

МНОГОШАРОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ ДО 200 МЭВ

Г. М. Ванина, В. Н. Гольцев, К. П. Коньков,  
С. Ф. Рослик

УДК 539.1.074.8

Представлен метод измерения энергетического спектра нейтронов до 200 мэв с помощью счетчика СММ-13, помещаемого в центр восьми замедлителей из парафина диаметрами от 5,1 до 30,5 см. Спектры нейтронов  $Pu-\alpha-Be$  источника и фотонейтронов, восстановленные методом итераций, хорошо согласуются с имеющимися данными.

Наиболее проникающей компонентой радиационного поля ускорителей высоких энергий, вплоть до 30 гэв, является высокоэнергетическая нейтронная компонента /1/. В этой связи возникает ряд задач дозиметрии и защиты: определение мощности эквивалентной дозы, чувствительности нейтронных детекторов, дозовых спектров нейтронов, изучение прохождения нейтронов через защитные материалы. Для решения этих задач необходимо изменять спектры нейтронов, так как трудно учесть при расчете особенности формирования действующих спектров нейтронов.

Метод измерения спектра нейтронов должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) Нечувствительность к другим видам излучений.
- 2) Высокая эффективность регистрации нейтронов на уровне предельно-допустимых потоков в широком диапазоне энергий.
- 3) Изотропия регистрации.

Желательны также дешевизна и простота изготовления оборудования и оперативное получение результатов измерений.

Одним из таких методов является метод с использованием детектора медленных нейтронов, помещаемого в центр шаровых замедлителей различных диаметров (счетчик Боннера /2/). Рядом авторов чувствительности счетчика Боннера с замедлителями из полиэтилена были измерены с кристаллом  $\text{LiJ}(\text{Eu})/2,5,6/$  и спинтиллятором на основе светосоостава  $\text{T} - \text{I} /7,8/$ . В работах /2,9/ чувствительности получены расчетным путем. Применение кристалла  $\text{LiJ}(\text{Eu})$ , как показано в работе /6/, приводит к ошибкам из-за его чувствительности к гамма-излучению.

Нами был изготовлен прибор, состоящий из счетчика медленных нейтронов СМ-13, помещаемого в центр шаровых замедлителей из парафина, и пересчетного прибора, измерявшего скорость счета с данным замедлителем. Счетчик СМ-13 позволяет регистрировать медленные нейтроны на сильном фоне гамма-излучения (не более 3000 р/час). Катод счетчика покрыт аморфным бором, содержащим 18,8% изотопа  $\text{B}^{10}$ . Выбор парафина обусловлен более простым изготовлением шаровых замедлителей, чем из полиэтилена. Число и диаметры использованных замедлителей приведены в таблице I.

Таблица I

Диаметры использованных парафиновых замедлителей

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Д, см	5,08	7,62	12,7	17,8	20,3	25,4	30,5	45,7

Чувствительности такого счетчика Боннера были взяты из работы /10/. Основанием для этого послужило то, что во-первых парафин и полиэтилен близки по своим замедляющим характеристикам и во-вторых то, что ход сечений реакций  ${}^6\text{Li}_3(n, \alpha)$  и  ${}^{10}\text{B}_5(n, \alpha)$  в области тепловых энергий одинаков и следует закону  $1/v$ .

Результаты измерений скоростей счета детекторов связаны со спектром нейтронов системой интегральных уравнений Фредгольма первого рода

$$N_1 = \int_{E_{th}}^{E_{max}} A_1(E) \Phi(E) dE \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Здесь  $N_1$  - измеренное значение скорости счета  $i$ -того шарового детектора, маш сек<sup>-1</sup>;  $A_1(E)$  - чувствительность к нейтронам энергии  $E$   $i$ -того шарового детектора,  $\Phi(E)$  - дифференциальный энергетический спектр нейтронов, н см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup> эв<sup>-1</sup>;  $n$  - число детекторов (в нашем случае  $n = 8$ ). Требуется по экспериментально измеренным  $N_1$  восстановить спектр нейтронов  $\Phi(E)$ .

