

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э
ОП 74-55

К.И. Губриенко, В.А. Машеев, Ю.М. Сапунов,
В.П. Сахаров, А.М. Фролов
(ИФВЭ, Серпухов)
И.М. Граменецкий, Ю.В. Заневский, М.Д. Шафранов
(ОИЯИ, Дубна)

Е-42

МАГНИТООПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ПУЧКОВ ВЧ-СЕПАРИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ
НА ЖИДКОВОДОРОДНУЮ КАМЕРУ "ЛЮДМИЛА"

Серпухов 1974

**К.И.Губриенко, В.А.Майшеев, Ю.М.Сапунов,
В.П.Сахаров, А.М.Фролов
(ИФВЭ, Серпухов)
И.М.Граменицкий, Ю.В.Заневский, М.Д.Шафранов
(ОИЯИ, Дубна)**

**МАГНИТООПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ПУЧКОВ ВЧ-СЕПАРИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ
НА ЖИДКОВОДОРОДНУЮ КАМЕРУ "ЛЮДМИЛА"**

Аннотация

Губриенко К.И., Маишеев В.А., Сапунов Ю.М., Фролов А.М., Граменицкий И.М., В.П. Сахаров, Заневский Ю.В., Шафранов М.Д.
Магнитооптическая система для пучков в.ч.-сепарированных частиц на жидководородную камеру "Людмила". Серпухов, 1974.

20 стр. с рис. (ИФВЭ ОП 74-55),
Библиогр. 28.

В статье представлены расчётные и экспериментальные характеристики магнитооптической системы формирования и транспортировки пучков в.ч.-сепарированных частиц для 2-метровой жидководородной камеры "Людмила" на Серпуховском протонном ускорителе. Кратко описаны измерительная аппаратура и методы настройки системы.

Abstract

Frolov A.M., Gubrienko K.I., Maisheev V.A., Sakharov V.P., Sapunov Yu.M., Gramenitzky I.M., Shafranov M.D., Zanevsky Yu.V.
Magnetic Optical System for RF-Separated Particle Beams to Liquid Hydrogen Chamber "Ludmila". Serpukhov, 1974.

p. 20. (INEP 74-55).
Ref. 28.

The calculated and experimental characteristics of the magnetic optical system to form and transport RF-separated particle beams to 2-meter hydrogen bubble chamber "Ludmila" at the Serpukhov proton accelerator are given in the paper. Measuring technique and adjustment methods are also described briefly.

Метод разделения заряженных частиц по массам на основе высоко-частотного сепаратора поперечного типа и принципы построения магнито-оптического канала сепарированных частиц подробно описаны в работах^{/1,2/}. Пучки в.ч.-сепарированных частиц с энергиями до 18 Гэв получены в ЦЕРНе (Женева)^{/2/} и Бруккейвене (США)^{/3/}. На Серпуховском ускорителе в рамках сотрудничества ИФБЭ-ЦЕРН введен в действие канал и в.ч.-сепаратор частиц с энергиями 17-55 Гэв^{/4/} для экспериментов на 4,5-метровой жидководородной камере "Мирабель". Проект аналогичного канала с трёх-дефлекторным сепаратором для облучения на Серпуховском ускорителе 2-метровой жидководородной камеры ОИЯИ "Людмила"^{/5/} в пучках частиц с энергиями 10-25 Гэв был опубликован в работах^{/6,7/}. Для этого канала в общей схеме выводов первичных протонов из ускорителя^{/8/} был предусмотрен быстрый однооборотный вывод^{/9/}. Экспериментальные возможности магнитной системы канала более широкие в сравнении с проектом^{/6,10/}. В частности, на канале были проведены экспозиции жидководородной камеры "Людмила" в пучке рассеянных на внутренней мишени первичных протонов с энергией 36 Гэв^{/11/}, а в предварительных экспериментах на основе описанного в работе^{/12/} метода в канал был введен обогащенный пучок позитронов с энергией 35 Гэв. В настоящей работе представлены оптические характеристики канала в варианте формирования и транспортировки в нем пучков сепарированных частиц.

Размещение основного оборудования канала на экспериментальных площадях и его оптическая схема приведены на рис. 1. Из ускорителя выводился один из 30 пучков протонов длительностью 16 нсек при энергии 50 Гэв и с помощью импульсной магнитооптической системы ^{/9/} фокусировался на внешней мишени Т. Медная мишень имела размеры 1,5x2,0x1150 мм³ соответственно по вертикали, горизонтали и длине. Длина мишени выбрана оптимальной для наибольших выходов высокоэнергетичных вторичных частиц при энергии ускоренных протонов >50 Гэв. Эффективность такой мишени, рассчитанная на основе теоретических сечений образования ^{/13/} и экспериментальных сечений поглощения ^{/14/} частиц с учётом параметров протонного пучка, оценивается величиной ~0,27-0,35. Интенсивность взаимодействующих в мишени протонов измерялась с помощью монитора Буцаля ^{/15/}. Непровзаимодействовавший протонный пучок на входе в канал контролировался двухкоординатным детектором вторичной эмиссии (см., например, работу ^{/16/}).

