

4479/2-79



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

C345e
3-177

5/11-79

16 - 12265

Л.Н.Зайцев, В.П.Зорин, С.А.Новиков, В.П.Сидорин,
В.В.Фролов, В.Б.Хвостов

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ
В ЭЛЕМЕНТАХ СТРУКТУРЫ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ
(МАКЕТНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)

Часть III. Измерение характеристик поля излучения
с помощью активационных детекторов
и фотозмультсий

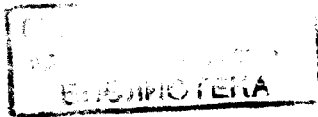
1979

16 - 12265

Л.Н.Зайцев,* В.П.Зорин, С.А.Новиков, В.П.Сидорин,*
В.В.Фролов,* В.Б.Хвостов*

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ
В ЭЛЕМЕНТАХ СТРУКТУРЫ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ
(МАКЕТНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)

Часть III. Измерение характеристик поля излучения
с помощью активационных детекторов
и фотоэмульсий



*Московский инженерно-физический институт.

Зайцев Л.Н. и др.

16 12265

Исследование пространственно-энергетического распределения излучения в элементах структуры высокоэнергетических ускорителей /макетный эксперимент/. Часть III. Измерение характеристик поля излучения с помощью активационных детекторов и фотоэмульсий

Получена экспериментальная информация о характеристиках поля излучения, возникающего при потерях на ионопроводе протонного пучка с энергией 7,5 ГэВ. Используется экспериментальная установка, имитирующая дипольный магнит ускорителя. Флюенс частиц в диапазоне энергий $E > 20$ МэВ и $3 < E < 25$ МэВ измерялся активационным способом с помощью детекторов на основе углерода и серы соответственно. Характеристики поля излучения с энергией $E < 130$ МэВ исследовались с помощью фотоэмульсий. Получены пространственные распределения флюенса вторичных частиц в экспериментальной установке, которые сравниваются с результатами вычислений методом Монте-Карло.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Zaitsev L.N. et al.

16 12265

Investigation of Space-Energy Distribution of Radiation in Structure Elements of High-Energy Accelerators. Part III. Measurements of Radiation Field Characteristics by Means of Activation Detectors and Photoemulsions

Experimental information on radiation field characteristics appearing at losses on 7.5 GeV proton beam ionconductor has been obtained. Experimental setup imitating an accelerator dipole magnet is used. The fluence of particle within $E > 20$ MeV and $3 < E < 25$ MeV energy range was measured by means of activation detectors on the basis of ^{12}C and ^{32}S , respectively. Radiation field characteristics were investigated by means of nuclear emulsion of BR-2 type. Space distributions of secondary particle fluence are obtained and compared with calculation distributions obtained by the Monte Carlo method.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

В работе^{/1/} описана установка "Модель", представляющая собой геометрическую копию дипольного магнита и предназначенная для изучения полей излучения при потерях высокоэнергетических частиц на ускорителях. Высадка пучка на тонкостенную трубу установки, имитирующую вакуумную камеру ускорителя, может быть осуществлена двумя способами /см. рис. 1, случаи А и Б/.

В случае А пучок протонов "высаживается" на тонкостенную трубу /модель вакуумной камеры/ с прилегающими к ней медными насадками, имитирующими обмотки дипольного магнита. В случае Б лишь небольшая часть первичных протонов взаимодействует с тонкостенной трубой, а в основном высокоэнергетические частицы покидают установку "Модель", не испытав взаимодействия.

Анализ литературных данных показал, что потери частиц на ускорителях происходят при малых углах между направлением движения протона и образующей вакуумной камеры α . В работе^{/2/} получены распределения по углам входа протонов в стенку вакуумной камеры после рассеяния на септуме магнита системы медленного вывода протонов из синхрофазотрона ОИЯИ для частиц с импульсами больше 7 ГэВ/с. Угловое распределение частиц в проекции на горизонтальную и вертикальную плоскости таково, что максимальное значение углов входа не превышает 100 мрад.

Исходя из этого в эксперименте в качестве максимального угла высадки протонов было выбрано значение $\alpha = 100$ мрад. Выбор минимального значения угла высадки протонов $\alpha = 35$ мрад обусловлен размерами экспериментальной установки и параметрами пучка протонов в режиме медленного вывода из синхрофазотрона.

Распределение линейной плотности потерь частиц по длине установки для этих значений угла α представлено на рис. 2.

Для измерения характеристик поля излучения использовались ядерные эмульсии и пороговые детекторы, краткая характеристика которых представлена в табл. 1.

