

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



12/12

A-458

P16 - 9400

1349/2-76

В.Е.Алейников, В.П.Гердт, Г.Н.Тимошенко

ИЗМЕРЕНИЕ
СПЕКТРОВ ПРОТОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ,
ГЕНЕРИРУЕМЫХ В ЗАЩИТЕ СИНХРОЦИКЛОТРОНА
НА ЭНЕРГИЮ 680 МЭВ

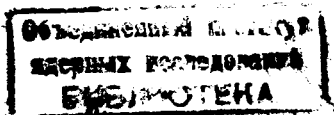
1975

P16 - 9400

В.Е.Алейников, В.П.Гердт, Г.Н.Тимошенко

**ИЗМЕРЕНИЕ
СПЕКТРОВ ПРОТОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ,
ГЕНЕРИРУЕМЫХ В ЗАЩИТЕ СИНХРОЦИКЛОТРОНА
НА ЭНЕРГИЮ 680 МЭВ**

Направлено в АЭ



Вплоть до последнего времени экспериментальная информация о спектрах протонов высокой энергии, генерируемых в защите ускорителей, отсутствовала в литературе. Первые результаты измерений энергетических распределений протонов за защитой 184-дюймового синхротрона получены в Беркли^{1/}. Следующим важным шагом является измерение спектрально-углового распределения протонов в поле излучения за защитой ускорителей. Такая информация необходима не только для установления степени радиационного риска от этого компонента поля, но, что особенно важно, для проверки методов расчета защиты и установления степени адекватности показаний дозиметров эквивалентной дозе в полях излучений за защитой ускорителей.

В данной работе спектрометром, аналогичным спектрометру, описанному в работе^{2/}, измерены спектры протонов, выходящих из защиты синхротрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ вдоль нормали к ее поверхности. Блочная схема спектрометра приведена на рис. 1. Спектрометрическим счетчиком S_3 регистрировались протоны, выделенные телескопом сцинтилляционных счетчиков S_1, S_2, S_3 . В качестве детектора "dE/dx" использовался пластический сцинтиллятор толщиной 0,72 г/см². Импульсы с ФЭУ счетчиков S_1, S_2, S_3 через стандартные каналы, состоящие из усилителей, формирователей и блоков задержки, поступали на входы схемы тройных совпадений (СС).

Спектрометрический импульс с 12-го диода ФЭУ счетчика S_3 подавался на вход линейных ворот, управлявшихся схемой совпадений, и его амплитуда затем

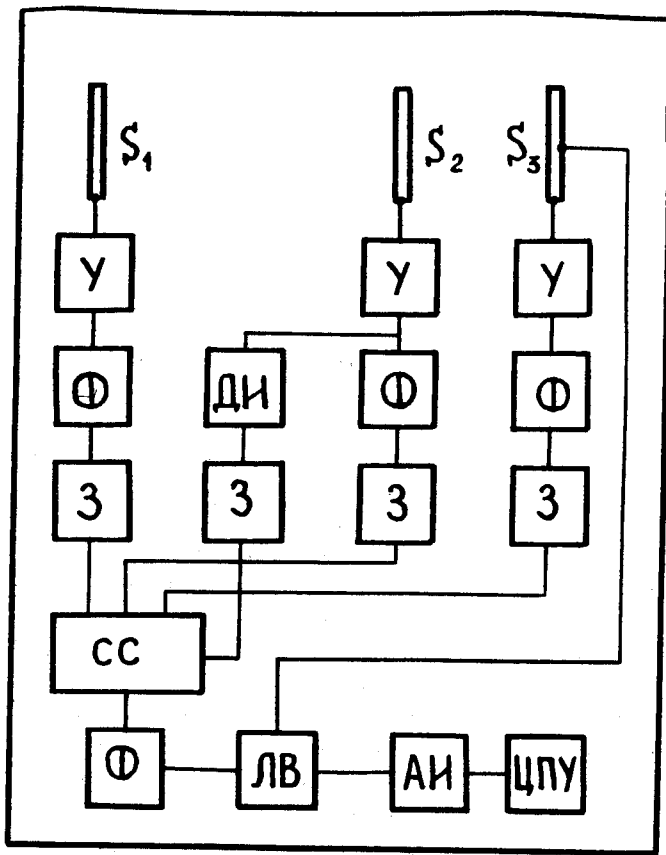


Рис. 1. Блочная схема спектрометра. S_1, S_2, S_3 - сцинтилляционные счетчики; У - усилитель; Φ - формирователь; З - задержка; ДИ - дискриминатор интегральный; СС - схема совпадений; ЛВ - линейные ворота; АИ - анализатор импульсов; ЦПУ - цифropечатающее устройство.

