

8176



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ОТДЕЛ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ЭНЭ ЧИТ. ЗАЛА

P16-8176

В.Е.Алейников, В.П.Гердт, М.М.Комочков

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ НЕЙТРОНОВ
ЗА ЗАЩИТОЙ УСКОРИТЕЛЕЙ ПРОТОНОВ
НА ВЫСОКИЕ ЭНЕРГИИ

Дубна, 1974

P16-8176

В.Е.Алейников, В.П.Гердт, М.М.Комочков

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ НЕЙТРОНОВ
ЗА ЗАЩИТОЙ УСКОРИТЕЛЕЙ ПРОТОНОВ
НА ВЫСОКИЕ ЭНЕРГИИ**

Направлено на IV Всесоюзное совещание по
ускорителям заряженных частиц (Москва, 1974)

Алейников В.Е., Гердт В.П., Комочков М.М.

P16-8176

Энергетические спектры нейтронов за защитой
ускорителей протонов на высокие энергии

Метод статистической регуляризации решения некорректных задач применен для восстановления энергетических спектров нейтронов за защитой ускорителей протонов на высокие энергии. Приведены результаты восстановления спектров нейтронов за защитой синхроциклотрона на энергию протонов 660 МэВ и синхрофазотрона на энергию 10 ГэВ, полученные с использованием спектрометра Боннера.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1974

Alejnikov V.E., Gerdt V.P., Komotchkov M.M. P16-8176

Neutron Energy Spectra Outside the
Shielding of High Energy Proton Accelerators

The method of statistical regularization was applied to unfolding the spectra of neutrons which have passed through the shielding of high energy proton accelerators. Measurements of neutron energy spectra using a Bonner spectrometer outside the shielding of a 660 MeV proton synchrophasotron are presented.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1974

В работе^{/1/}, содержащей обзор современного состояния дозиметрии излучений вблизи ускорителей протонов на высокие энергии, подчеркивается ценность получения информации об энергетических спектрах нейтронов для целей дозиметрии. В этой же работе приведены спектры нейтронов, измеренные за защитой разных ускорителей. На основе феноменологического анализа этих спектров сделан вывод о том, что форма спектра нейтронов зависит от состава защиты и максимальной энергии ускоренных протонов. Установление закономерности в формировании спектров нейтронов за защитой ускорителей в зависимости от геометрии защита-источник затруднительно из-за относительно случайного выбора мест измерения спектров и сложной композиции защиты, имеющей, как правило, проемы и щели. Поэтому представляется полезным дальнейшее накопление информации о спектрах нейтронов за защитой ускорителей, особенно за гомогенной защитой, не содержащей проемов и щелей. Тем более, что возможны значительные погрешности в восстановленных спектрах, а методы восстановления спектров не позволяют корректно определить эти погрешности.

Методы восстановления спектров нейтронов основаны, как правило, на весьма специфичной априорной информации о виде искомого спектра и имеют по этой причине ограниченную область применимости. В то же время последовательное использование представлений о вероятностном характере измеряемых величин в рамках общего подхода к решению некорректных задач, развитого Тихоновым^{/2/}, привело к

так называемому методу статистической регуляризации^{/3-6/}. Общность этого метода, вытекающая из естественного характера априорных ограничений, связанных со статистической природой вводимой экспериментальной информации и гладкостью искомого решения, возможность вычисления ошибки восстановления, делают данный метод применимым к решению различных типов физических задач (см. например, /6-8/).

В данной работе метод статистической регуляризации применен для восстановления спектров нейтронов в энергетическом интервале 0,01эВ - 20 МэВ, измеренных с помощью детектора Боннера^{/9/} за защитой синхротрона и синхрофазотрона ОИЯИ. В области от 20МэВ до энергий ускоренных протонов спектр находился ранее предложенной методикой^{/10/} с использованием углеродсодержащего активационного детектора.

Ниже под спектром будем понимать величину

$$\varphi(E) = E \cdot \Phi(E), \quad (1)$$

где

E - энергия нейтронов (МэВ);

$\Phi(E)$ - дифференциальная плотность потока нейтронов

(нейтр/см²·сек·МэВ), определяемая из системы интегральных уравнений Фредгольма I-го рода следующего вида^{/10/}:

$$\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} K(E, R_i) \Phi(E) dE = N(R_i) + \epsilon(R_i). \quad (2)$$

$(i = 1, 2, \dots, m).$

Величины, фигурирующие в выражении (2), имеют следующий смысл:

R_i - диаметр $i^{\text{ле}}$ замедлителя (дюйм);