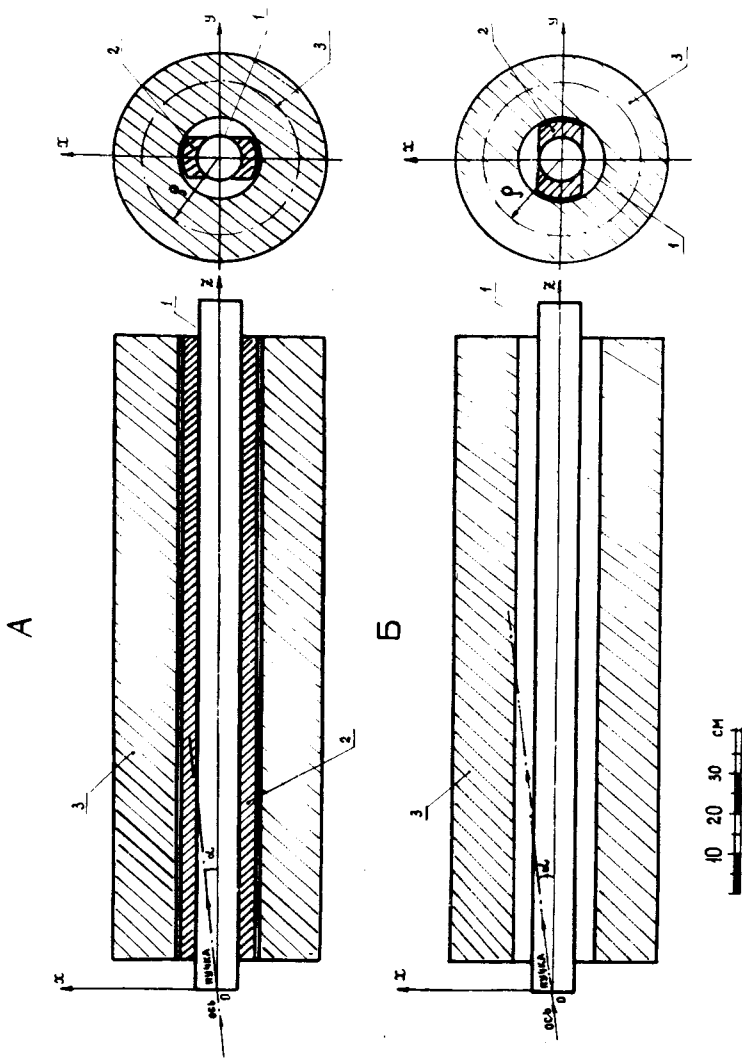


Рис. 1. Геометрия облучения установки "Модель" в макетном эксперименте. А - высадка пучка в "Обмотки"; Б - высадка пучка на "Ионопровод". α - угол высадки пучка. 1 - тонкостенная труба /"Ионопровод"/, 2 - "Обмотки", 3 - ядро.

Таблица 1

Характеристики ядерных эмульсий и пороговых детекторов

Детектор	Используемая реакция	Эффективная область регистрации пада	Период полураспада	Размеры детектора
ядерная эмульсия	звездообразование	адроны с $E \geq 130$ МэВ	-	$H = 400$ мк 2×2 см
полистирол с добавками терфинила и PPOP	$^{12}C(x, xn)^{11}C$	пионы > 50 МэВ нуклоны > 20 МэВ $\sigma_{эф} = 22$ мб	$20,3$ мин	$H = 5$ мм $D = 19$ мм
сернокислый аммоний $(NH_4)_2SO_4$	$^{32}S(n, p)^{32}P$	нейтроны $3 < E < 25$ МэВ $\sigma_{эф} = 300$ мб	$14,3$ дня	$H = 5$ мм $D = 19$ мм

ФОТОЭМУЛЬСИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Ядерные фотоэмульсии облучались в течение пяти циклов работы ускорителя при интенсивности пучка $I \approx 10^{10}$ протон/цикл. Рассматривались события с числом лучей $n \geq 3$. На рис. 3 представлены распределения звезд по числу лучей в точке с координатами $x = +0,5$ см, $y = 22 \pm 0,5$ см, $z = 132 \pm 0,5$ см при высадке протонов под углом $\alpha = 100$ мрад для геометрий А и Б /рис. 1/, полученные в результате просмотра 300 звезд в каждой эмульсии.

Зависимость среднего числа $(s+g)$ -лучей на звезду от энергии частицы, испытавшей неупругое взаимодействие $^{1/3}$, усреднялась в соответствии с расчетными спектрами. Сравнение результатов расчета и эксперимента представлено в табл. 2. Там же проводится сравнение расчетных и экспериментальных значений плотностей потоков частиц с $E \geq 130$ МэВ. В соответствии с расчетом около 10% частиц в рассматриваемых точках являются заряженными π -мезонами и протонами.