измерялась с помощью многоканального анализатора импульсов. Нижний энергетический порог спектрометра (E_{\min}) определялся энергией протонов, имеющих пробег, равный суммарной толщине счетчиков S_1, S_2, S_3 . Для запрета регистрации протонов, имеющих пробеги большие, чем суммарная толщина счетчиков S_1 и S_2 , но меньшие, чем пробег протона с энергией E_{\min} , в спектрометре

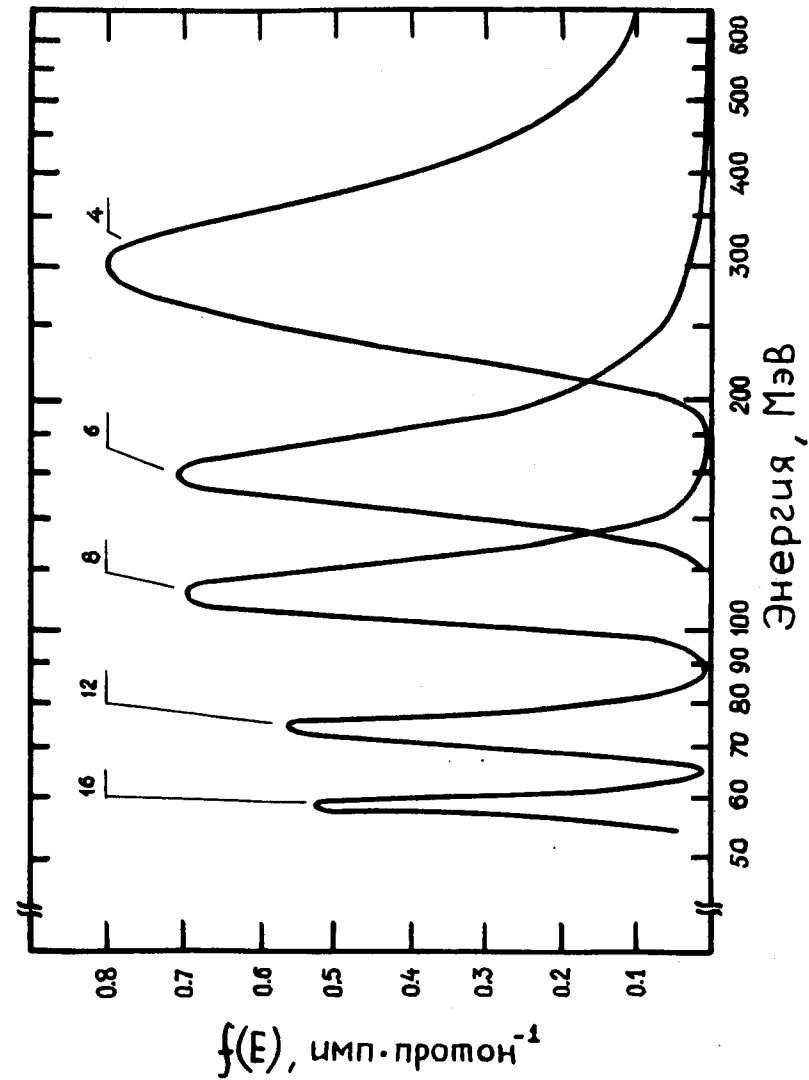


Рис. 2. Функции чувствительности спектрометра. Цифрами на рисунке обозначены номера каналов анализатора.

применялся канал режекции протонов с минимальной энергией. Импульсы со счетчика S_2 , соответствующие таким протонам, отбирались с помощью интегрального дискриминатора и подавались на вход антисовпадений блока СС. Верхний энергетический порог спектрометра обусловлен допустимым амплитудным разрешением спектрометра.