$N(R_i)$ - скорость счета детектора с $i^{\text{ле}}$ замедлителем (имп/сек);

$\epsilon(R_i)$ - погрешность в измерении скорости счета $N(R_i)$ (имп/сек);

$K(E, R_i)$ - зависимость чувствительности детектора с $i^{\text{ле}}$ замедлителем от энергии нейтронов E (имп·см²/нейтр);

E_{\min}, E_{\max} - границы энергетического интервала, на котором функции $K(E, R_i)$ принимаются отличными от нуля,

$$E_{\min} = 10^{-8} \text{ МэВ}, \quad E_{\max} = 160 \text{ МэВ}.$$

Число замедлителей ($m=5$), их диаметры ($R = 2, 3, 5, 10$ и 12 дюймов) и зависимость чувствительности от энергии выбраны теми же, что и в работе^{/10/}. Значения энергии E_j , для которых определялся спектр $\varphi_j = \varphi(E_j)$, выбирались следующим образом^{/11/}:

$$E_j = E_{\min} \cdot 10^{0.2(j-1)} \quad (j = 1, 2, \dots, 51).$$

С целью проверки применимости метода статистической регуляризации для решения уравнения (2) (программа расчета описана в /12/) были проделаны математические эксперименты по восстановлению заранее заданных спектров вида

$$\varphi_j = 1 + \frac{\alpha_1}{2\pi b_1} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{j-j_1}{b_1}\right)^2\right] + \frac{\alpha_2}{2\pi b_2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{j-j_2}{b_2}\right)^2\right]$$

с варьированием параметров $\alpha_1, b_1, j_1, \alpha_2, b_2, j_2$. Типичные результаты такого математического эксперимента приведены на рис.1.

С помощью описанного выше метода были восстановлены спектры нейтронов, измеренные за защитой синхротрона на энергию протонов 660 МэВ и синхрофазотрона на энергию протонов 10 ГэВ. Места измерения показаны на рис.2, а восстановленные спектры и спектры из работы^{/10/} приведены на рис.3. В методе статистической регуляризации о восстановленном спектре можно говорить лишь в пределах ошибки восстановления. По этой причине на рис.3 указана неопределенность полученных результатов в виде вертикально заштрихованной

области. При этом область неопределенности для энергий $E > 20$ МэВ определялась следующим образом. По крайним точкам интервала неопределенности для $E=20$ МэВ находились два спектра, методом, описанным в [10], и область между ними принималась за область неопределенности.

Полученные результаты показывают, что форма спектров нейтронов, в основном, определяется композицией защиты. Причем за сплошной защитой синхротрона (рис.2б, точка I) радиационная обстановка определяется нейтронами высокой энергии (спектр I на рис.3). В то же время за защитой с проемами (рис.2, точки 2 и 3) радиационную обстановку определяют главным образом быстрые и промежуточные нейтроны (спектры 2 и 3 на рис.3). Следует отметить, что спектр нейтронов за сплошной бетонной защитой синхротрона (спектр I на рис.3) имеет максимум при энергии нейтронов 400-500 МэВ, тогда как спектры нейтронов за защитой ускорителей протонов даже на большие энергии (см. [1] и спектр 2 на рис.3) имеют максимумы при энергиях меньших 100 МэВ. По-видимому, смещение максимума в область более низких энергий обусловлено наличием проемов и щелей в защите, являющихся источником рассеянных нейтронов.

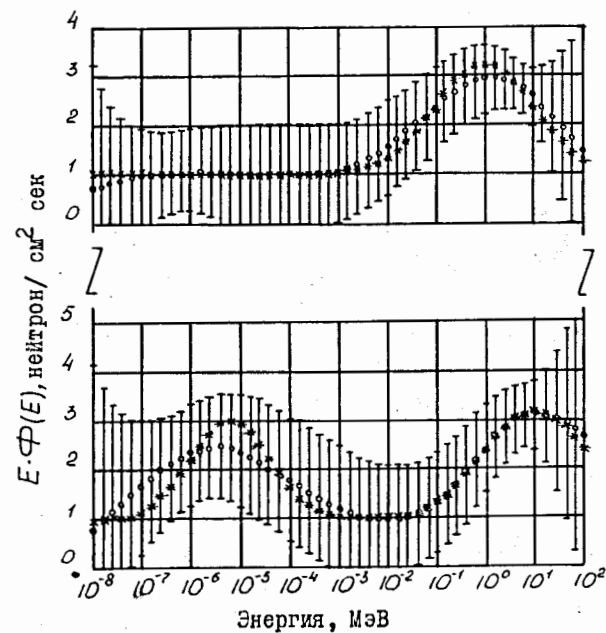


Рис.1 Результаты математического эксперимента по восстановлению заранее заданных спектров

- * - заданный спектр;
- | - восстановленный спектр.