Рожденные в мишени под углом 0° вторичные заряженные частицы захватываются в канал. Отклонение частиц высокочастотными дефлекторами происходит в вертикальной плоскости u_x , а магнитный анализ - в горизонтальной плоскости x_x . На входе в канал пучок вторичных частиц ограничивается апертурными коллиматорами K_1 и K_2 . Дублет квадрупольных линз $Q_1 - Q_2$ формирует по горизонтали изображение мишени на коллиматоре K_4 . Отклоняющий магнит M_1 создает линейную дисперсию этого изображения по импульсу частиц. Щель коллиматора K_4 (так называемый импульсный коллиматор) выделяет частицы в узком интервале их импульсов $p \pm \Delta p$, а полевая линза Q_3 и отклоняющий магнит M_2 компенсируют угловую и линейную дисперсию этих частиц. По вертикали линзы $Q_1 - Q_3$ формируют слабо расходящийся, почти параллельный, пучок. Дублет линз $Q_4 - Q_5$ создает стигматическое ахроматическое изображение мишени в центре первого дефлектора RF_1 . Коллиматор K_5 переопределяет вертикальную угловую расходимость неотклоненного пучка в этом дефлекторе ^{/17/} и отображается оптикой канала

на пучковый поглотитель сепаратора BS_2 . В этом случае рассеянные в щелях коллиматора частицы попадают на поглотитель и не загрязняют сепарированный пучок. Коллиматор K_3 использовался как антифоновый. Щель этого коллиматора выбиралась немного большей вертикального размера рабочего пучка в нем. Пучковый затвор (поглотитель) BS_1 позволяет перекрывать пучок в канале.

Каждый из квадруплетов линз Q_6 Q_7 Q_8 Q_9 и Q_{10} Q_{11} Q_{12} Q_{13} преобразовывает геометрические параметры пучка частиц из центра предыдущего дефлектора в центр последующего с коэффициентами (-1) в обеих, вертикальной и горизонтальной, плоскостях^{/18/}. Режим работы сепаратора и толщина поглотителя BS_2 по вертикали выбираются такими, что большая доля желаемых (сепарируемых) частиц обходит поглотитель, а остальные желаемые и все нежелательные частицы поглощаются в нем^{/2/}. Коллиматор K_6 уменьшает фон частиц от газа, сопровождающего пучок.

Дублет линз Q_{14} - Q_{15} фокусирует пучок на коллиматорах K_7 и K_8 . Эти коллиматоры переопределяют размеры источников частиц по горизонтали и вертикали для последующей оптики и частично поглощают фоновые частицы. Дублет линз Q_{16} - Q_{17} осуществляет окончательную фокусировку пучка по горизонтали на спаренные коллиматоры K_9 - K_{10} , а по вертикали - в пузырьковую камеру BC . Отклоняющий магнит M_3 и щель коллиматоров K_9 - K_{10} осуществляют вторичный магнитный анализ пучка и очистку его от фоновых частиц перед вводом в пузырьковую камеру. В жидководородной камере "Длинная" фотографируется горизонтальная плоскость. Оконечная фокусировка пучка обеспечивает широкое горизонтальное и узкое вертикальное распределение частиц в пузырьковой камере.

Основные расчётные характеристики канала представлены в табл. I и незначительно отличаются от приведенных в работе^{/6/}. Расчёты выполнены по программе TRAMP^{/19/} и модифицированной программе ФАЗАН^{/20/}.

Т а б л и ц а I

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
КАНАЛА СЕПАРИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ

Относительный импульсный интервал частиц в канале $\Delta p/p$	$\pm 0,5\%$	
	вертикаль	горизонталь
Эффективный максимальный угол захвата частиц с мишени в канале в интервале $\Delta p/p = \pm 0,5\%$ при выключенных дефлекторах:	$\pm 4,0$ мрад	$\pm 3,0$ мрад
Коэффициенты линейного увеличения для изображений мишени:		
коллиматор K_4 ,	-	-0,50
дефлекторы RF	4,81	1,44
коллиматор K_7 ,	-	-0,46
коллиматор K_8 ,	+10,14	-
коллиматоры K_9-K_{10}	-	+0,94
пузырьковая камера BC	-12,75	-
Коэффициент линейного увеличения по вертикали для изображения коллиматора K_5 на пучковом поглотителе BS_2	-1,13	
Линейные дисперсии частиц при изменении импульса $\Delta p/p = 1\%$:		
коллиматор K_4 ,		+5 мм
коллиматоры K_9-K_{10}		+6 мм
Междефлекторные расстояния:		
дефлектор RF_1 -дефлектор RF_2		30,2 м
дефлектор RF_2 -дефлектор RF_3		39,8 м
Расстояние от дефлектора RF_3 до пучкового поглотителя BS_2		8,5 м
Полная длина канала (Т-BC)		194,2 м

В канале использованы квадрупольные магнитные линзы типа 20K200 ($Q_1 - Q_{17}$), отклоняющие магниты типа СП-129 (M_1, M_2) и СП-12A1 (M_3), характеристики которых представлены в работе^{/21/}. Некоторые технологические элементы канала кратко описаны в работе^{/22/}. Использувавшиеся коллиматоры имеют железные щеки длиной 75 см и дистанционное управление положением каждой щеки. Коллиматоры $K_6 - K_8$ магнитные с индукцией в щеках ~ 14 кгс. Пучок частиц транспортируется по каналу в вакууме $\sim 10^{-2}$ тор. Трасса канала проходит через отверстия в радиационной защите $W_1 - W_4$ (рис. 1).

Настройка канала проведена в пучке вторичных отрицательных частиц с импульсом $p = 22,9$ Гэв/с. Перестройка магнитной оптики на другой импульс или знак заряда частиц осуществляется в первом случае соответствующими изменениями контролируемых градиентов и индукций в линзах и отклоняющих магнитах, во втором случае — переполюсовкой полярностей электропитания магнитных элементов канала. В обоих случаях характеристики пучка, не отклоненного дефлекторами сепаратора, и пространственные распределения отклоненных частиц в фокусах оптической системы канала остаются практически неизменными.