В рабочем диапазоне энергий протонов от 55 до 500 МэВ амплитудное разрешение спектрометра составило соответственно 11 и 27%, угловое разрешение спектрометра при длине пролетной базы 1030 мм - 3°30'. Телесный угол регистрации протонов Ω равен $2 \cdot 10^{-3}$ ср.

Зависимость между световым выходом сцинтиллятора и номером канала анализатора можно представить в виде

$$\int_0^x \frac{dL}{dx} dx = KN + a, \quad /1/$$

где dL/dx - удельный световой выход пластического сцинтиллятора; x - толщина сцинтиллятора; N - номер канала анализатора; K , a - коэффициенты преобразования.

В результате градуировки были экспериментально определены коэффициенты преобразования K и a для нескольких значений энергии протонов, падающих на спектрометр. Градуировка спектрометра проводилась с помощью пучка протонов с энергией 189 МэВ^{3/4}. Для получения распределений протонов, близких к моноэнергетическим, использовалась реакция упругого р-р-рассеяния протонов пучка на водороде CH_2 мишени. При градуировке совместно со спектрометром для выделения протонов р-р-рассеяния включался сопряженный телескоп сцинтилляционных счетчиков. Для нахождения функций чувствительности спектрометра при различных значениях энергии протонов в интервале энергий от 55 до 660 МэВ были рассчитаны распределения светового выхода в сцинтилляторе счетчика $S_{3,4,5}$, обусловленные флуктуациями ионизационных потерь^{4,5/}, и соответствующие им аппаратные распределения числа импульсов по каналам анализатора. Полученные функции чувствительности были скорректированы с учетом ста-