Восстановление спектра из системы уравнений (1) сталкивается в основном с трудностями, связанными с энергетическим ходом чувствительностей  $A_1(E)$ . В настоящее время используются четыре метода приближенного решения этой системы уравнений для данной задачи: метод итераций с разложением по полиномам Лагерра /4, 10/, метод Монте-Карло /3/, метод аппроксимации спектра набором функций /11/ и метод представления спектра нейтронов линейной комбинацией чувствительностей сфер /8/.

Для восстановления спектра в данной работе использовался итерационный метод Голда, описанный в /10/, для которого была составлена программа в кодах трехадресной ЭВМ М220.

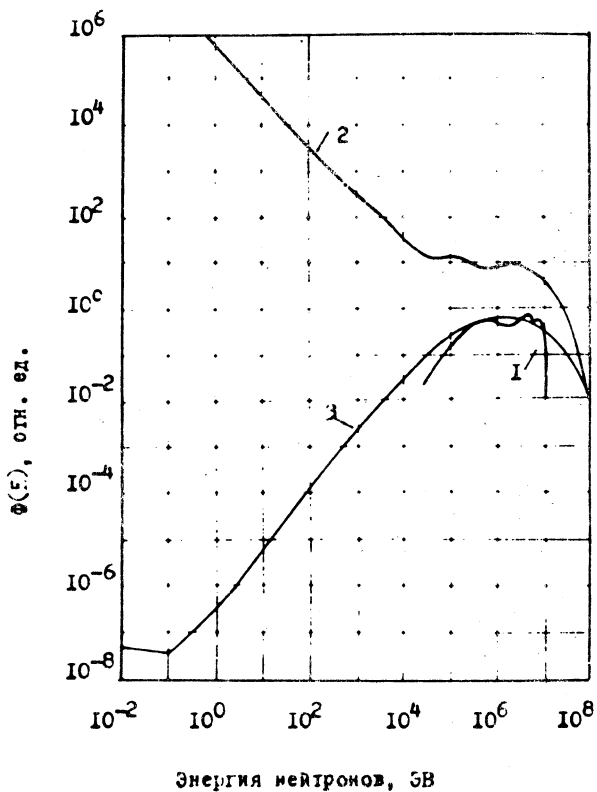
Калибровка многошарового спектрометра проводилась по спектру Pu- $\alpha$ -Be источника. Фон рассеянных нейтронов учитывался путем измерений с конической защитой.

Результаты калибровки связаны со спектром нейтронов соотношением

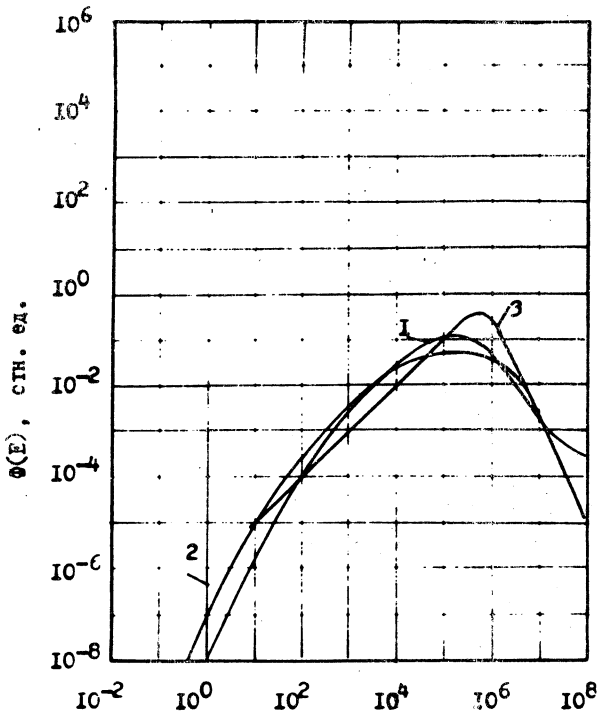
$$N_1 = \int_{0,025}^{11 \cdot 10^6} K_1 A_1(E) \Phi(E) dE, \quad i = 1, 2, \dots, 8, \quad (2)$$

где  $K_1$  учитывают отклонения чувствительностей парафиновых сфер со счетчиком СММ-13 от полиэтиленовых с кристаллом LiJ(2u). В результате калибровки получено, что  $K_1$  достаточно близки друг к другу, и среднее значение  $K_1$  равно 0,40.