На рис. 4 представлено распределение по координате z плотности потока частиц с $E \geq 130$ МэВ и среднего числа $(s+g)$ -лучей на звезду в плоскости (yz) для точек с $x = 0$ и $y = 22$ см. Распределения получены для геометрии А и угла

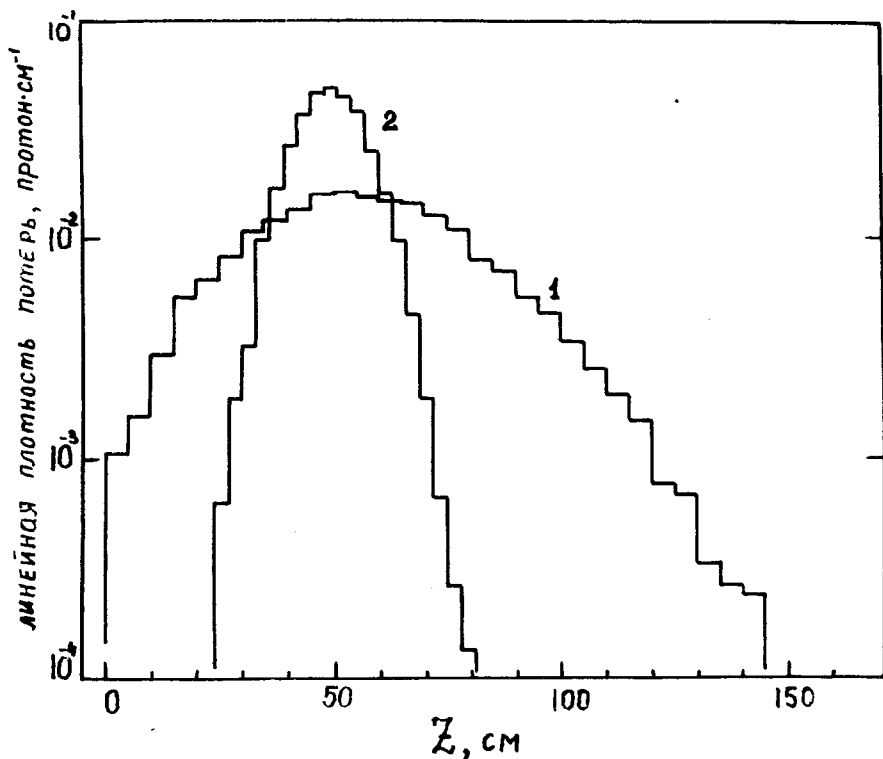


Рис. 2. Распределение линейной плотности потерь протонов $S(z)$ в эксперименте при высадке пучка под углом $\alpha = 35$ мрад /кривая 1/ и $\alpha = 100$ мрад /кривая 2/.

Таблица 2

Геометрия облучения /рис. 1/	Плотность потока частиц с энергией $E \geq 130$ МэВ /частиц \cdot см $^{-2}$ /протон		Среднее количество (s+g)-лучей на звезду	
	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет
А	$(3,2 \pm 0,4) \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \pm 0,26$	1,0
Б	$(4,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$1,06 \pm 0,22$	0,9

$\alpha = 35$ мрад в результате просмотра 100 звезд для каждой из эмульсий. Как следует из рис. 4 и табл. 2, наблюдается

удовлетворительное согласие расчетных и экспериментальных данных. Ошибки в экспериментальных значениях, приведенных на рис. 3-4, указаны только статистические. Однако имеется систематическая ошибка $\sim 20\%$, обусловленная погрешностью мониторингирования пучка.

