

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



C349a
A-458

27/4-75
P16 - 9123

В.Е.Алейников, В.П.Бамблевский, Е.П.Череватенко

4136/2-75

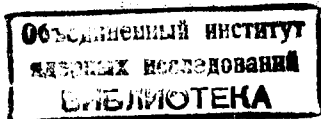
ПОЛЕ НЕЙТРОНОВ ВБЛИЗИ π -МЕЗОННОГО ПУЧКА
ДЛЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ
ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ ОИЯИ

1975

P16 - 9123

В.Е.Алейников, В.П.Бамблевский, Е.П.Череватенко

ПОЛЕ НЕЙТРОНОВ ВБЛИЗИ π -МЕЗОННОГО ПУЧКА
ДЛЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ
ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ ОИЯИ



В апреле 1974 года на синхроциклотроне на энергию 660 МэВ в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ был получен пучок отрицательных π -мезонов с энергией 30 МэВ и интенсивностью 10^7 с^{-1} при мощности дозы в пике Брэгга 3 рад/мин/1/. После выполнения радиобиологических исследований по определению относительной биологической эффективности и величины кислородного эффекта для этого π -мезонного пучка планируется начать клинические исследования с целью лечения злокачественных образований. Однако онкологический больной, облучаемый π -мезонами, одновременно будет подвергаться радиационному воздействию в поле нейтронов. С целью оценки общего облучения больного в течение курса π -мезонной терапии были выполнены исследования нейтронного поля в предполагаемом месте помещения пациента.

При выборе детекторов для измерений характеристик поля нейтронов мы исходили из следующих критериев:

- определение энергетических спектров и эквивалентных доз нейтронов в широком интервале энергий /от долей электрон-вольт до сотен мегаэлектрон-вольт/;
- выполнение измерений в интенсивном магнитном поле;
- слабая чувствительность детекторов к π -мезонам пучка.

Для измерения спектров и эквивалентных доз нейтронов использовались активационные детекторы из индия, которые помещались в центры полиэтиленовых шаровых замедлителей с диаметрами 5,08; 7,62; 12,70; 25,40 и 30,44 см. Потоки нуклонов с энергией более 20 МэВ

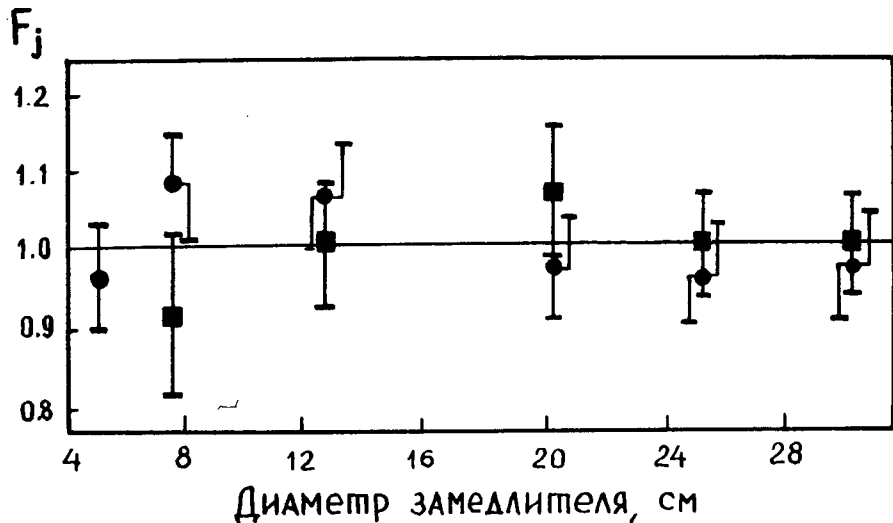


Рис. 1. Результаты измерений функции F_j для замедлителей различных диаметров: \blacksquare - в поле Pu-Be источника; \bullet - в поле за защитой синхроциклотрона.

измеряли с помощью активационного углеродсодержащего детектора. Если указанный набор детекторов поместить в поле нейтронов с энергетическим спектром $\Phi(E)$, то активности детекторов N_j и функция спектрального распределения $\Phi(E)$ должны удовлетворять системе интегральных уравнений Фредгольма первого рода:

$$\int_{E_{\min}}^{E_{\max}} K_j(E) \cdot \Phi(E) dE = N_j + \epsilon_j, \quad j = 1, 2, \dots, 6. \quad /1/$$

Здесь $K_j(E)$ - функция чувствительности j -го детектора /для углеродсодержащего детектора это нормированное сечение реакции $^{12}\text{C}(n, 2n) ^{11}\text{C}$ /; ϵ_j - погрешность в определении N_j ; E_{\min} , E_{\max} - границы энергетического интервала, на котором функции K_j отличны от нуля.

