сцинтилляторе вспышку света той

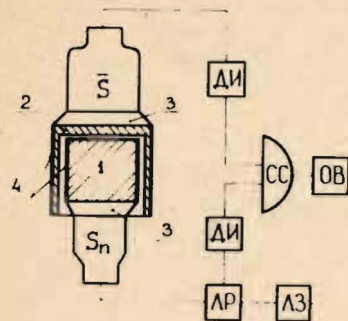


Рис.1. Блок-схема потокомера-дозиметра. 1 - детектор нейтронного счетчика  $S_n$ ; 2 - охранный сцинтиллятор счетчика антисовпадений  $\bar{S}$ ; 3 - световоды; 4 - кожухи счетчиков  $S_n$  и  $\bar{S}$ ; ДИ - интегральный дискриминатор; ЛР - линейный множитель; ЛЗ - линия задержки; СС - схема совпадений; ОВ - одновибратор; ЛВ - линейные ворота; АИ - анализатор; АТ - attenuator /отключается при калибровке/.

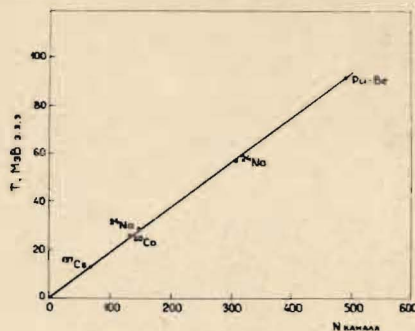
же интенсивности, что и продукты реакций в нем нейтронов высоких энергий. Режекция  $\gamma$ -квантов по форме импульсов не производилась, так как энергия  $\gamma$ -квантов, выходящая из защиты, практически не превышает нескольких МэВ /за исключением незначительного числа  $\gamma$ -квантов от распада  $\pi^0$ -мезонов/. С целью уменьшения загрузок и, соответственно, просчетов в канале запрета, организован предварительный отбор совпадений  $S_n$  и  $\bar{S}$ .

Расчет эффективностей пластического сцинтиллятора счетчика  $S_n$  в зависимости от порогов регистрации проводился по модифицированной программе [3] методом Монте-Карло. Методическая точность программы достигает 5%. Учитывалось влияние охранного сцинтиллятора на эффективность  $S_n$ , которое начинает заметно проявляться при энергиях нейтронов более 100 МэВ за счет ложных срабатываний счетчика антисовпадений  $\bar{S}$  от высокоэнергетичных протонов, рожденных в нейтронном счетчике  $S_n$  в  $n + n$  и  $n + C$  взаимодействиях. Подобный эффект наблюдался также в работе [4].

В ходе работ по созданию прибора большое внимание было уделено экспериментальной проверке корректности расчетов  $\epsilon_j(E)$  в поле нейтронов Pu-Be источника [1] и аппаратурных функций отклика прибора в поле нейтронов из реакции  $T(d, n) {}^4\text{He}$ , проведенной на генераторе Технического университета г. Дрездена [5]. Сравнения показали хорошее согласие расчетов и экспериментов.

Градуировка шкалы анализатора в единицах ЗЗЗ проводилась с помощью набора  $\gamma$ -источников /использовалась также линия с энергией 4,44 МэВ Pu-Be источника/ и прецизионного attenuатора. По результатам градуировки методом наименьших квадратов было определено соотношение между значением порога регистрации в ЗЗЗ и номером канала анализатора /см. рис.2/. Проверка работоспособности потокомера-дозиметра нейтронов в реальных полях рассеянного излучения за защитой синхрофазотрона на энергию 10 ГэВ осуществлялась путем сличения его показаний с результатами измерений плотности потока нейтронов с энергией более 20 МэВ в этих полях активационными углеродсодержащими детек-