Профили пучка вторичных частиц исследовались однокоординатными проволочными пропорциональными камерами с аналоговым съёмом информации. Пропорциональные камеры, изготовленные в ОИИИ^{/23/} и ИФВЭ^{/24/}, имеют по 48 проволочек с шагом 1,5 мм и 1 мм соответственно. Динамический диапазон амплитуд сигналов с проволочек в цикле срабатывания камеры составляет ~ 100 . Контроль полной интенсивности частиц перед пузырьковой камерой осуществляется с помощью калиброванного большого сцинтилляционного счётчика, подобного описанному в работе^{/25/}, а профили пучка в этом месте измерялись подвижным пальцевым счётчиком с тонким сцинтиллятором, обеспечивающим пространственное разрешение 5 мм. Аналоговые сигналы со счётчиков в динамическом диапазоне амплитуд около 100 преобразовывались в код и регистрировались пересчётными приборами. При относительных изме-

реннях потоков частиц показания счётчиков нормировались на отсчёты монитора Будала.

Настройка оптики канала выполнена с использованием различных модификаций метода тонких лучей и фокальных коэффициентов^{/26/}. Некоторые приемы этого метода иллюстрируются рис. 2. В вертикальной или горизонтальной плоскости щель соответствующего апертурного коллиматора выделяется тонкий пучок. Частицы сфокусированы в заданном поперечном сечении канала по горизонтали (вертикали), когда в этом сечении центр тяжести профиля любого горизонтального (вертикального) тонкого пучка находится на оси оптической системы (рис. 2а). Частицы сфокусированы в щель импульсного коллиматора, когда в плоскости магнитного анализа, в поперечном сечении канала за коллиматором, смещение центра тяжести профиля тонкого пучка пропорционально его наклону на входе в канал относительно оптической оси системы (рис. 2а, б). Фокальные коэффициенты позволяют путем определенного изменения режимов питания линз смещать фокус вдоль оптической оси канала на требуемое расстояние или изменять на требуемую величину угловую расходимость пучка в свободном промежутке в вертикальной, горизонтальной или в обеих плоскостях одновременно.

Для отображения в вертикальной плоскости коллиматора K_5 на пучковый поглотитель B_2 (рис. 1) в коллиматоре формировался действительный фокус. Пучок сфокусирован в щели коллиматора, когда минимальная щель пропускает полный поток падающих на коллиматор частиц^{/27/} (рис. 2в). Профили пропускаемого каналом пучка на коллиматорах исследовались путем измерения потоков частиц перед пузырьковой камерой при сканировании пучка щелью соответствующего коллиматора. Настройка междефлекторной оптики выполнена с использованием дефлекторов и процедура переполсовки полярностей электропитания квадруплетов линз Q_6 Q_7 Q_8 Q_9 и Q_{10} Q_{11} Q_{12} Q_{13} (рис. 1). Использование дефлекторов в указанном случае основано на практической независимости размеров оптического изображения от угловой расходимости пучка на источнике (в промежуточном фоку-

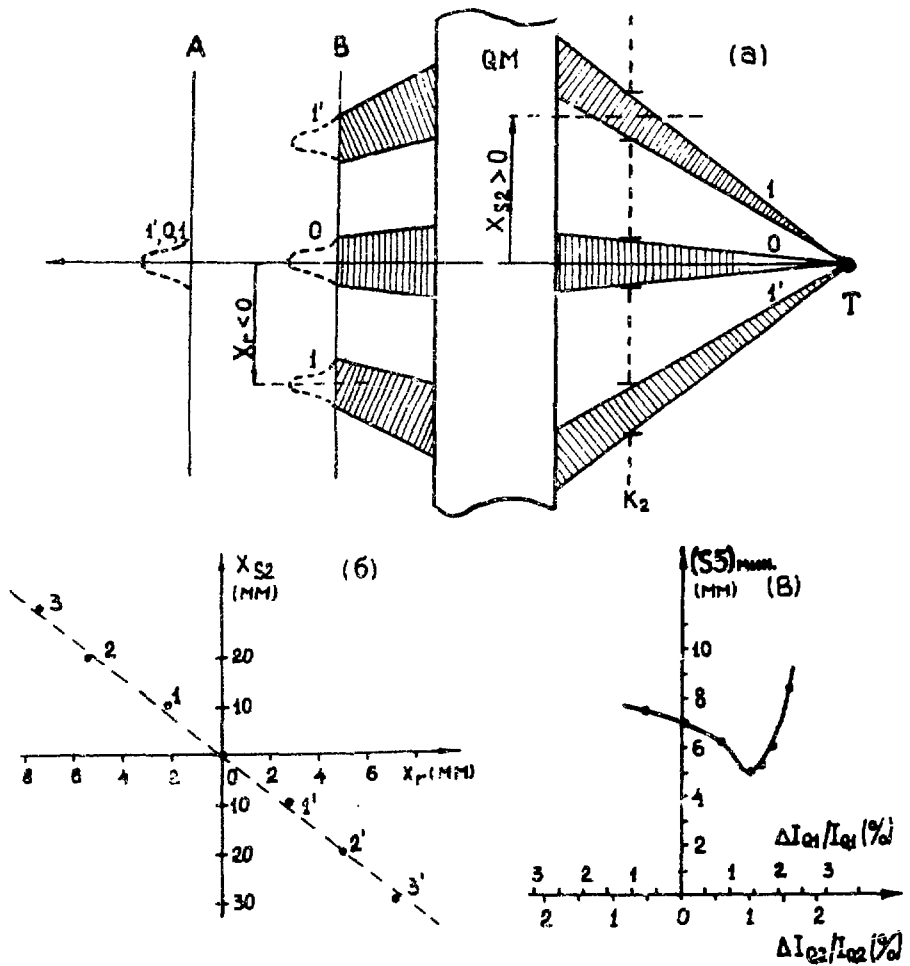


Рис. 2. Некоторые приемы настройки магнитооптической системы канала: (а) - условия фокусировки частиц оптической системой QM в заданное сечение (сечение А) и фокусировки в щель импульсного коллиматора системы в плоскости магнитного анализа (сечение В) методом тонких лучей; (б) - экспериментальная фокусировка вторичных частиц в щель импульсного коллиматора K_4 канала методом тонких лучей; (в) - экспериментальная фокусировка вторичных частиц в щель углоопределяющего коллиматора K_5 канала методом наименьшего сечения пучка ($\Delta I/I$ - относительное изменение тока линзы, $(S5)_{\text{мин}}$ - минимальная пропускающая полный поток частиц щель коллиматора).