Для восстановления энергетического спектра нейтронов по измеренным активностям детекторов N_j решали систему уравнений /1/ методом статистической регуляризации /2-5/ с использованием программы восстановления энергетических спектров нейтронов по показаниям детектора $^6\text{LiI}(\text{Eu})$ в пяти шаровых замедлителях /6, 7/ с

добавлением в качестве шестого детектора углеродсодержащего. Успешное восстановление спектра во многом определяется достоверностью информации о функциях чувствительности $K_j(E)$. Эти функции хорошо изучены для детекторов $^6\text{LiI}(\text{Eu})$ в шаровых полиэтиленовых замедлителях разных диаметров /8-11/. В работе /12/ показано, что зависимость чувствительности от энергии нейтронов слабо меняется при использовании разных $1/v$ -детекторов. Мерой изменения вида функции чувствительности после замены детектора $^6\text{LiI}(\text{Eu})$ на индиевый может служить отклонение от единицы величины F_j при изменении диаметра замедлителя и в полях нейтронов с разными энергетическими спектрами.

Величина F_j определяется следующим образом:

$$F_j = n \frac{N_j^{(1)} / N_j^{(2)}}{\sum_{j=1}^n N_j^{(1)} / N_j^{(2)}}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad /2/$$

где $N_j^{(1)}$ - показания детектора $^6\text{LiI}(\text{Eu})$ в j -ом замедлителе в поле нейтронов; $N_j^{(2)}$ - активность индиевого детектора, облученного в j -ом замедлителе в том же поле нейтронов; n - количество замедлителей.

Величина F_j была измерена в поле нейтронов Pu-Be источника и в поле нейтронов за защитой синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем. Для учета вклада в активацию резонанса при энергии 1,46 эВ в сечении реакции $^{115}\text{In}(n, \gamma) ^{116\text{m}}\text{In}$ детекторы из индия в замедлителях облучались дважды: в чехле из кадмия толщиной 1,2 мм и без него. Вклад в активность от резонансных нейтронов изменялся от 2-3% для замедлителя диаметром 30,44 см до 10-15% для замедлителя диаметром 5,08 см. На рис. 1 приведены измеренные величины F_j . В пределах погрешностей измерения величина F_j близка к единице. Поэтому при восстановлении спектров нейтронов по активации индиевых детекторов в шаровых

полиэтиленовых замедлителях использовались энергетические зависимости $K_j(E)$ для детектора $^6\text{LiI}(\text{Eu})$ с теми же замедлителями. Абсолютные значения чувствительностей

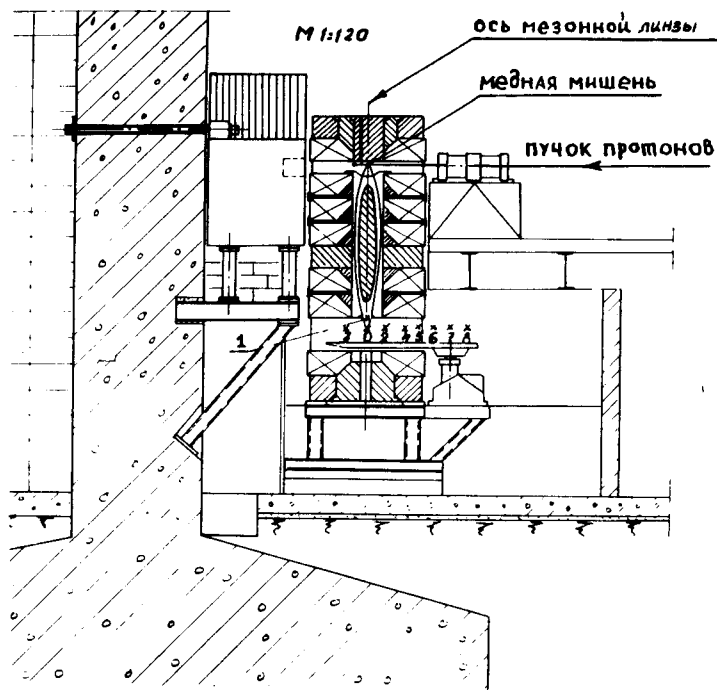


Рис. 2. Геометрия эксперимента. Крестиками обозначены точки детектирования. Точки "1" и "0" расположены на оси π -мезонной линзы; "1" - на уровне верхней плоскости рабочего зазора; "0", "2" - "8" - на уровне фокальной плоскости линзы. Точка "2" отстоит от оси линзы на 41 см; "3" - на 38 см; "4" - на 69 см; "5" - на 105 см; "6" - на 130 см; "7" - на 156 см; "8" на 200 см. В точках "1" и "2" измерялся энергетический спектр нейтронов.