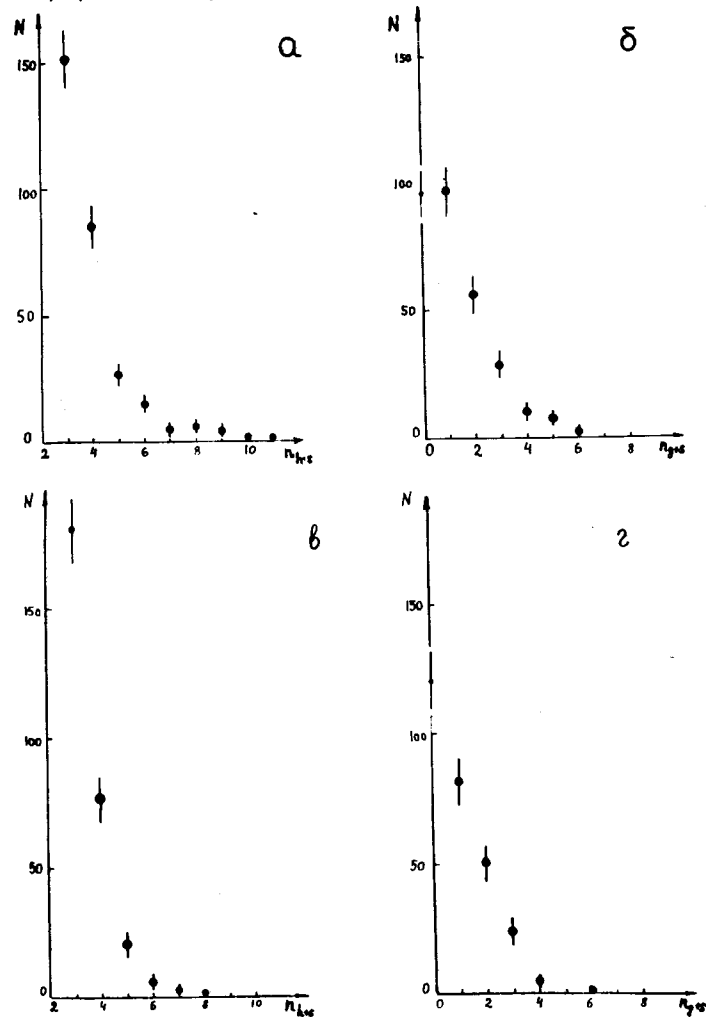


Рис. 3. Распределение звезд по числу лучей вблизи точки с координатой $x=0, y=22$ см, $z = 132$ см при высадке пучка под углом $\alpha = 100$ мрад в геометрии облучения А/а,б/ и Б/в,г/, а,в - для черных, серых и релятивистских треков; б,г - для серых и релятивистских треков.

ИЗМЕРЕНИЯ ПОРОГОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

Относительные измерения плотностей потока частиц с энергией $E > 20$ МэВ выполнены с помощью активационных детекторов на основе реакции $^{12}\text{C}(x, xn)^{11}\text{C}$. На рис. 5 и 6 представлены расчетные распределения плотностей потока частиц с $E > 20$ МэВ и экспериментальные результаты, нормированные на расчетную кривую, полученные для угла $\alpha = 35$ мрад и геометрий А и Б. Наблюдается хорошее согласие экспериментальных и расчетных распределений.

Пороговые детекторы быстрых нейтронов на основе серы ^{32}S были отградуированы в известном спектре излучения реактора ИРТ-2000^{4/}. Расчетные значения плотности потока нейтронов в энергетическом диапазоне $3 < E < 25$ МэВ получены в предположении, что спектр нейтронов $f(E) \sim E^{-\beta}$. Для всех рассматриваемых спектров, полученные значения β близки к 1 и в среднем $\beta = 0,9 \pm 0,2$. На рис. 7, 8 сравниваются расчетные и экспериментальные распределения при угле высадки частиц $\alpha = 100$ мрад /геометрия облучения А и Б соответственно/, а на рис. 9, 10 - при угле $\alpha = 35$ мрад.

Из рис. 7-10 видно, что даже при таком простом способе оценки потока быстрых нейтронов наблюдается хорошее согласие между расчетными и экспериментальными величинами. Кроме того, это обстоятельство косвенно подтверждает правильность расчета спектра нейтронов с энергией выше $E_{\text{пор}}^{5/}$. Сопоставление величин потоков, измеренных углеродными и серными детекторами, показывает, что в максимуме распределений $\Phi_{^{12}\text{C}} / \Phi_{^{32}\text{S}} \approx 10$, а в других точках это соотношение близко к 1.

Хорошее согласие экспериментальных и расчетных данных позволяет использовать расчетную методику^{5/} для прогнозирования радиационных полей в элементах структуры высокоэнергетических ускорителей.

В заключение авторы выражают благодарность В.И.Волкову, Е.Д.Клещенко, Н.И.Рублеву, Ю.В.Семенову, В.А.Григорьеву, И.А.Енговатову, Б.Д.Зельдичу, О.М.Негановой, А.В.Пучкову, А.Н.Синицину, В.В.Смирнову, Г.И.Старшиновой за помощь при проведении измерений.