се) в то время, как угловая расходимость пучка в изображении меняется.

Пучок частиц в канале был промоделирован на ЭВМ методом Монте-Карло по программе ШУРСОН /28/. При этом профили пучка были рассчитаны в соответствии с пространственным разрешением детекторов частиц, а также динамическим диапазоном амплитуд сигналов с них и нормированы по площади на экспериментальные данные.

Магнитная оптическая ось канала была совмещена с геодезической осью с погрешностью $\pm 1,5$ мм. Фокусировка пучка в заданные точки оптической оси выполнена с продольными отклонениями, не превышающими 0,5 м. Из-за неточностей фокусировки и погрешностей калибровки измерительных токовых шунтов токи в магнитных элементах канала отличаются от рассчитанных на 1-10%. Измеренные методом тонких лучей коэффициенты линейного увеличения для изображения мишени в центре первого дефлектора имели значения -4,6 и +1,7 по вертикали и горизонтали соответственно. Центральный импульс частиц в канале, определенный по отклоняющим силам магнитов, составляет $p = 22,9 \pm 0,2$ Гэв/с. Чувствительность настройки отклоняющих магнитов канала иллюстрируется рис. 3. Распределение частот по импульсам в канале имеет ширину $\Delta p/p \sim \pm 0,42\%$ и $\pm 1\%$ на полувысооте и в основании соответственно (рис. 3а).

Исследование пропускной способности канала показывает (рис. 4а,б), что в рабочих условиях апертурные коллиматоры K_1 и K_2 выделяют поток частиц около 10% от максимального, возможного при рабочей щели импульсного коллиматора $\varphi_{K_4} = 5$ мм. При этом коллиматор K_3 не ограничивает выделенный поток частиц, хотя и снижает максимальную пропускную способность канала (рис. 4в). Зависимость потока частиц перед пузырьковой камерой от смещения рабочей щели коллиматора K_4 показывает (рис. 4г), что полная полоса пропускания канала по импульсам частиц с мишени составляет $\Delta p/p \sim \pm 14\%$. Профиль рабочего пучка частиц на коллиматоре K_5 иллюстрируется рис. 4д.

Характеристики выделенного коллиматорами K_1 - K_5 неотклоненного пучка частиц в центрах дефлекторов и на пучковом поглотителе сепаратора BS_2

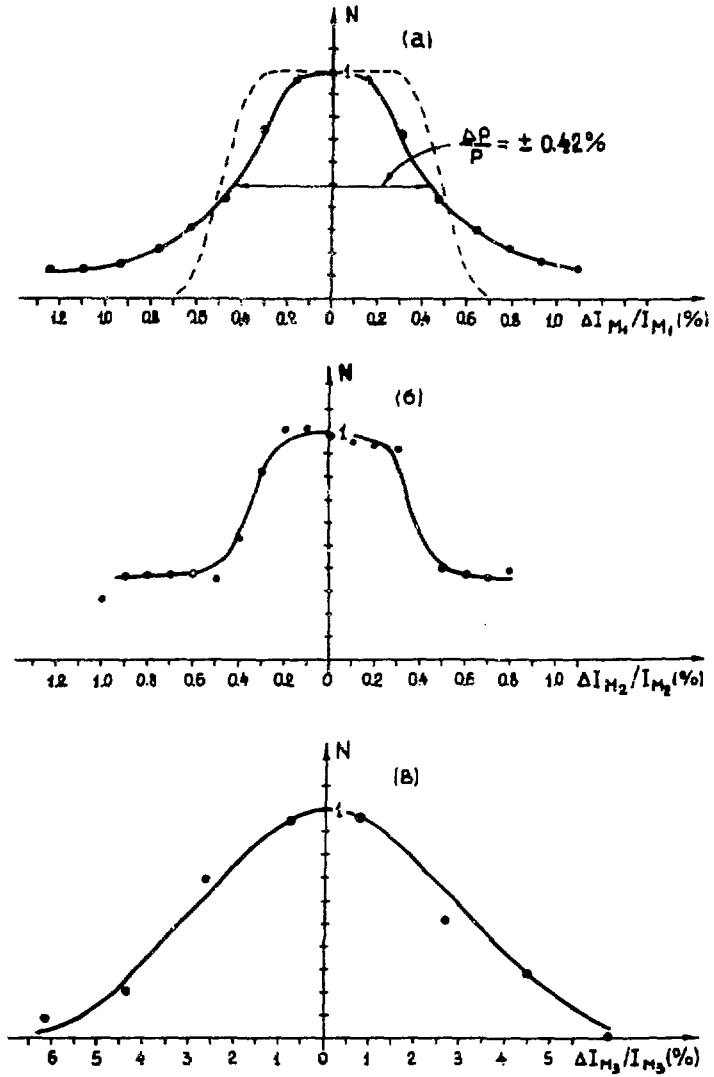


Рис. 3. Потоки вторичных частиц N перед пузырьковой камерой в функции расстройки рабочих токов $\Delta I/I$ отклоняющих магнитов канала (дефлекторы выключены, поглотитель BS_2 выведен из пучка; поток частиц для магнитов M_1 и M_2 измерен большим сцинтилляционным счётчиком, для магнита M_3 – пальцевым счётчиком; пунктирная кривая рассчитана).