определялись с помощью градуировки индиевых детекторов с замедлителями в поле нейтронов $Pu-Be$ источника.

Схема получения π -мезонного пучка и его характеристики приведены в работе [1]. На рис. 2 показаны места измерений спектров и эквивалентных доз нейтронов. Энергетические спектры были измерены в точках 1 и 2. Спектры приведены на рис. 3. /Здесь и далее все данные приводятся для интенсивности падающего на

мишень протонного пучка 10^{12} c^{-1} /. Как видно из рис. 3, поле нейтронов в канале пучка /точка 1/ в основном определяется быстрыми нейтронами, образованными в мишени под действием протонов и "просочившимися" через апертуру линзы. В точке 2 спектр промежуточных нейтронов имеет вид $1/E$, типичный для поля рассеянных нейтронов за защитой ускорителей. В этом месте в формирование поля нейтронов вносят вклад также нейтроны, прошедшие через потолок процедурного помещения, и нейтроны, образованные в гасителе протонного пучка.

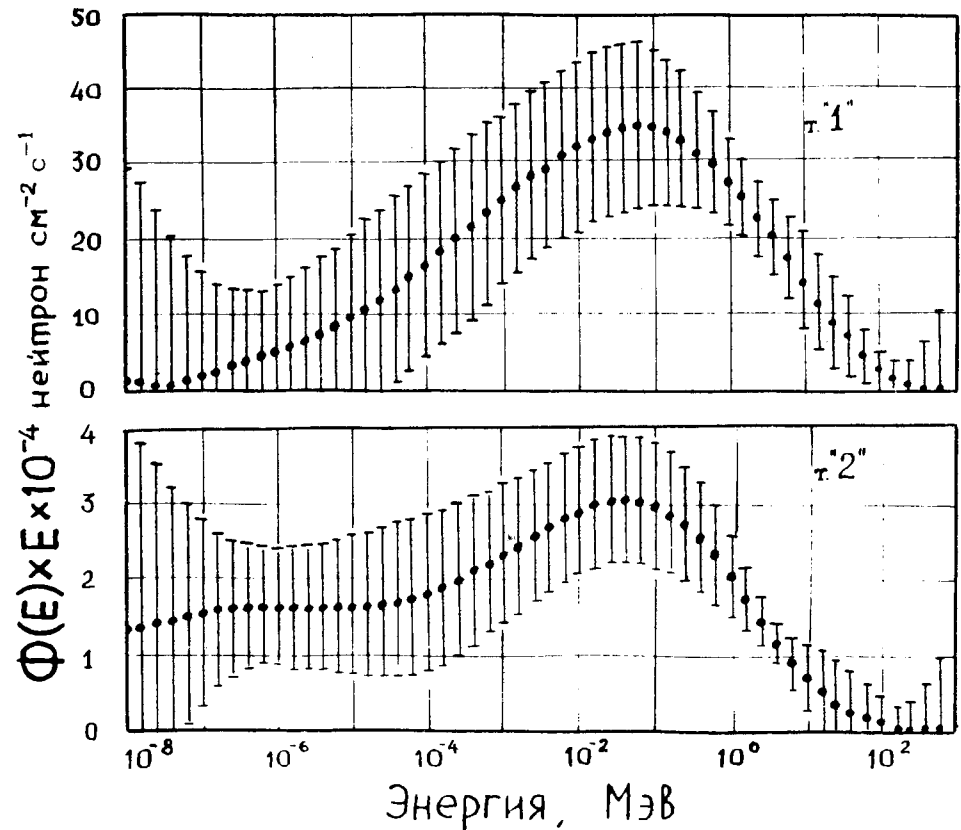


Рис. 3. Энергетические спектры нейтронов, измеренные в точках "1" и "2".

