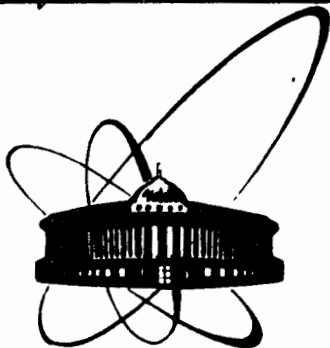


4525/82



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

16-82-444

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЧЕТЧИКА  
С ПЛАСТИЧЕСКИМ СЦИНТИЛЛЯТОРОМ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРОВ НЕЙТРОНОВ  
ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

Направлено в журнал "Атомная энергия"

1982

Методы измерения энергетических распределений нейтронов, применяемые в настоящее время для решения задач дозиметрии и физики защиты на ускорителях высоких энергий, имеют либо низкую чувствительность /пороговые детекторы<sup>/1/</sup> /, либо слабую информативность в области высоких энергий /спектрометр Боннера<sup>/2-4/</sup> /, либо предусматривают известное направление нейтронов<sup>/5/</sup>. Ниже предлагается метод измерения энергетических спектров нейтронов в диапазоне энергий от 15 до 500 МэВ, лишенный в значительной мере отмеченных недостатков.

Расчет эффективности регистрации сцинтилляционным детектором  $S_n$  нейтронов в диапазоне энергий 5÷500 МэВ при различных энергетических порогах регистрации  $T$  в единицах энергии электронов осуществлялся методом Монте-Карло по программе STANTON<sup>/4/</sup> и описан в работах<sup>/8-10/</sup>. Предлагается использовать в качестве детектора нейтронов  $S_n$  пластический сцинтиллятор на основе полистирола диаметром 120 мм и высотой 120 мм. Детектор нейтронов<sup>/11/</sup> окружен охранным сцинтиллятором  $\bar{S}$  в виде стакана, просматриваемым другим ФЭУ, включенным на антисовпадения со счетчиком  $S_n$  для запрета регистрации заряженного компонента поля излучения. Процесс измерения сводится к набору аппаратного спектра событий вида  $S_n + \bar{S}$  на анализаторе, шкала которого градуирована в единицах энергий электронов. Метод измерения спектров нейтронов основан на регистрации показаний счетчика при различных энергетических порогах регистрации  $T$ . Под показаниями нейтронного счетчика понимаются величины вида

$$N(T_i) = \sum_{j \geq \ell_i} n_j,$$

где  $n_j$  - счет в  $j$ -м канале анализатора;  $\ell_i$  - номер канала анализатора, соответствующий порогу  $T_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ). Спектр нейтронов  $\Phi(E)$  можно определить, решив интегральное уравнение Фредгольма 1-го рода:

$$N(T_i) + \delta N(T_i) = \int_0^{E_{\max}} \epsilon(E, T_i) \cdot \Phi(E) dE, \quad /1/$$

здесь  $\delta N(T_i)$  - погрешность измерения  $N(T_i)$ ;  $\epsilon(E, T_i)$  - энергетическая зависимость эффективности регистрации нейтронов счетчиком  $S_n$  с порогом  $T_i$ ;  $E_{\max}$  - максимальная энергия нейтронов.

Уравнение /1/ решается численно на ЭВМ с использованием, например, метода статистической регуляризации<sup>/12/</sup>.

Для проверки возможностей данного метода были восстановлены несколько качественно различающихся спектров. Процедура восста-

Объединенный институт

новления состояла в следующем. Выбранный тестовый спектр  $\Phi_t(E)$  задавался аналитически и вычислялись значения

$$N_t(T_i) = \int_0^{E_{\max}} \epsilon(E, T_i) \cdot \Phi_t(E) dE. \quad /2/$$

Затем уравнение /1/ решалось относительно  $\Phi(E)$  при

$$N(T_i) = N_t(T_i).$$

Величины  $\delta N(T_i)/N(T_i)$  принимались равными 0,05; 0,10; 0,15. На рис. 1а, 2а, 3а приведены результаты восстановления тестовых спектров вида

$$\Phi_t(E) = \{1 + C_1 \cdot \exp[-(\frac{E - C_2}{E \cdot C_3})^2]\} \cdot E^{-1}, \quad /3/$$

где  $C_1 = 0,7$ ;  $C_2 = 70,210$ ;  $C_3 = 0,8$ .