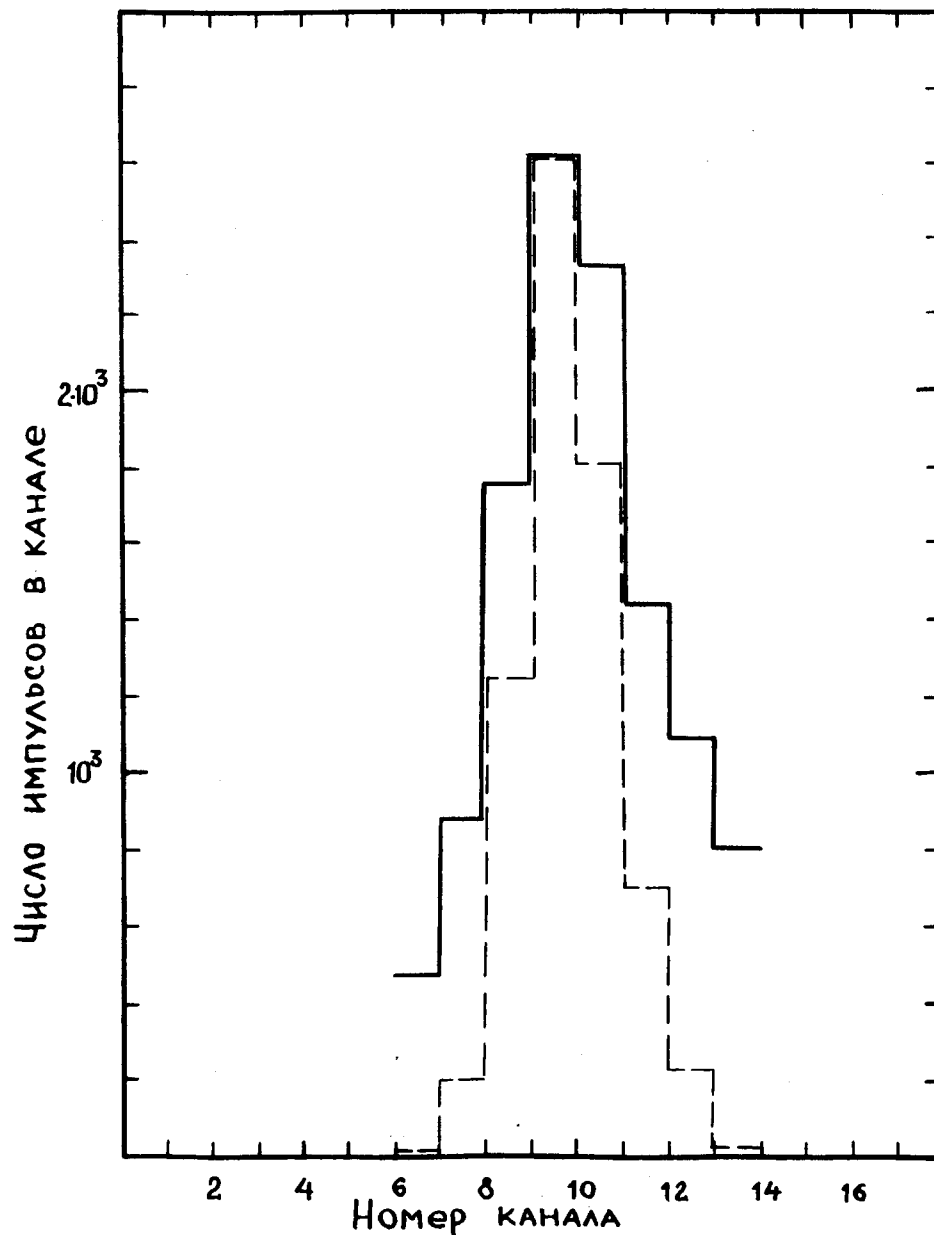


Рис. 3. Аппаратурные спектры протонов р-р-рассеяния. — — — — — рассчитанный спектр, — — — — — измеренный спектр.

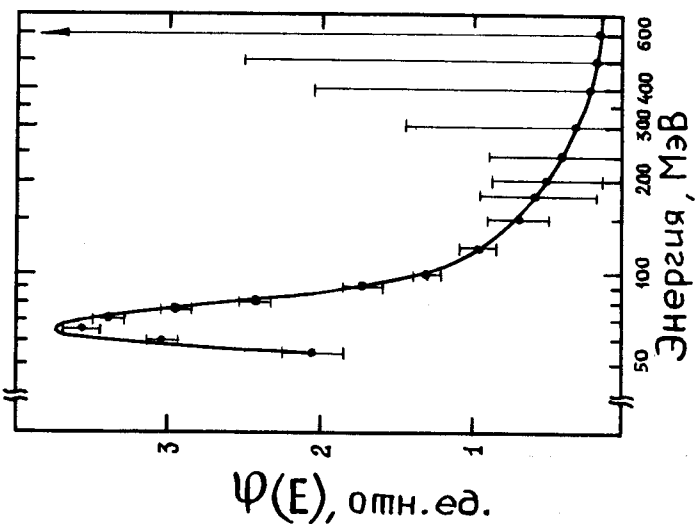
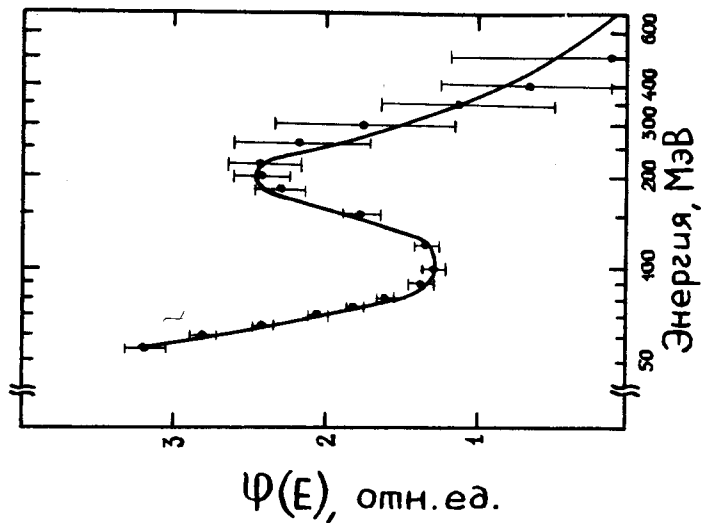


Рис. 4. Результаты математического эксперимента по восстановлению заранее заданных спектров. — — — заданный спектр, — — — восстановленный спектр.