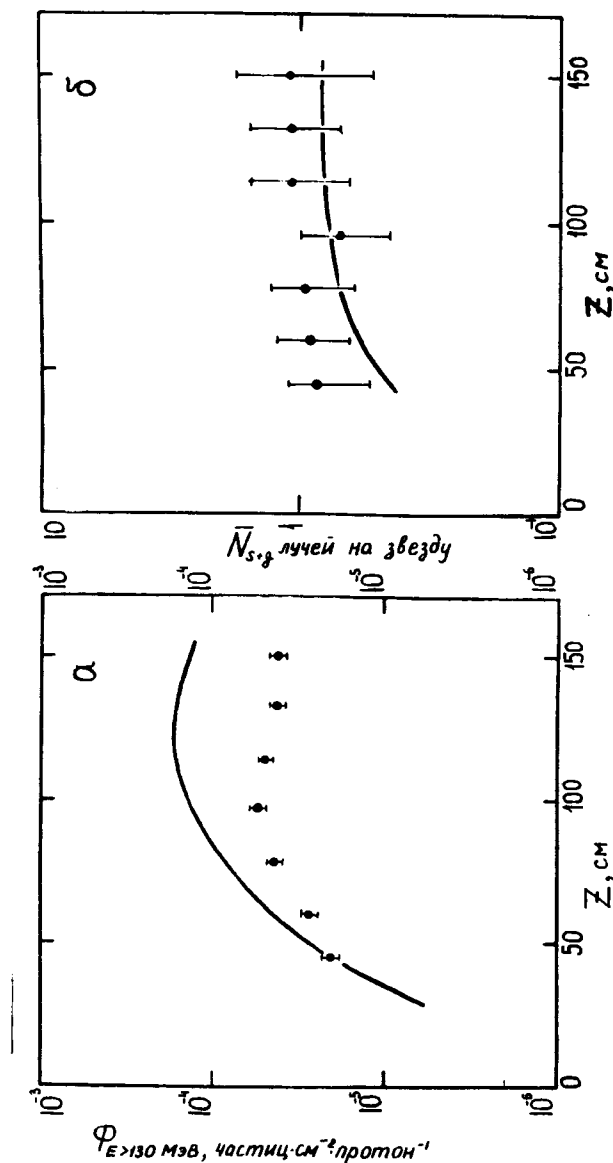


Рис. 4. Распределение плотности потока частиц с $E > 130$ МэВ /а/ и среднее количество $(s + \beta)$ - лучей на звезду /б/ в плоскости (yz) для точек с координатами $x=0$, $y = 22$ см при высадке пучка протонов под углом $\alpha = 35$ мрад в геометрии облучения А.

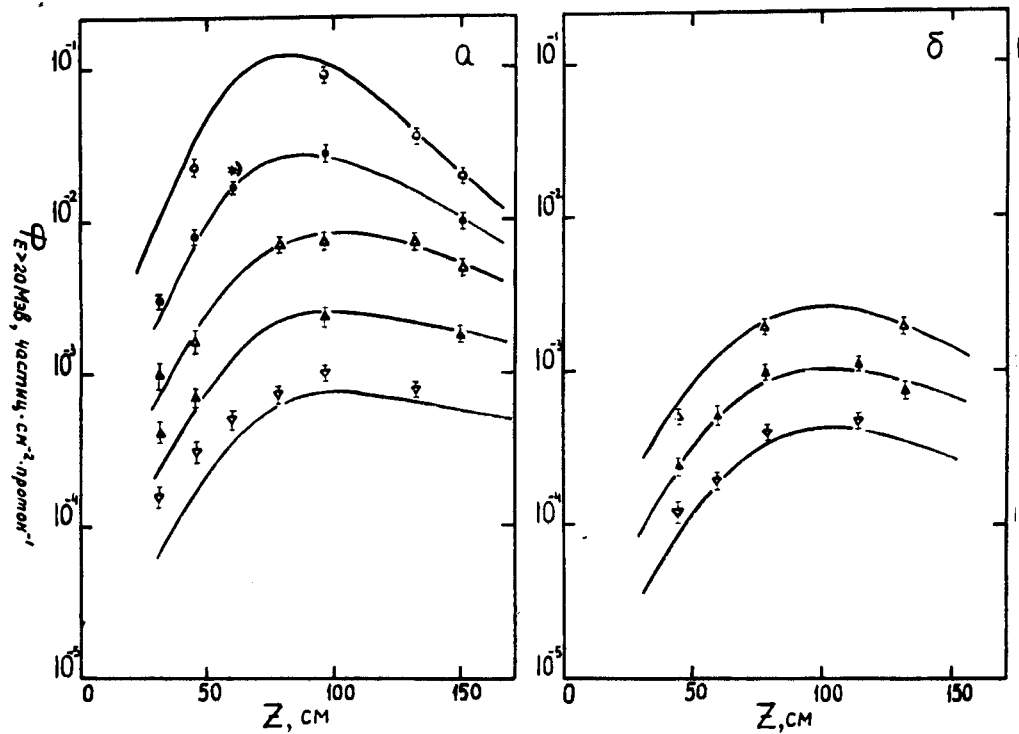


Рис. 5. Распределение плотности потока частиц с $E > 20$ МэВ на различных расстояниях от оси установки ρ в плоскости xz - /а/ и yz - /б/ при высадке пучка под углом $\alpha = 35$ мрад в геометрии облучения А. *) - точка нормировки на расчетную кривую. Точки - измерения детектором на основе ^{12}C ; кривые - расчет. \square - $\rho = 6,5$ см; \circ - $\rho = 8,5$ см; \triangle - $\rho = 11,5$ см; \square - $\rho = 16$ см; ∇ - $\rho = 22$ см.

