

B-611

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна .



13 - 3319

А.С. Вовенко, Т. Добровольский, М.Ф. Лихачев,
Ю.А. Матуленко, В.С. Ставинский

ПУЧОК ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ЧАСТИЦ С ИМПУЛЬСОМ
2-5 ГЭВ/С НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1967.

13 - 3319

5030/3 стр.

А.С. Вовенко, Т. Добровольский, М.Ф. Лихачев,
Ю.А. Матуленко, В.С. Ставинский

ПУЧОК ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ЧАСТИЦ С ИМПУЛЬСОМ
2-5 ГЭВ/С НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
СИБИРСКОГО ЦЕНТРА

Для измерения энергетической зависимости дифференциальных сечений упругого $\pi^+ p$ -рассеяния на угол вблизи 180° в интервале импульсов 2-5 Гэв/с^{1/} на синхрофазотроне ОИЯИ был сформирован пучок положительных частиц. Этот пучок был создан на основе старого пучка, использовавшегося в первых экспериментах по упругому $\pi^+ p$ -рассеянию назад^{2,3/}. Старый пучок имел небольшой разброс по импульсу $\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,4\%$ и угловую расходимость 6 мрад в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На этом пучке имелась возможность фокусировки частиц с импульсом до 6,5 Гэв/с.

Для успешного проведения нового эксперимента требовалось увеличение интенсивности пучка π^+ -мезонов. Интенсивность пучка была повышена в несколько раз за счет перестройки старого магнитного канала, которая позволила увеличить телесный угол почти в 2 раза и $\frac{\Delta p}{p}$ в пучке - до $\pm 1\%$. При этой перестройке увеличилась угловая расходимость пучка и значение максимального импульса, который еще можно было сфокусировать в этом канале, снизилось до 4,8 Гэв/с.

1. Описание канала

Канал положительных частиц располагался внутри кольца ускорителя (рис.1). Вторичные положительные частицы, вылетающие из мишени, помещенной в области основного магнитного поля ускорителя, проходили в нем путь длиной около 6 метров и через окно в боковой стенке вакуумной камеры выходили наружу. Магнитный канал состоял из четырех квадрупольных линз $L_1 - L_4$ с апертурой

6 15 см (линзы L_1 , L_2 и L_4 типа МЛ-15 и линза L_3 типа МЛ-14) и двух поворотных магнитов M_1 и M_2 (M_1 - магнит типа СП-84, M_2 - типа СП-57). С помощью этих элементов магнитного канала пучок фокусировался на водородную мишень H_2 . Магниты M_3 , M_4 и M_5 входили в состав спектрометра, который использовался для анализа по импульсу вторичных заряженных частиц от взаимодействия π^+ -мезонов на водородной мишени.

Начиная от стенки вакуумной камеры и кончая линзой L_4 на пути пучка создавался вакуум, что предотвращало уширение пучка из-за кулоновского рассеяния частиц на воздухе. Проведенные расчеты показали, что в принятой нами оптической схеме фокусировки пучка из-за кулоновского рассеяния существенно уширяется профиль по вертикали на водородной мишени. При высоте сцинтиллятора перед водородной мишенью 56 мм ожидалось, что около 50% пучковых частиц не попадет в этот сцинтиллятор, а при наличии вакуумпровода потери практически отсутствуют.

II. Расчет оптической схемы канала

При проектировании магнитного канала для положительных частиц стремились вывести пучок максимального импульса. При этом приходилось считаться с предельно допустимыми магнитными полями в стандартных магнитах и линзах и конструктивными особенностями магнита ускорителя. Приемлемое решение было найдено при выводе пучка через окно в боковой вакуумной стенке ускорителя в 1,7 метра от прямолинейного промежутка. Пучок в области, свободной от магнитного поля, шел под углом $18^\circ 15'$ (см. рис. 1) к продольной оси прямолинейного промежутка синхрофазотрона.