На рис. 1 сравниваются восстановленный описанным методом спектр "прямого" потока нейтронов (кривая 3) и спектр Pu- $\alpha$ -Be источника (кривая 1,) из работы /12/. Видно, что получено неплохое согласие спектров. Проверка устойчивости решения, проведенная путем случайных измерений  $N_1$ , показывает, что спектры



Р и с. 1. 1 - Спектр Ри-а-Ве источника /12/; 2 - Восстановленный спектр "полного" потока нейтронов; 3 - восстановленный спектр "прямого" потока нейтронов.



Энергия нейтронов, эВ

Р и с. 2. Спектры фотонейтронов. 1 - Спектр фотонейтронов, соответствующий тормозному излучению 320 мэв; 2 - то же при 650 мэв, 3- $\phi(E) = A E \exp(-1,25E) / I3/$ .

восстанавливается достаточно устойчиво при изменении  $N_1$  в пределах статистических ошибок.

Для оценки радиационной обстановки на электронном синхротроне С-60 ФИАН проводились измерения спектра фотонейтронов от свинцового коллизатора, облучаемого тормозным излучением. Измерения выполнены при энергиях ускоренных электронов 320 мэв и 650 мэв. Фон рассеянных нейтронов учитывался путем измерений с тековой защитой. Восстановленные спектры приведены на рис. 2 (кривые 1 и 2). Там же приведена зависимость

$$\Phi(E) = A E^{-1,25E}, \quad (3)$$

которая описывает спектр фотонейтронов /13/. Видно, что спектры фотонейтронов при энергиях ускоренных электронов 320 и 650 мэв достаточно близки. Смещение максимумов спектров влево от зависимости (3) можно объяснить замедлением в свинце нейтронов, образовавшихся внутри коллизатора.

Таким образом, изготовленный прибор и примененный метод восстановления спектра нейтронов из интегральных уравнений (I) позволяет измерять спектр в широком диапазоне энергий нейтронов для целей дозиметрии и защиты.

Использование высокостабильной регистрирующей аппаратуры, уточненных функций чувствительностей детекторов и надежных методов восстановления спектра нейтронов из системы интегральных уравнений (I) позволит улучшить спектроскометрические свойства метода.

Поступила в редакцию  
12 апреля 1972 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. J. T. Routti. UCRL-18514, april, 1969.
2. R. h. Bramblett et all. Nucl. Instr. and Methods, 9, 1 (1960).
3. R. Sanna, K. O'Brien. Nucl. Instr. and Methods, 91, 573 (1971).
4. K. O'Brien. Health. Phys., 15, 535 (1968).
5. И. Ветцель и др. Сборник докладов совещания по дозиметрии и физике защиты на ускорителях. Дубна, 7-10 октября 1969 г. стр. 201.

6. V. P. Filss, P. Bass. *Nucleonik* 2, 2 (1965).
7. Л. С. Андреева и др. ПТЭ, № I, 72 (1970).
8. Л. С. Андреева и др. Труды IV научно-технической конференции по дозиметрии и радиометрии ионизирующих излучений, Раздел III. Атомиздат, Москва, 1972 г. стр. 87.
9. G. E. Hansen, H. A. Sandmeier. *Nucl. Sci. Eng.*, 22, 315 (1965).
10. G. R. Stevensen. RHEL/R154, Chilton, 1967.
11. Л. Н. Зайцев и др. Вопросы дозиметрии и защиты от излучений. Выпуск I2, МИФИ, 1971 г., стр. 47.
12. L. Stewart. *Phys. Rev.*, 98, 740 (1955).
13. L. Katz. SAL-4, June, 1963.