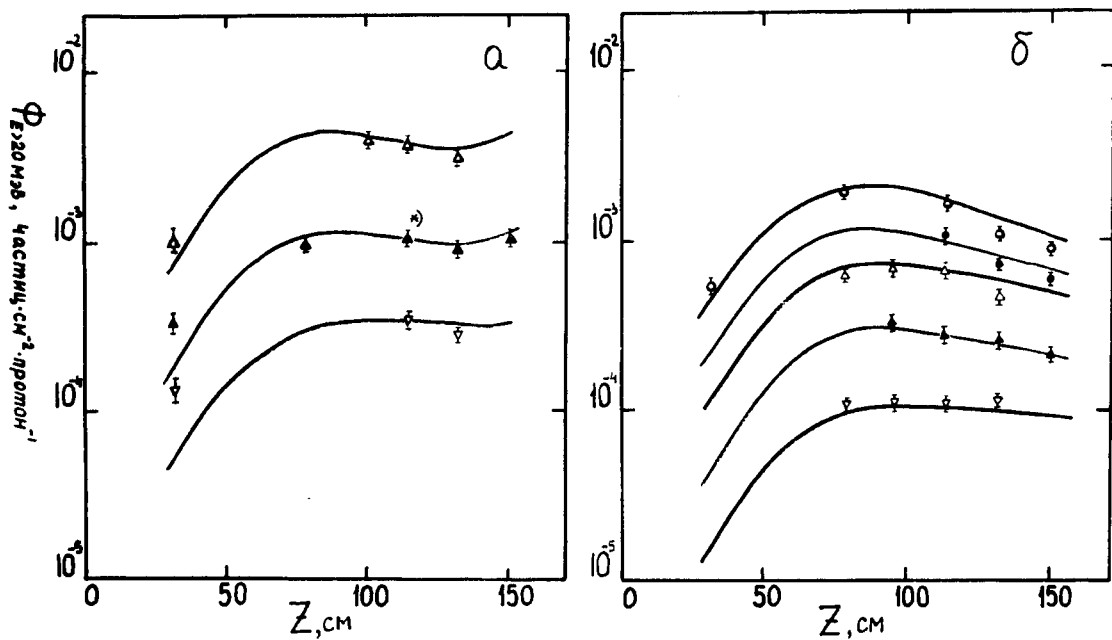


Рис. 6. То же, что и на рис. 5, в геометрии облучения Б при высадке пучка под углом $\alpha = 35$ мрад.

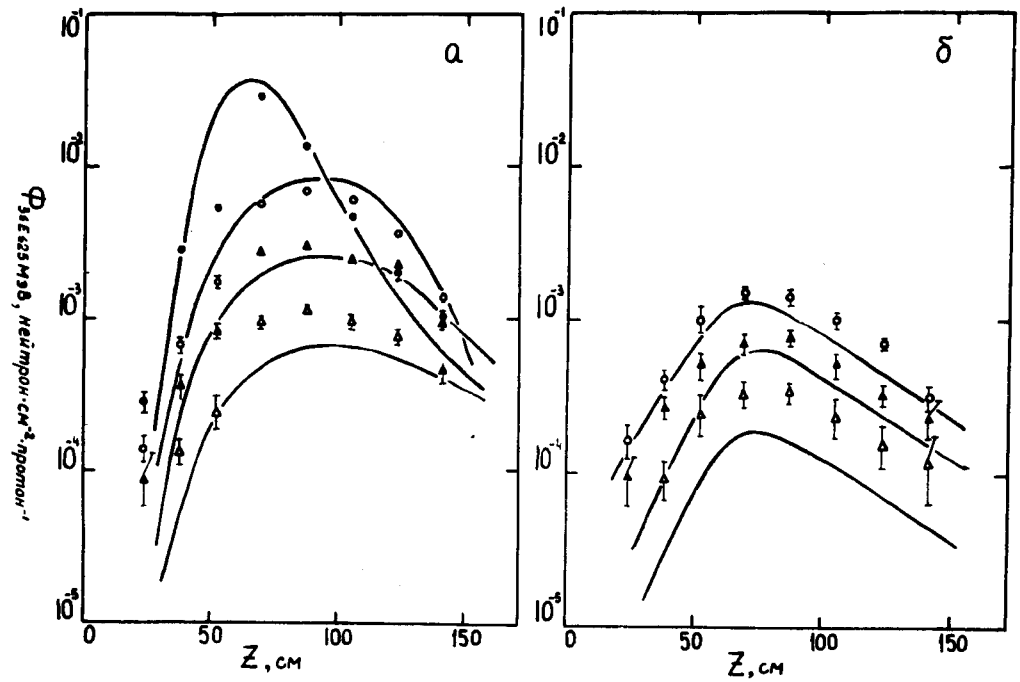


Рис. 7. Распределение плотности потока быстрых нейтронов на различных расстояниях от оси установки в плоскости xz /а/ и yz /б/ при высадке пучка под углом $\alpha = 100$ мрад в геометрии облучения А. Точки - измерения детектором на основе ^{32}S , кривые - расчет. \circ - $\rho = 6,5$ см; \square - $\rho = 11,5$ см; \triangle - $\rho = 22$ см.