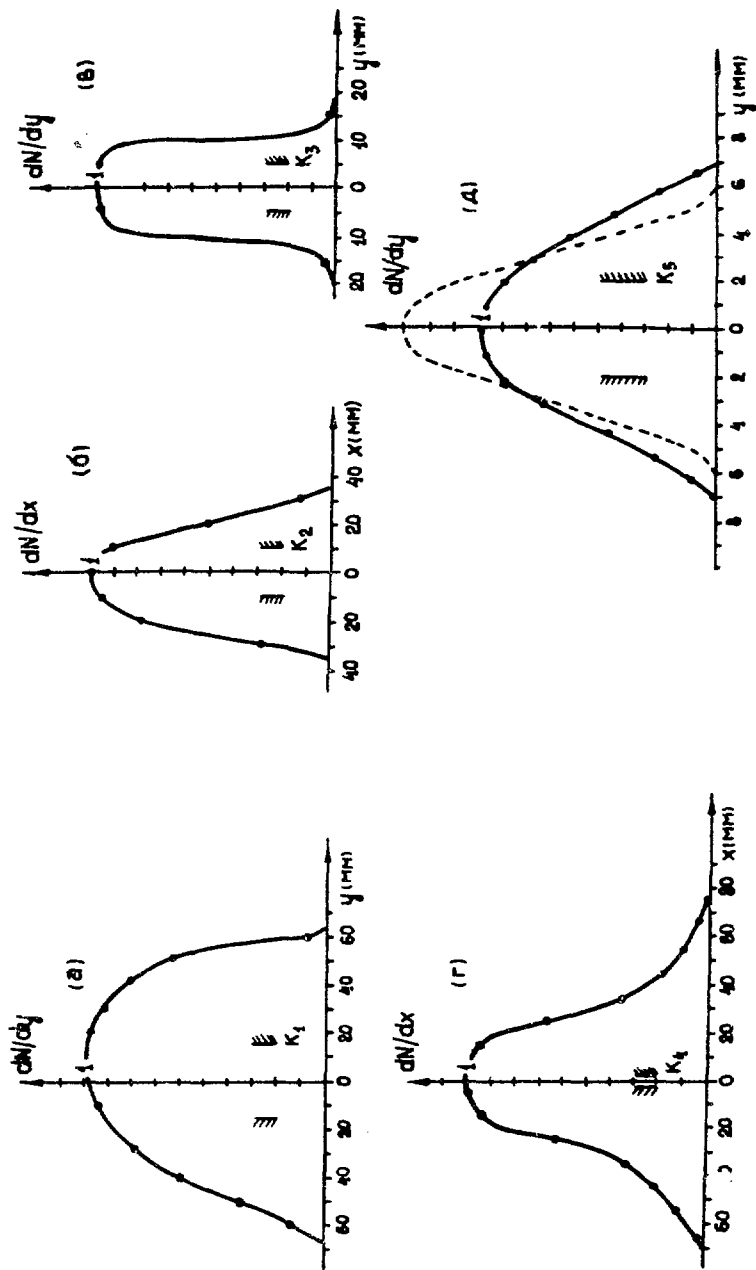


Рис. 4. Экспериментальные профили и рабочие ограничения пучка вторичных частиц на коллиматорах $K_1 - K_5$: (а, б, в) — профили на каждом из коллиматоров измерены при шели $S_4 = 3$ мм и полностью раскрытых остальных коллиматорах канала; (г) — профиль измерен при полностью раскрытых остальных коллиматорах канала; (д) — профиль рабочего пучка на коллиматоре K_5 , выделенного шелем $S_1 - S_4$, при полностью раскрытых остальных коллиматорах канала (пунктирная кривая рассчитана, N — число частиц в относительных единицах).

в вертикальной плоскости представлены на рис. 5а как Φ ширины размера щели коллиматора K_5 . Эти данные позволяют согласовать в плоскости сепарации параметры несклоненного пучка в канале и рабочие параметры самого сепаратора для выделения желаемых частиц (см., например, работу^{/2/}).

Полученный в канале пучок отрицательных частиц был использован для сепарации высокоэнергетичных антипротонов по двухдефлекторной схеме^{/6/}. Выделение антипротонов с центральным импульсом $p = 22,9 \pm \pm 0,2$ Гэв/с осуществлено с помощью дефлекторов RF_1 и RF_3 (рис. 1). При рабочем раскрытии коллиматора K_5 , равном $S_{K5} = 4$ мм, поток частиц на пучковом поглотителе сепаратора составлял $\sim 6\%$ от максимального, возможного в выделенном интервале импульсов $\Delta p/p \sim \pm 0,5\%$. Профили неосклоненного рабочего пучка частиц в центрах дефлекторов и на пучковом поглотителе, полученные с помощью пропорциональных камер, приведены на рис. 5 б-д. Пропорциональные камеры превышали ширины профилей на два межпроводочных интервала. Этот аппаратный эффект объясняет заметное различие экспериментальных и теоретических вертикальных профилей пучка в данных на рис. 5. Рассчитанное с учётом рабочих параметров сепаратора заполнение вертикального акцептанса дефлектора RF_3 вторичными частицами^{/2,7/} при выделении антипротонов иллюстрируется рис. 6 и удовлетворительно согласуется с экспериментальными результатами. На рис. 7 представлены данные, иллюстрирующие характер формирования антипротонного пучка за поглотителем сепаратора. Размеры этого пучка перед пузырьковой камерой (рис. 7 г, д) соответствуют размерам её входного окна (горизонталь \times вертикаль $\sim 120 \times 40$ мм²). Угловые расходимости пучка в пузырьковой камере (расчёт) не превышают $\pm 1,5$ мрад по вертикали и ± 3 мрад по горизонтали.