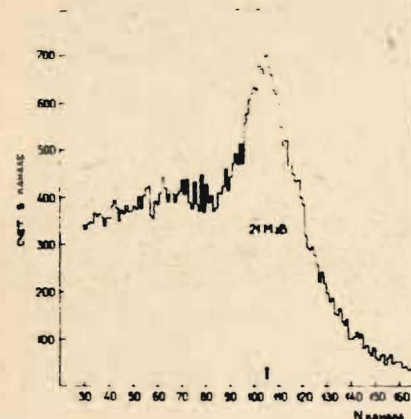
Рис. 2. Зависимость порога регистрации  $T$  от номера канала анализатора. Экспериментальные точки соответствуют значениям  $T = E_{\gamma} \cdot K_{AT}$ , где  $K_{AT}$  - коэффициент ослабления attenuатора.



торами. Измерения проводились за бетонными защитами толщиной  $2300 \text{ кг/м}^2$  и  $7000 \text{ кг/м}^2$  при облучении толстой медной мишени дейтронами и  $\alpha$ -частицами с энергией  $3,65 \text{ ГэВ/нуклон}$ . Чтобы сличение было корректным, использовались коэффициенты  $b_j$ , аппроксимирующие энергетическую зависимость реакции  $^{12}\text{C}(n,2n)^{11}\text{C}$ . В первом случае излучение падало на нейтронный счетчик преимущественно сверху, под углом  $\sim 45^\circ$ , что приводит к некоторому /до  $10\%^{5/}$ / завышению показаний потокомера-дозиметра из-за не изотропности его детектора. Так, плотность потока нейтронов, измеренная углеродным детектором, составила  $4,3 \pm 0,5 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2 \cdot \text{с}$ , а показания потокомера-дозиметра -  $5,7 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2 \cdot \text{с}$ . Во втором случае излучение падало преимущественно под нормалью к боковой поверхности детектора /эффективности  $\epsilon_j(E)$  рассчитаны для данного варианта облучения/, и согласие значительно лучше ( $1,12 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2 \cdot \text{с}$  и  $1,18 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2 \cdot \text{с}$ ).

С точки зрения практического использования потокомера-дозиметра большой интерес представляет определение минимальной плотности потока нейтронов, которую можно достоверно измерить. Поскольку минимальный порог потокомера-дозиметра выбран нами равным  $20 \text{ МэВ ЭЭЭ}$ , то собственного фона прибор практически не имеет, и в отсутствие излучений ядерно-физических установок реакция его обусловлена космическим излучением. В этом случае минимально измеряемая плотность потока нейтронов определяется неэффективностью запрета заряженных частиц /главным образом мюонов/ космического происхождения охранным сцинтиллятором. Для оценки нижней границы применимости прибора были проведены измерения в низкофоновом домике с верхним перекрытием толщиной  $2000 \pm 2500 \text{ кг/м}^2$  и стальными стенками толщиной  $1300 \text{ кг/м}^2$ , находящемся на первом этаже здания /толщина потолочных перекрытий  $\sim 500 \text{ кг/м}^2$ /. Измерения проводились в перерыве между сеансами работы ядерно-физических установок ОИЯИ. Поток заряженных частиц измерялся путем набора аппаратурного спектра событий  $S_n$ , совпадающих с событиями  $S$  /см. рис. 3/. В спектре отчетливо проявляется максимум от вертикально падающих мюонов, положение которого соответствует энерговыведению в сцинтилляторе  $\sim 21 \text{ МэВ}$ . Знание неэффективности запрета, измеренной в отдельном экспери-

Рис. 3. Аппаратурный спектр событий  $S_n$ , совпадающих с событиями  $S$ , набранный при измерении флюенса заряженного компонента космического излучения.