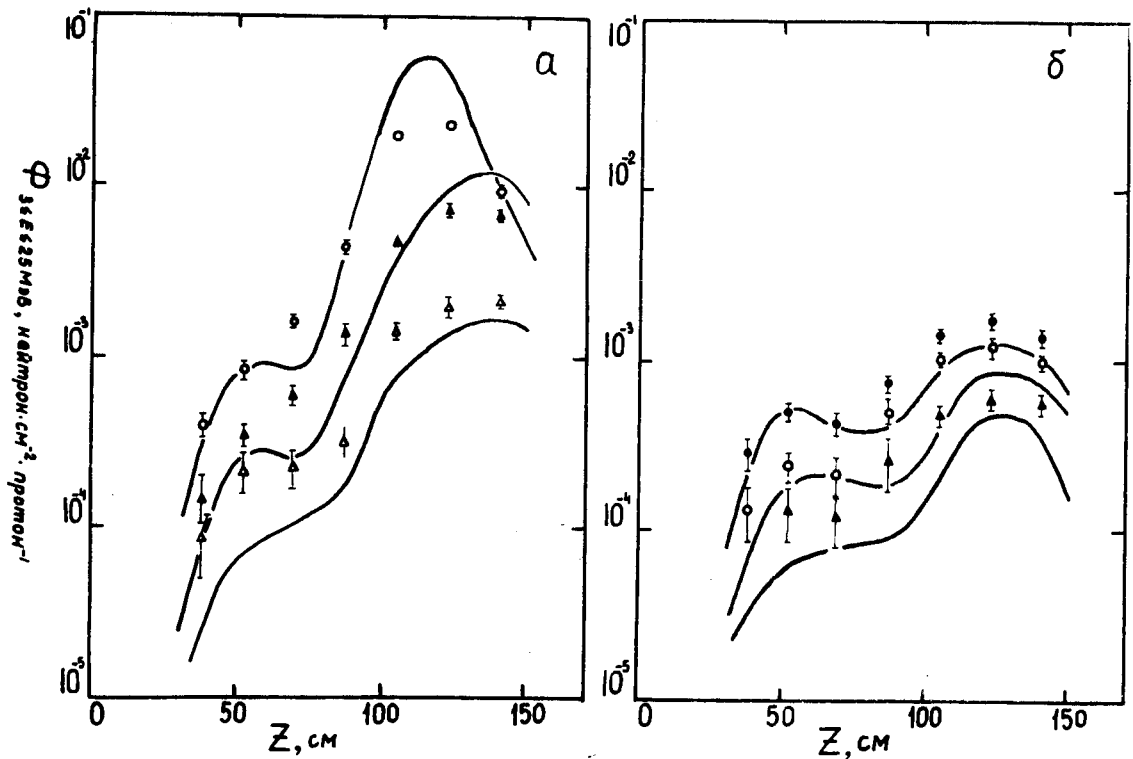


Рис. 8. То же, что и на рис. 7, в геометрии облучения Б при высадке пучка под углом $\alpha = 100$ мрад.