статистических флуктуаций амплитуд импульсов ФЭУ, определяемых числом фотонов и электронов /6/ и геометрией спектрометра, в предположении, что эти флуктуации описываются нормальным законом распределения. Функции чувствительности для некоторых каналов анализатора приведены на рис. 2. Для проверки соответствия этих функций чувствительности реальным аппаратным спектр протонов р-р рассеяния, вылетающих из CH_2 мишени под углом 45° к направлению пучка, сравнивался с рассчитанным аппаратным спектром. Результаты сравнения приведены на рис. 3. Нахождение спектра сводится, как известно, к решению интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода следующего вида:

$$N_i + \delta_i = \Omega \int_{E_1}^{E_2} \phi(E) \epsilon(E) f_i(E) dE, \quad i = (1, \dots, m). \quad /2/$$

Здесь N_i - число импульсов в i -ом канале анализатора; δ_i - ошибка измерения числа импульсов в i -ом канале; $\phi(E)$ - искомый спектр протонов; $\epsilon(E)$ - эффективность регистрации протонов с энергией E ; $f_i(E)$ - функция чувствительности i -го канала анализатора к протоном с энергией E ; E_1, E_2 - границы энергетического интервала, в котором определяется спектр протонов; Ω - телесный угол регистрации протонов.

Уравнение /2/ решалось методом статистической регуляризации /7-9/. Для проверки применимости метода был выполнен математический эксперимент по восстановлению заранее заданных /тестовых/ спектров, в качестве которых были взяты плавные спектры с одним максимумом /см. рис. 4/. Результаты восстановления тестовых спектров вполне удовлетворительные, что, при корректно определенных функциях чувствительности, позволяет интерпретировать спектры, восстанавливаемые по показаниям спектрометра, как истинные.

План части здания синхротронного ускорителя и положения спектрометра при измерении спектров протонов показаны на рис. 5. На рис. 6А представлен энергетический спектр протонов, образованных в железной заглушке толщиной 156 г/см^2 , установленной в начале 12-го коллиматора 4-метровой стальной амбразуры; на рис. 6Б -