Рассчитанный выход антипротонов с импульсом $p = 22,9$ Гэв/с и углом рождения 0° из мишени при наведении на нее 10^{11} протонов с энергией 50 Гэв составляет 25-32 частицы в телесном угле I мкстер и импульсном интервале $\Delta p/p = 1\%$. Относительный выход анти-

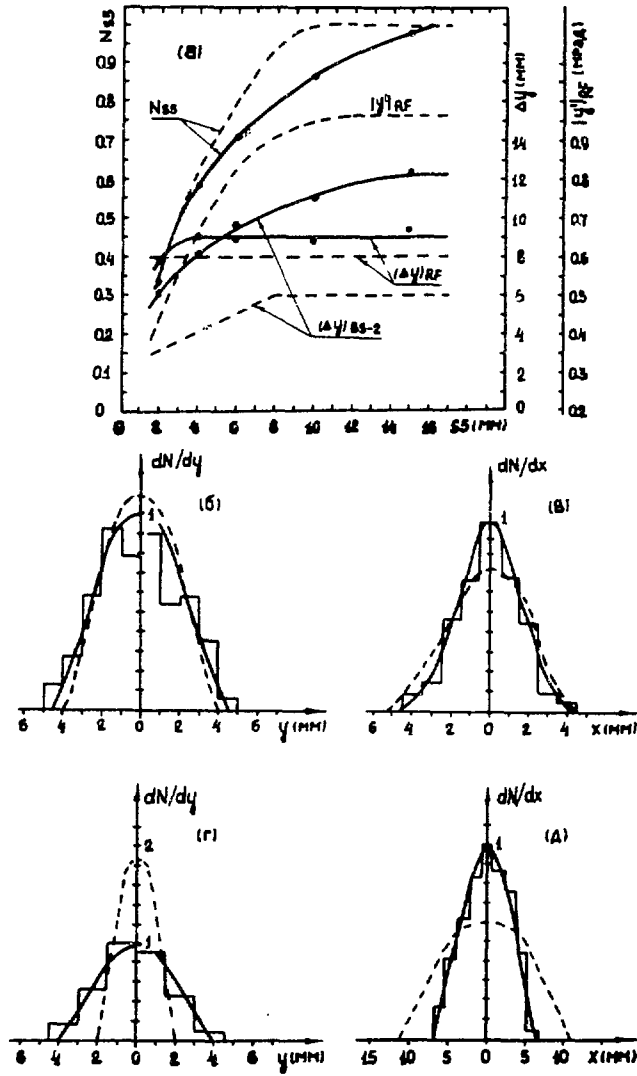


Рис. 5. Характеристики неотклоненного пучка вторичных частиц в центрах дефлекторов и на пучковом поглотителе сепаратора в плоскости сепарации: (а) - ширина профиля по основанию $(\Delta y)_{RF}$ и максимальная угловая расходимость пучка $\pm y'_{RF}$ в центрах дефлекторов, ширина профиля по основанию $(\Delta y)_{BS-2}$ и поток частиц N_{BS5} на поглотителе в функции щели $S5$ коллиматора K_5 при рабочих раскрытиях коллиматоров K_1-K_4 ; (б-д) - профили пучка в центрах дефлекторов (б, в) и на пучковом поглотителе (г, д) при рабочих раскрытиях коллиматоров K_1-K_5 . (Сплошные кривые проведены по экспериментальным гистограммам с пропорциональных камер, пунктирные кривые рассчитаны; N - число частиц в относительных единицах).