Для нахождения координат мишени внутри ускорителя просчитывались траектории в направлении, обратном направлению движения частиц с мишени для различных импульсов. Расчет производился на вычислительной машине М-20 по стандартной программе 1047-2. Эти расчеты показали, что по выбранному нами направлению можно вывести под нулевым углом частицы с импульсом от 3,70 до 4,90 Гэв/с при максимальной энергии в ускорителе, равной 10 Гэв. Ограничение на диапазон импульсов, выводимых в канал, обусловлены тем, что мишени

в камере синхрофазотрона можно устанавливать по радиусу в пределах ± 30 см от равновесной орбиты, где еще возможна устойчивость ускоренного протонного пучка.

В канал можно вывести импульсы меньше 3,70 Гэв/с за счет уменьшения энергии протонного пучка синхрофазотрона. После нахождения координат мишени в камере ускорителя производился расчет траекторий частиц с мишени в прямом направлении. Эти расчеты производились по программе 1047-1. При этом варьировались в небольших пределах следующие параметры: углы вылета частиц в горизонтальной и вертикальной плоскостях, горизонтальная и вертикальная координаты мишени и импульс частиц. В результате расчета определялось положение мнимого источника, коэффициенты увеличения в горизонтальной и вертикальной плоскостях и дисперсия частиц по импульсу.

Для проведения эксперимента использовались две мишени T_1 и T_2 . С мишени T_1 выводился пучок 10 Гэв/с, а с T_2 - 4,85 Гэв/с при максимальной энергии в ускорителе. В таблице 1 приведены величины, характеризующие фокусировку этих пучков в поле ускорителя.

Т а б л и ц а 1

	Мишень T_1	Мишень T_2
l (метров)	5,7	7,0
L_r (метров)	-16,2	-15,6
L_v (метров)	+2,05	+2,6
M_r	-2,84	-2,0
M_v	0,38	0,30
$D \left(\frac{\text{см}}{1\% \frac{\Delta p}{p}} \right)$	5,15	5,30

В этой таблице l_0 - расстояние от мишени до центра выводного окна в вакуумной камере, L_r и L_v - кажущееся положение мишени после учета фокусировки пучка полем ускорителя в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно. Величины l_0 , L_r и L_v отсчитываются от центра выводного окна. Если кажущееся положение мишени ожидается в прямом направлении по ходу пучка, то

величины L_{Γ} и $L_{\text{В}}$ берутся положительными. Через M_{Γ} и $M_{\text{В}}$ обозначены коэффициенты увеличения в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а через D — дисперсия частиц по импульсу в месте кажущегося положения мишени в горизонтальной плоскости.

Как видно из таблицы, пучок частиц, выходящий из ускорителя, фокусируется в горизонтальной плоскости и дефокусируется в вертикальной.

Из всех возможных оптических схем канала была выбрана такая, которая обеспечивала наибольший телесный угол. При выборе схемы фокусировки приходилось считаться с недостатком места для размещения магнитов и линз и малой длиной канала (расстояние от первой линзы до водородной мишени составляло 13 м). При расчетах фокусировки частиц квадрупольную линзу считали тонкой с фокусными расстояниями f_{+} и f_{-} в фокусирующей (Φ) и дефокусирующей (D) плоскостях, удовлетворяющих соотношению $f_{+} - |f_{-}| = l/3$, где l — эффективная длина полюса линзы.

На рис. 2 приведена выбранная оптическая схема канала. Дублет из линз L_1 и L_2 фокусировал пучок по горизонтали на импульсный коллиматор K_1 , а по вертикали пучок из этого дублета выходил слегка расходящимся. Слабая линза L_3 из-за близкого расположения к импульсному коллиматору K_1 почти не влияла на движение частиц в горизонтальной плоскости, но позволяла получать в вертикальной плоскости сходящийся пучок за линзой L_4 . Линза L_4 в горизонтальной плоскости фокусировала частицы, прошедшие через импульсный коллиматор, на водородную мишень. В вертикальной плоскости плоскости линза L_4 несколько дефокусировала пучок, перенося изображение мишени, даваемое всеми предыдущими линзами непосредственно за линзой L_4 , на водородную мишень.