Для проверки устойчивости решения было проведено восстановление тех же спектров со значениями  $\tilde{N}_t(T_i)$  и  $\delta \tilde{N}_t(T_i)$ , которые определялись на основе рекуррентного соотношения, моделирующего корреляцию между различными  $N(T_i)$ . Корреляция  $N(T_i)$  обусловлена способом определения  $N(T_i)$  по аппаратному спектру анализатора:

$$\tilde{N}_t(T_m) = N_t(T_m) + \rho_m \cdot g \cdot N_t(T_m),$$

$$\tilde{N}_t(T_i) = \tilde{N}_t(T_{i+1}) + N_t(T_i) - N_t(T_{i+1}) + \rho_i \cdot g \cdot [N_t(T_i) - N_t(T_{i+1})],$$

$$\delta \tilde{N}_t(T_m) = g \cdot \tilde{N}_t(T_m),$$

$$\delta \tilde{N}_t(T_i) = \sqrt{\delta^2 \tilde{N}_t(T_{i+1}) + g^2 \cdot [N_t(T_i) - N_t(T_{i+1})]^2},$$

$$i = m-1, m-2 \dots 2, 1,$$

где  $\rho_i$  - значения случайной величины, распределенной по нормальному закону с нулевым средним и единичной дисперсией, причем  $|\rho_i| \leq 1$ ;  $g = 0,05$ ;  $0,10$ ;  $0,15$ . Результаты приведены на рис. 1б, 2б, 3б. Сравнение тестовых и восстановленных спектров показывает, что, как правило, в пределах неопределенности восстановления вычисленные спектры правильно описывают заданные тестовые спектры. Это дает основание считать, что предлагаемый метод можно использовать для спектрометрии нейтронов в рассеянных полях излучения в диапазоне энергий нейтронов от 15 до 500 МэВ. Верхняя граница диапазона энергий обусловлена некорректностью расчета эффективности нейтронного детектора в области энергий нейтронов выше порога мезообразования и характером поведения функций чувствительности в вы-