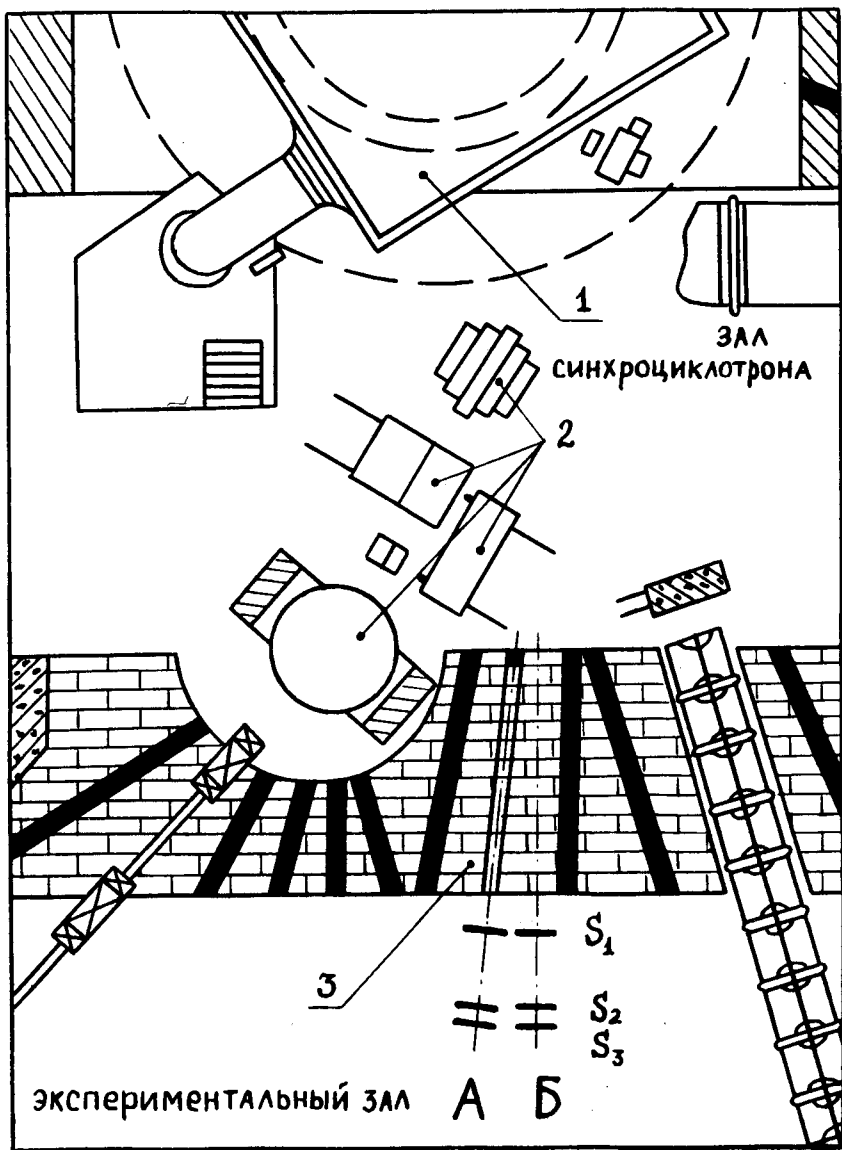


Рис. 5. План части здания синхроциклотрона и положения спектрометра при измерениях спектров протонов. 1 - камера ускорителя; 2 - оборудование; 3 - защитная стена; S_1 , S_2 , S_3 - сцинтилляционные счетчики; А и Б - положения спектрометра.