Магниты M_1 и M_2 только поворачивали пучок и не влияли заметным образом на дисперсию пучка по импульсу, во-первых, из-за его собственной большой дисперсии, и во-вторых, из-за их близкого расположения к промежуточному изображению пучка в горизонтальной плоскости.

Полярность ДФ дублета из L_1 и L_2 в горизонтальной плоскости обеспечивала в нашем случае наибольший телесный угол канала. Как известно, дублет обычных квадрупольных линз имеет в плоскости ДФ примерно в 2 раза меньшую апертуру, чем в плоскости ФД. Поскольку горизонтальный размер пучка, выходящего из камеры ускорителя, не превышал половины величины апер-

туры линзы L_1 , то разумно было взять в этой плоскости полярность дублета ДФ с тем, чтобы полностью использовать апертуру этого дублета в вертикальной плоскости.

Точный подбор режимов линз при их заданном расположении осуществлялся по программе "Фокус". При этом также учитывалось фокусирующее действие магнитов. Оптическая схема пучка на рис. 2 нарисована в соответствии с этими расчетами.

Коэффициент увеличения всей оптической системы с учетом фокусирующего действия поля ускорителя составлял в вертикальной плоскости 2,25, а в горизонтальной 0,55 для мишени T_1 . Для мишени в камере ускорителя высотой 5 мм и шириной 4 мм ожидалось на водородной мишени изображение высотой 11 мм и шириной 2 мм для пучка с нулевым $\frac{\Delta p}{p}$ (абберации в линзах и магнитах не учитывались при этих оценках). Для пучка с $\frac{\Delta p}{p} = \pm 1\%$ ожидаемое изображение должно было расширяться по горизонтали из-за дисперсии до 25 мм, а по вертикали до 40 мм из-за хроматической абберации линз, обусловленной большим коэффициентом увеличения в этой плоскости.

Ожидаемая угловая расходимость пучка в горизонтальной плоскости не должна превышать ± 16 мрад, а в вертикальной ± 8 мрад. Эти оценки вытекают из размеров пучка в линзе L_4 и расстояния до водородной мишени.

Расчетный телесный угол канала для мишеней T_1 и T_2 составлял $\approx 1,0 \cdot 10^{-4}$ стерadians.

III. Экспериментальная процедура настройки канала и результаты

Для получения на магнитах и линзах расчетных полей необходимо знать для линз зависимость градиента поля от тока, а для магнитов (при выбранном угле поворота) — связь импульса частиц с током на магните, поскольку при расчетах фокусировки пучка используются градиенты для линз и углы поворота для магнитов. С помощью токнесущей нити с точностью $\pm 1\%$ отклоняющие магниты M_1 и M_2 были прокалиброваны от 2,0 до 6,5 Гэв/с и с помощью датчиков Холла измерена зависимость градиента от тока с точностью $\pm 0,5\%$ для двух линз типа МЛ-15. Результаты измерений градиента в линзе МЛ-15 представлены на рис. 3.

Экспериментальная процедура наладки пучка осуществлялась с помощью измерения профилей пучка. Для этого использовался монитор по каналу из счетчиков S_1 и S_2 (см. рис. 1) с размерами сцинтилляторов, достаточными для перекрытия всего пучка, и две пары сцинтилляционных счетчиков для снятия профилей пучка. Счетчики для снятия профилей пучка имели дистанционное управление и могли плавно менять свои координаты в пределах до ≈ 300 мм. Одна пара таких счетчиков была расположена на месте водородной мишени (положение I), а другая — за ней по пучку на расстоянии 3,7 м (положение II). В каждой паре один из счетчиков мог передвигаться по горизонтали, а другой — по вертикали. В счетчиках использовались узкие пластиковые сцинтилляторы (в первой паре сцинтилляторы имели ширину 2 мм и длину 120 мм, а во второй — 10 мм и 250 мм соответственно). Каждый из этих "бегающих" счетчиков включался на совпадения со счетчиками S_1 и S_2 .