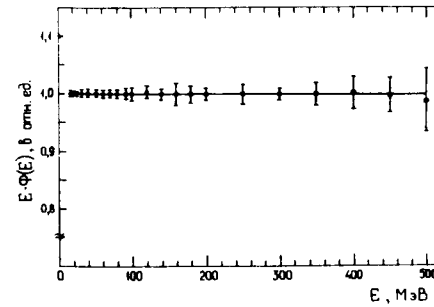


Рис. 1а

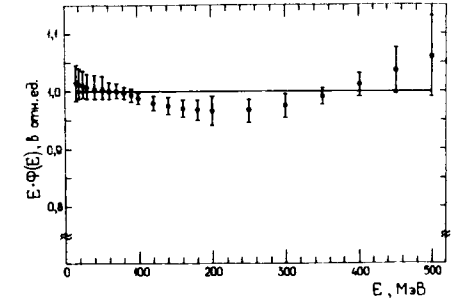


Рис. 1б

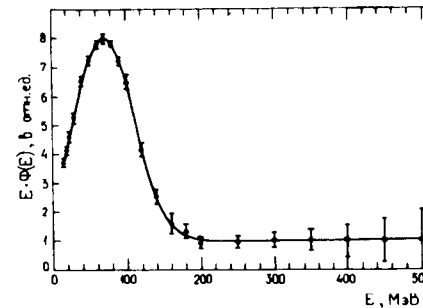


Рис. 2а

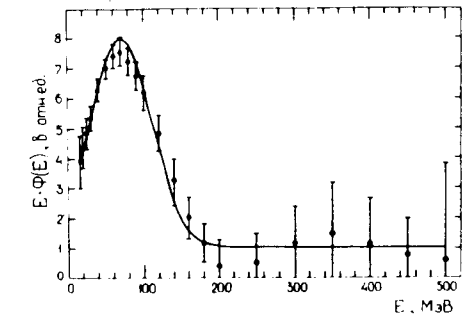


Рис. 2б

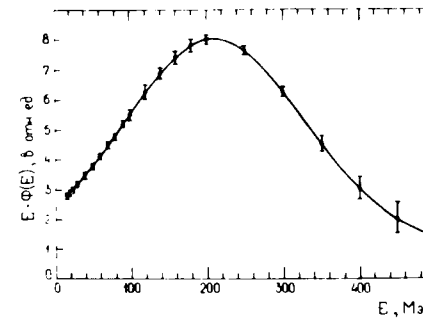


Рис. 3а

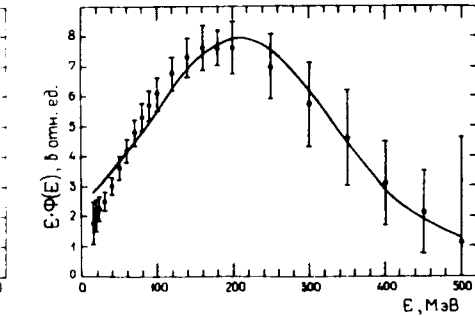


Рис. 3б

Рис. 1-3. Результаты восстановления тестовых спектров нейтронов, заданных функцией /3/: 1/ $C_1 = 0$ ; 2/ $C_1 = 7$ ;  $C_2 = 70$ ; 3/ $C_1 = 7$ ;  $C_2 = 210$ ; а/  $\delta N(T_i)/N(T_i) = 0,15$ , б/  $\delta N(T_i)/N(T_i) = 0,15$ , показания счетчика с учетом корреляции  $N(T_i)$ ,  $g = 0,15$ .

сокоэнергетической области. Для энергий нейтронов менее 500 МэВ вклад  $\pi$ -мезонов, образованных в сцинтилляторе, в эффективность детектора нейтронов не превышает, по оценкам, 5%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-81-102, Дубна, 1981.
2. Bramlett R.L. Nucl.Instr. and Meth., 1960, 9, p.1.
3. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-8176, Дубна, 1974.
4. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-9870, Дубна, 1976.
5. O'Brien K., McLaughlin I.E. Nucl.Instr. and Meth., 1965, 32, p.63.
6. Stanton N.R. C00-1545-92, 1971.
7. Edelstein R.M. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1972, 100, p.355.
8. Hermsdorf D. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1973, 107, p.259.
9. De Leo R. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1974, 119, p.559.
10. McNaughton M.N. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1974, 116, p.25.
11. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-80-453, Дубна, 1980.
12. Туровцева Л.С. и др. Препринт ИПМ №30, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 июня 1982 года.

Алейников В.Е. и др. 16-82-444  
Использование счетчика с пластическим сцинтиллятором  
для измерения спектров нейтронов высокой энергии

Исследована возможность измерения спектров нейтронов с энергией 15÷500 МэВ в рассеянных полях за защитой ускорителя с помощью сцинтилляционного счетчика с охраным сцинтиллятором. Сущность метода состоит в использовании зависимости эффективности нейтронного счетчика от порога регистрации нейтронов. Для восстановления спектров нейтронов используется метод статистической регуляризации.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Alejnikov V.E. et al. 16-82-444  
The Use of the Counter with Plastic Scintillator  
for the High-Energy Neutron Spectra Measurements

The possibility of the neutron energy spectra measuring in 15-500 MeV energy range in unidirectional fields behind the accelerator shielding with the help of a scintillation counter is analysed. The essence of this method consists in using the neutron detector efficiency dependence on the threshold setting. The method of statistical regularization has been employed for the unfolding of the neutron energy spectra.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.