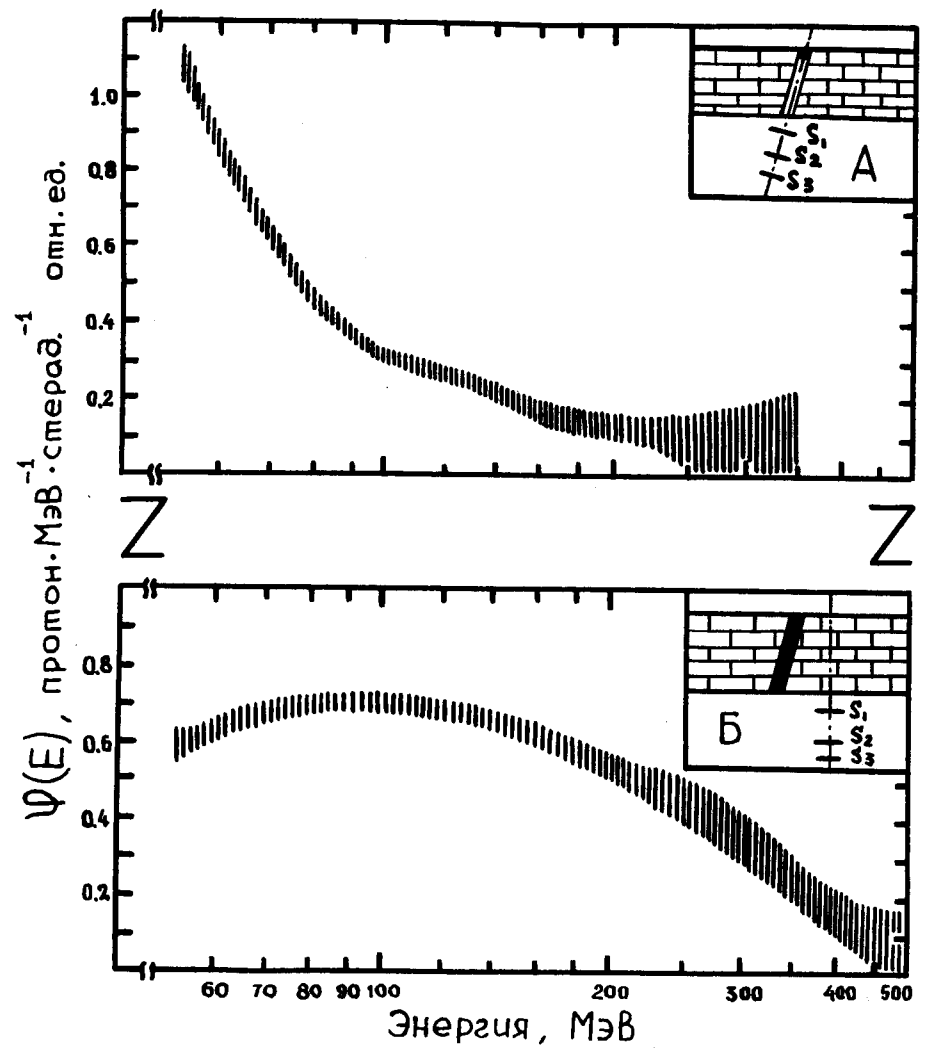


Рис. 6. Спектральные распределения протонов за "тонкой" /рис. А/ и "толстой" /рис. Б/ защитой.

энергетический спектр протонов, выходящих из защитной стены $\sim 3000 \text{ г/см}^2 \text{ Fe} /^{10}$, разделяющей зал синхроциклотрона и экспериментальный зал, вдоль нормали к ее поверхности. Измерения выполнены при работе синхроциклотрона в режиме выведенного пучка протонов. При

оценке погрешностей измерений учитывались статистические ошибки, погрешности, возникающие при амплитудном анализе, ошибки, обусловленные дискретным представлением непрерывных распределений амплитуд импульсов^{11/}, а также погрешности, вызванные регистрацией заряженных частиц, отличных от протонов. Спектр протонов, измеренный за "тонкой" /156 г/см²/ защитой, - характерный спадающий спектр вторичных протонов, образованных в "толстой" мишени. Малая величина производной функции $\phi(E)$ распределения протонов за "толстой" защитой /~ 3000 г/см² Fe/ для энергий менее ~200 МэВ /см. рис. 6Б/ обусловлена в основном следующими причинами:

а/ двумя конкурирующими эффектами: преимущественным рождением низкоэнергетических протонов в нуклон-ядерных взаимодействиях и уменьшением вероятности вылета из защиты заряженных частиц с уменьшением их энергий;

б/ накоплением протонов с энергией 60-200 МэВ, образованных при взаимодействии с ядрами железа нейтронов равновесного спектра, обогащенного частицами с энергией 150-200 МэВ^{12/}.

Авторы признательны М.М.Комочкову за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения, А.Н.Резунику и В.А.Куликову за помощь при измерениях.

Литература

1. K. Mamont-Ciesla and Rindi. LBL-3343 (1974).
2. W.A.Gibson, W.R.Burrus, J.W.Wachter. Proton Recoil Spectrometer for Neutron Spectra Between 50 and 450 MeV. Nucl. Instr. & Meth., 46, 29 (1967).
3. В.П.Джелепов, В.И.Комаров, О.В.Савченко. Препринт ОИЯИ, 16-3491, Дубна, 1967.
4. D.F.Measday and C.Richard-Serre. CERN 69-17 (1969).
5. Б.М.Головин, Л.А.Кулюкина, С.В.Медведь, П.Павлович, П.Шулек. Сообщение ОИЯИ, P1-3190, Дубна, 1967.
6. Ю.К.Акимов. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий. Изд. МГУ, М, 1963.

7. В.Ф.Турчин. Журнал вычислительной математики и математической физики, 7, 1270 /1967/; 8, 230 /1961/.
8. В.Ф.Турчин, В.Л.Козлов, М.С.Малкевич. УФН, 102, 3 /1970/.
9. Л.С.Туровцева. Решение обратных некорректно поставленных задач методом статистической регуляризации. Препринт ИПМ АН СССР, 1975.
10. А.Н.Комаровский. Строительные конструкции ускорителей. Издание 2. М., Высшая школа, 1961.
11. В.В.Матвеев, Б.И.Хазанов. Приборы для измерения ионизирующих излучений, 388, Атомиздат, 1972.
12. В.Е.Алейников, В.П.Гердт, М.М.Комочков. ОИЯИ, P16-8176, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 декабря 1975 года.