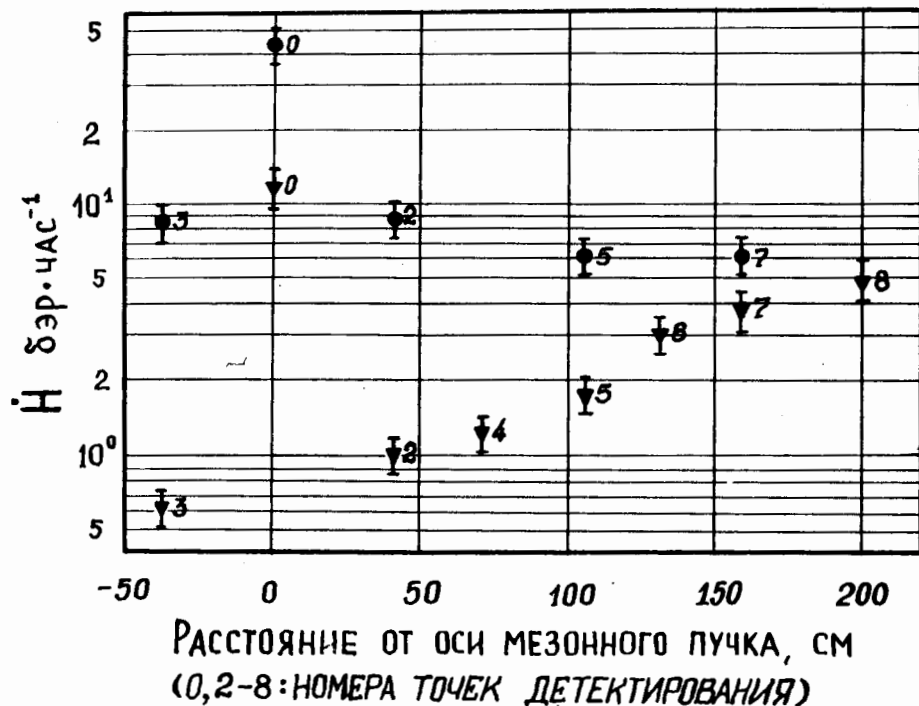


Рис. 4. Распределение мощности эквивалентной дозы нейтронов \dot{H} , обусловленная нейтронами с энергией ≤ 20 МэВ; \dot{H} , обусловленная нейтронами с энергией > 20 МэВ.

Распределения мощности эквивалентной дозы нейтронов приведены на рис. 4. Эквивалентную дозу нейтронов с энергией менее 20 МэВ определяли по показаниям ионизационного детектора в замедлителе диаметром 25,4 см, а эквивалентную дозу нейтронов с энергией, большей 20 МэВ, - по показаниям углеродсодержащего детектора. Коэффициент перехода от плотности потока нейтронов с энергией более 20 МэВ к мощности эквивалентной дозы принимался равным $0,18 \frac{\text{мбэр/час}}{\text{нейтрон/см}^2\text{с}}$.

При определении погрешностей измерений мощностей эквивалентных доз учитывались только ошибки при градуи-

ровке и измерении активностей детекторов. Мощности поглощенной дозы в точках 1 и 2 составляют соответственно 27 и 2 рад. час⁻¹, а в фокусе π -мезонного пучка - 11 рад. час⁻¹, что составляет 6% от мощности поглощенной дозы в пике Брэгга для π -мезонов пучка.

В заключение авторы благодарят А.К. Уткина, А.Н. Резуну и В.А. Куликова за помощь в работе.

Литература

1. В.М. Абазов и др. ОИЯИ, Р13-8079, Дубна, 1974.
2. В.Ф. Турчин. Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 7, 1270 /1967/.
3. В.Ф. Турчин. Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 8, 230 /1968/.
4. В.Ф. Турчин, В.З. Нозик. Изв. АН СССР, сер. "Физ. атм. и океана", 5, 29 /1969/.
5. В.Ф. Турчин и др. УФН, 102, 3 /1970/.
6. Л.С. Туровцева, В.Ф. Турчин. Препринт ИПМ №30 /1971/.
7. В.Е. Алейников, В.П. Гердт, М.М. Комочков. ОИЯИ, Р16-8176, Дубна, 1974.
8. R.L. Bramblett, R.L. Ewing, T.W. Bonner. Nucl. Instr. and Meth., 9, 1 (1960).
9. M. Dolias, Nguyen Van Dat, M. Bricka. Colloque Electron, Toulouse (1968).
10. Л. Ветцель и др. Дозиметрия излучений и физика защиты ускорителей заряженных частиц. ОИЯИ, 16-4888, 201, Дубна, 1970.
11. В.Е. Алейников, В.П. Гердт, М.М. Комочков. Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes, vol. 1 (Proc. Symp. Vienna, 1972), IAEA, Vienna, 31 (1973).
12. F. Rohloff, M. Heinzelmann. Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes, vol. 1 (Proc. Symp. Vienna, 1972), IAEA, Vienna, 269 (1973).

Рукопись поступила в издательский отдел
14 августа 1975 года.