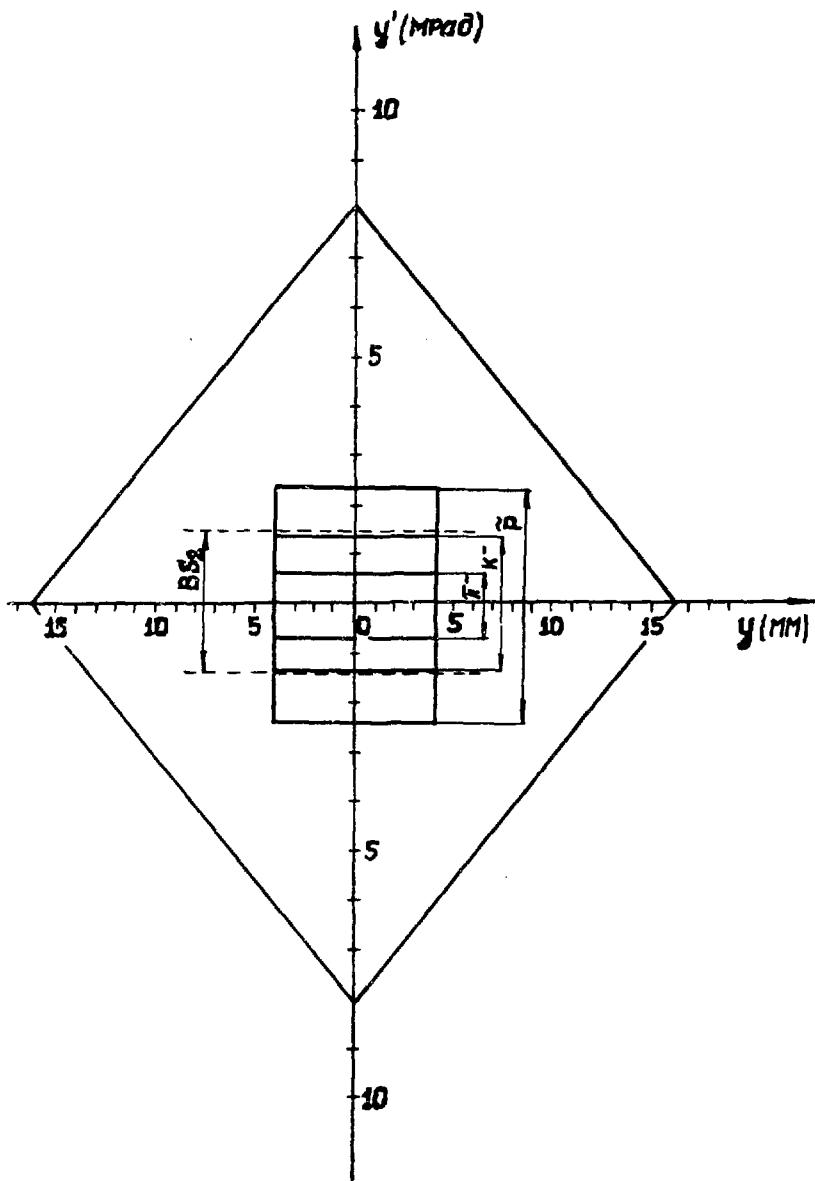


Рис. 6. Теоретическое заполнение вертикального аксептанса дефлектора RF_3 вторичными частицами при сепарации антипротонов в фазовом представлении (пунктирными прямыми показан угол видимости пучкового поглотителя сепаратора из центра дефлектора; вертикальная толщина поглотителя 24 мм; максимальный поперечный импульс частиц в одном дефлекторе $p_{\perp} = 20$ Мэв/с).

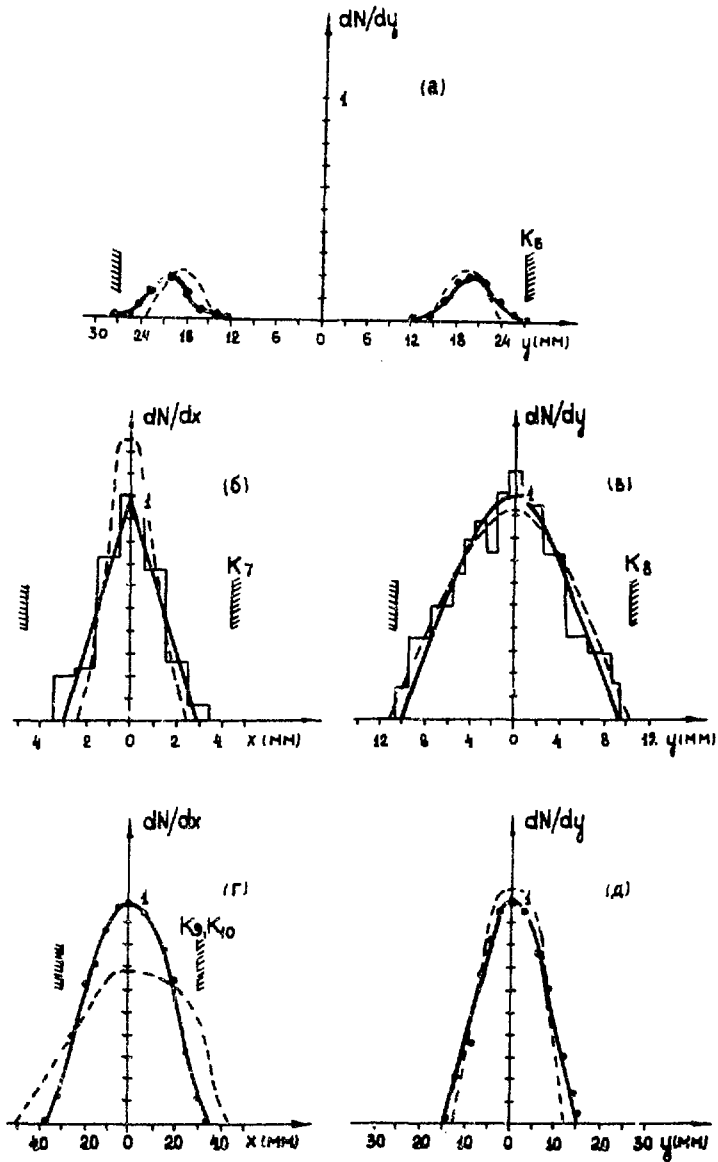


Рис. 7. Профили интегрированного на плоскостях сепарированного антипротонного пучка на коллиматорах $K_6 - K_8$ (а-в) и перед пузырьковой камерой (г, д). (Сплошные кривые на рис. (б, в) проведены по экспериментальным гистограммам с пропорциональных камер; пунктирные кривые рассчитаны; N - число частиц в относительных единицах).

протонов к отрицательным пионам $^{13/}$ ожидался $\sim 3 \cdot 10^{-3}$. В рабочих условиях светосила канала для неотклоненного пучка частиц составляла 2,5 мкстер $\times 1\% \frac{\Delta P}{P}$, прозрачность пучкового поглотителя сепаратора для антипротонов $\sim 0,5$, и на мишень наводились порядка $3 \cdot 10^{10}$ протонов в импульсе. В этом случае в пузырьковой камере можно было ожидать 9–12 антипротонов в импульсе.