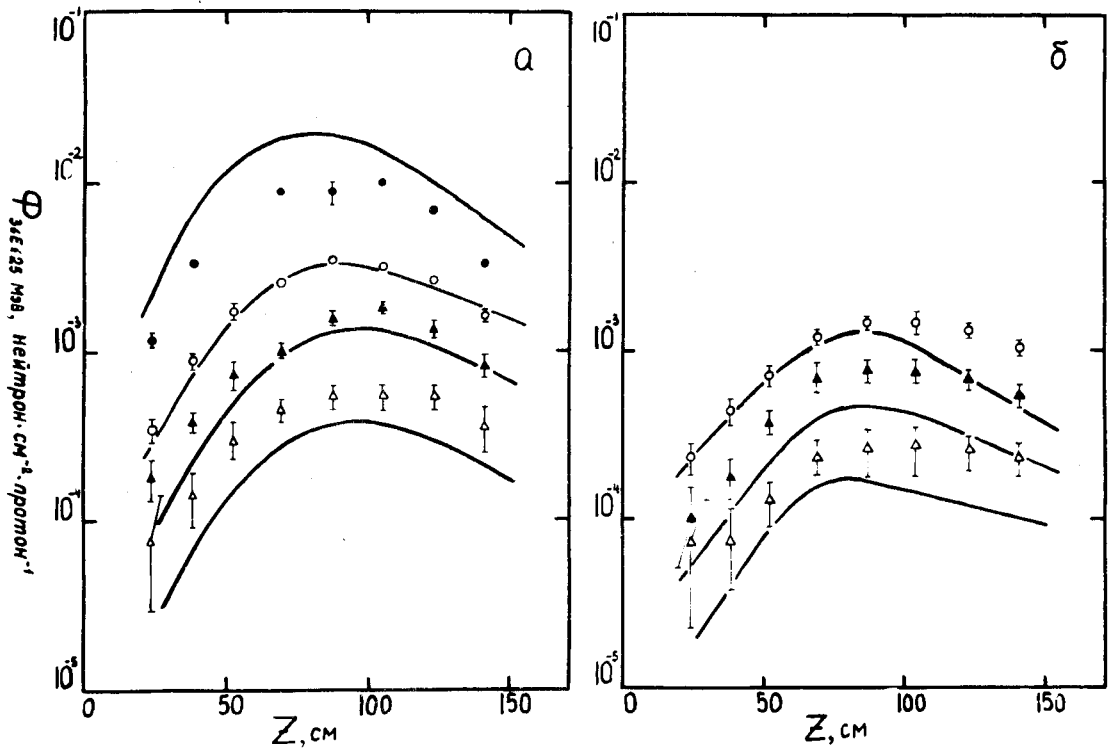


Рис. 9. То же, что и на рис. 7, в геометрии облучения А при высадке пучка под углом $\alpha = 35$ мрад.

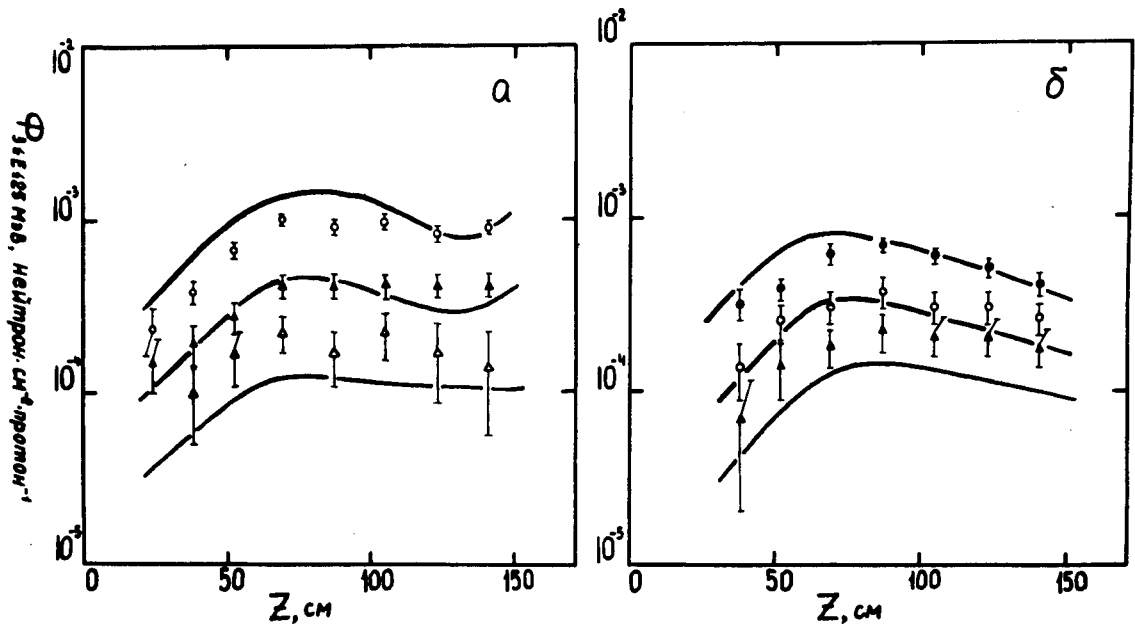


Рис. 10. То же, что и на рис. 7, в геометрии облучения Б при высадке пучка под углом $\alpha = 35$ мрад.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 16-10812, Дубна, 1977.
2. Василишин Б.В., Зайцев Л.Н., Петоян И.М. ОИЯИ, Р16-7 Дубна, 1973.
3. Зайцев Л.Н. и др. ОИЯИ, Р16-6057, Дубна, 1971.
4. Крамер-Агеев Е.А. и др. В кн.: Вопросы дозиметрии и защиты, вып. 2, Атомиздат, М., 1970, с.160.
5. Зайцев Л.Н. и др. ОИЯИ, 16-12264, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 мая 1979 года.