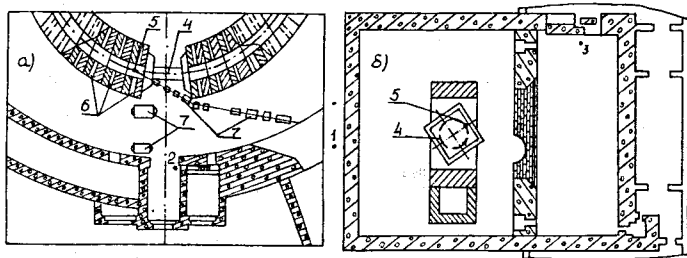


Рис.2 Геометрия измерений

а) - вблизи синхротрона; б) - вблизи синхроциклотрона; 1,2,3 - места измерений; 4 - пучок протонов; 5-мишень; 6 -"окна" в секциях магнита синхротрона; 7 -экспериментальное оборудование.

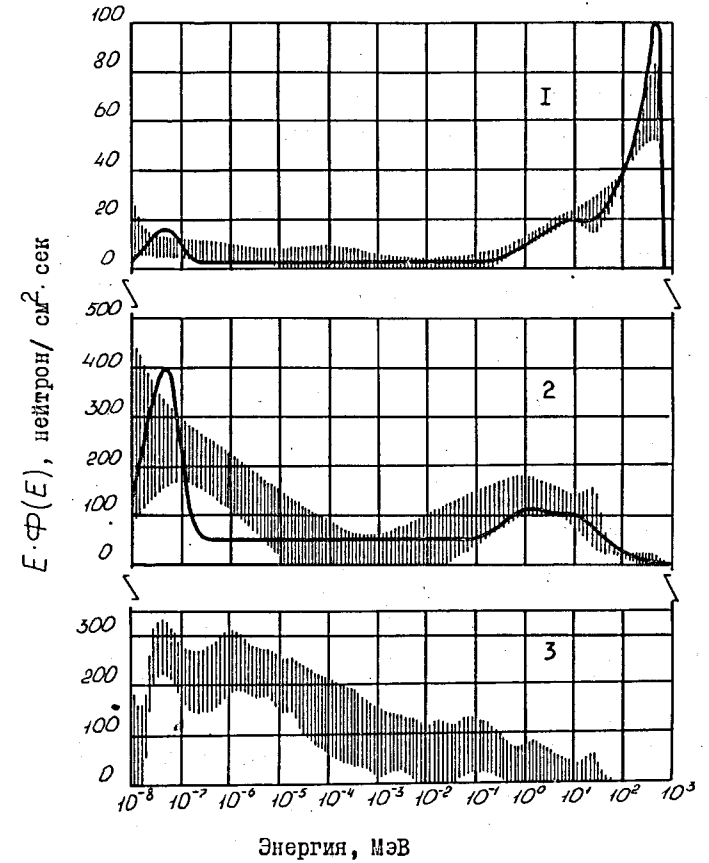


Рис.3 Спектры нейтронов за защитой синхротрона и синхроциклотрона в местах измерения 1,2,3 (см.рис.1).

■ - область неопределенности восстановленного спектра;
 - - по данным работы [10].

Литература

- I. R.H.Thomas, Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes, Vol.1, IAEA, Vienna (1973), 327.
2. А.Н.Тихонов, ДАН СССР, 151, 501 (1963).
3. В.Ф.Турчин, Ж.вычисл.матем. и матем.физ.7, 1270 (1967).
4. В.Ф.Турчин. Ж.вычисл.матем. и матем.физ. 8, 230 (1968).
5. В.Ф.Турчин, В.З.Нозик. Изв.АН СССР, сер. "Физ.атм. и океана" 5, 29 (1969).
6. В.Ф.Турчин и др. УФН, 102, 3 (1970).
7. Н.С.Ангелов и др. Сообщение ОИЯИ, PI-7546 (1973).
8. И.Е.Константинов и др. Препринт ИПМ № 54 (1973).
9. R.L.Bramblett et al., Nucl. Instr. and Meth. 2, 1 (1960).
10. В.Е.Алейников, В.П.Гердт, М.М.Комочков, Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes, Vol.1, IAEA, Vienna (1973), 31
- II. M.Awshalom, Neutron Monitoring, IAEA, Vienna (1967), 289.
12. Л.С.Туровцева, В.Ф.Турчин, Препринт ИПМ № 30 (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел
6 августа 1974 года.