менте, и потока заряженных частиц позволило определить, что  $\sim 40\%$  отсчетов прибора с амплитудой, превышающей минимальный порог  $20 \text{ МэВ ЭЭЭ}$  при наборе информации в низкофоновом домике, обусловлено остаточной регистрацией заряженных частиц космического

происхождения. Следует отметить, что вследствие большой проникающей способности мюонного компонента его ослабление в защите низкофонового домика существенно меньше, чем нейтронного компонента, что хорошо проявилось при сравнении с аналогичными измерениями, выполненными вне здания в открытой геометрии. За минимальное значение измеряемой величины принята величина, равная удвоенному значению фона /в нашем случае число остаточных событий регистрации  $S_n$  внешних заряженных частиц/ и реально нижняя граница применимости прибора составляет около  $3 \div 4 \text{ н/м}^2 \cdot \text{с}$ . Измерения вне здания дали значение плотности потока нейтронов космического происхождения  $\sim 70 \text{ н/м}^2 \cdot \text{с}$ , причем полученный результат несколько завышен из-за регистрации нейтронным счетчиком также и  $\gamma$ -квантов космических ливней с энергией более  $20 \text{ МэВ}$ . Плотность потока заряженных частиц вне здания составила  $\sim 170 \text{ част./м}^2 \cdot \text{с}$ .

Верхняя граница применимости потокомера-дозиметра определяется просчетами электронной аппаратуры, и в случае стационарного поля излучения равняется примерно  $2 \cdot 10^7 \text{ н/м}^2 \cdot \text{с}$  для данной конструкции прибора.

Проверка стабильности прибора в течение  $10 \text{ ч}$  непрерывной работы и воспроизводимости результатов в ходе нескольких измерений показала, что колебания коэффициента преобразования приводят к изменениям показаний прибора, не превышающим  $4 \div 5\%$ , что вполне приемлемо.

Разработанный потокомер-дозиметр нейтронов, обладающий весьма высокой чувствительностью, позволит решить ряд задач, связанных с исследованием влияния ускорителей как источников излучения, на окружающую среду, и с уточнением границ радиационных зон на их территориях. В настоящее время ведется дальнейшее совершенствование потокомера-дозиметра в части замены цилиндрического детектора на изотропный сферический, обеспечения  $4\pi$ -геометрии запрета заряженных частиц охранным сцинтиллятором, снижения габаритов, веса и повышения мобильности прибора.

В заключение авторы благодарят В.П.Бамблевского, В.А.Куликова, А.Н.Резуника, А.Д.Никитина, В.Г.Жбанкова за помощь при проведении экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-80-453, Дубна, 1980.
2. Нормы радиационной безопасности /НРБ-76/. Атомиздат, М., 1978.
3. Stanton N. С00-1545-92, 1971.
4. Бажков Ю.Д. и др. ПТЭ, 1982, №3, с.25.
5. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, 16-82-419, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 января 1985 года.

Алейников В.Е., Солодилов А.В., Тимошенко Г.Н. 16-85-34  
Потокомер-дозиметр нейтронов высокой энергии

Описан новый высокочувствительный прибор, предназначенный для измерения плотности потока и эквивалентной дозы нейтронов с энергией более 20 МэВ на высокоэнергетичных ускорителях. Приведены результаты сличения показаний прибора с данными, полученными с помощью активационных детекторов в реальных полях за сплошной защитой синхрофазотрона на энергию 10 ГэВ и некоторые метрологические характеристики. Нижний предел чувствительности прибора, определенный по результатам измерений плотности потока нейтронов космического происхождения, составляет около  $3 \text{ н/м}^2 \cdot \text{с}$ .

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Alejnikov V.E., Solodilov A.V., Timoshenko G.N. 16-85-34  
Flux Density and Dose Equivalent Rate  
of High Energy Neutron Meter

A new high-sensitive device for measuring flux density and dose equivalent rate of neutron with energy range above 20 MeV around high-energy accelerators is described. The results of comparison of device readings and activation detectors data in real field behind the 10 GeV synchrotron whole shielding and some metrological characteristics of this device are presented. The low limit of device sensitivity, determined from cosmic neutron flux density measurements, is going to be about  $3 \text{ n/m}^2 \cdot \text{s}$ .

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1985