Результаты просмотра большой серии тестовых фотографий показали, что в импульсе в пузырьковую камеру вводились 4–5 антипротонов. При этом в пузырьковой камере пучковоподобные мюоны составляли 2%, а отрицательные пионы не превышали 1% от числа антипротонов. Экспериментальные оценки относительного содержания антипротонов к отрицательным пионам в несепарированном пучке частиц дали значение $3,6 \cdot 10^{-3}$.

Представленные в статье результаты теоретических и экспериментальных исследований характеристик магнитооптической системы канала хорошо согласуются и будут способствовать улучшению параметров существующего антипротонного пучка и созданию пучков других сепарированных частиц для облучения жидководородной камеры "Людмила".

В заключение авторы выражают признательность И.Р.Ямпольскому, В.С.Кузнецову, А.В.Алексееву, А.А.Борисову, В.Д.Пемехонову, С.П.Черненко, Б.С.Широкову, А.Б.Иванову за создание проволочных пропорциональных камер и помощь при наладке канала, А.П.Бугорскому и В.И.Курбакову за создание детектора вторичной эмиссии и выполнение с его помощью измерения, а также многим сотрудникам ИФВЭ и ОИЯИ, способствовавшим выполнению настоящей работы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. W.Schnell. Preprint CERN 61-5, Geneva, 1961.
2. P.Bernard, P.Lazeugas, H.Lengeler et al. Preprint CERN 68-29, Geneva, 1968.
3. H.W.J.Foelsche, H.Nahn, H.J.Halama et al. Rev. Sci. Instr., 38, 879 (1967).
4. Ф.Бернард, Н.А.Галаяв, А.Грант и др. Препринт ИФВЭ 73-10, Серпухов, 1973

5. И.В.Вогуславский, Ю.Г.Борзунов, В.И.Векслер и др. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер, ОИЯИ 13-4466, Дубна, 1969, стр. 43.
6. А.В.Самойлов, Ю.М.Сапунов, А.М.Фролов. Труды II Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т. II, М., "Наука", 1972, стр. 190.
7. В.М.Левин, В.А.Мерингоф, В.А.Смирнов и др. Труды II Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т. II, М., "Наука", 1972, стр. 229.
8. К.П.Мизников, Ю.М.Сапунов, В.М.Татаренко и др. Препринт ИФВЭ 68-57, Серпухов, 1968.
9. А.А.Асеев, А.И.Дрождин, Б.А.Зеленов и др. ЖТФ, 44, 119 (1974); препринт ИФВЭ 73-27, Серпухов, 1973.
10. А.М.Балден, Н.М.Вирясов, Б.Б.Говорков и др. Препринт ОИЯИ - ФИАН - ИФВЭ PI-6212, Дубна, 1972.
11. В.А.Машаев, А.В.Самойлов, Ю.М.Сапунов и др. Препринт ИФВЭ 73-7, Серпухов, 1973.
12. С.С.Герштейн, А.В.Самойлов, Ю.М.Сапунов и др. АЭ, 35, 181 (1973); Nucl. Instr. Meth. 112, 477 (1973); препринт ИФВЭ 72-93, Серпухов, 1972; CERN Courier, 12, 330 (1972).
13. H.Grote, R.Hagedorn, J.Rauf. Atlas of Particle Production Spectra, CERN, Geneva, 1970.
14. Ю.П.Горин, С.П.Денисов, С.В.Донсков и др. Препринт ИФВЭ 73-22, Серпухов, 1973.
15. K.Budal. Preprint CERN 67-17, Geneva, 1967.
16. V.Agoritsas. Symp. on Beam Intensity Measurement, Daresbury, 1968, p. 117.
17. А.Бенфорд, Транспортировка пучков заряженных частиц, М., Атомиздат, 1969, стр. 50 (перевод с английского).
18. E.Regenstreif. Proc. of the VI Intern. Conf. on High Energy Accelerators, A-172, Cambridge, 1967; preprint CERN 67-8, Geneva, 1967.
19. N.M.King. Proc. of Intern. Conf. on High Energy Accelerators, Brookhaven, USA, 1961, p. 422.
20. И.Александров, В.Карташев, А.Самойлов. Препринт ИФВЭ 67-18, Серпухов, 1967.
21. А.В.Алексеев, М.Д.Веселов, В.С.Кузнецов и др. Препринт ИФВЭ 68-62, Серпухов, 1968.
22. И.А.Александров, М.И.Грачев, К.И.Гуориненко и др. АЭ, 29, 29 (1970); препринт ИФВЭ 69-36, Серпухов, 1969.
23. Ю.В.Заневский, А.Б.Иванов, М.Н.Михайлова и др. Препринт ОИЯИ 13-7015, Дубна, 1973.

24. А.В.Алексеев, А.А.Борисов, В.Ю.Глебов и др. Препринт ИФВЭ 74-18, Серпухов, 1974.
25. I. Lehraus, R. Matthewson. Nucl. Instr. Meth. 49, 93 (1967).
26. P. Lazeugas. Preprint CERN/D Ph.II/Beam 67-2, Geneva, 1967.
27. В.И.Котов, В.В.Миллер. Фокусировка и разделение по массам частиц высоких энергий. М., Атомиздат, 1969, стр. 32.
28. D.H.Stork, J.L.Lloyd. Preprint CERN/D. Ph. 11/DL/hm, Geneva, 1969.

Рукопись поступила в издательскую группу
5 апреля 1974 года.



Цена 11 коп.

© Институт физики высоких энергий, 1974

Издательская группа И Ф В Э

Заказ 382. Тираж 260. 0,9 уч.-изд.л. Т-10838.

Июнь 1974. Редактор Н.В. Ежела.