Поскольку характеристики пучка зависят от шести переменных параметров — токов на линзах и магнитах, то для настройки канала необходимо было выбрать правильную их последовательность. В эксперименте по изучению дифференциального сечения упругого π^+ р — рассеяния назад в интервале 2–5 Гэв/с^{1/2} магнит M_2 не использовался для поворота пучка и число переменных параметров при фокусировке пучка в этом случае сократилось до 5. Кроме того специальным рассмотрением оптики пучка оказалось возможным свести число независимых параметров до 4, задавая на линзах L_2 и L_3 одинаковые токи.

Настройку канала начинали с подбора тока на поворотном магните M_1 , поскольку, во-первых, значение тока на нем не зависит от режима квадрупольных линз и, во-вторых, при неправильном токе на нем пучок может не пройти через импульсный коллиматор. При этом на всех линзах устанавливались расчетные значения токов. При правильном токе на магните профиль по горизонтали в положении II должен быть самым широким и симметричным относительно выбранной оси пучка. В противном случае, как это видно из оптической схемы пучка (рис. 2), через импульсный коллиматор будут проходить частицы в основном из правой или левой сторон полюса магнита M_1 . При этом апертура линзы L_4 будет заполняться не симметрично и не полностью, что приведет к сужению и смещению с оси горизонтального профиля пучка в положении II. Ширина и положение горизонтального профиля в положении I не были чувствительны к режиму магнита M_1 ,

поскольку в этом месте мы имели изображение щели импульсного коллиматора линзой L_4 .

После подбора режима магнита M_1 проверялась правильность установленного режима линзы L_4 . При правильном значении тока ширина профиля по горизонтали в положении I должна быть минимальной (на рис. 4 показан профиль пучка по горизонтали в этом месте).

В ходе настройки режима линз L_1 и L_2 встретились наибольшие трудности, поскольку из-за отсутствия сведений о рассеянном поле ускорителя в районе вывода не было в достаточной степени известно, как фокусируются пучок полем. Для заданного режима линзы L_2 легко подбирается режим L_1 , соответствующий вертикальной фокусировке пучка на водородную мишень, так как вертикальный профиль в положении I очень чувствителен к току на линзе L_1 . (На рис. 5 показан профиль пучка по вертикали в этом месте). Но при этом нет уверенности, что пучок по горизонтали фокусируется на импульсный коллиматор. При плохой фокусировке через коллиматор проходят частицы с большим разбросом по импульсу, чем при хорошей, а интенсивность в канале не зависит от тока на линзе L_2 , если на L_1 установлен ток, соответствующий вертикальной фокусировке пучка на водородную мишень. Для проверки правильности горизонтальной фокусировки пучка на импульсный коллиматор использовался спектрометр из двух сильнофокусирующих магнитов M_4 и M_5 ^{1/4}, разрешающая способность которого зависела от разброса по импульсу частиц в пучке. Для того, чтобы направить пучок в спектрометр, включался магнит M_3 (типа СП94). На рис. 6 показана зависимость отсчетов счетчика в максимуме кривой по токам в магнитах спектрометра от тока на L_2 (на L_1 устанавливался ток, соответствующий вертикальной фокусировке пучка). Окончательно на L_2 устанавливался ток, соответствующий максимуму кривой на рис. 6. Этот ток оказался на 4% меньше расчетного.

После подбора режима L_1 и L_2 настройка канала заканчивалась.

В эксперименте^{1/1} приходилось 13 раз перестраивать режим канала при переходе с одной энергии на другую. В связи с тем, что описанная процедура настройки канала занимала довольно много времени (около 20 часов), то имело смысл эту настройку провести для двух сильно отличающихся импульсов, а для остальных импульсов, используя эти два полученных режима, процедуру наладки

канала существенно сократить по времени. Для всех импульсов кроме 2,25 и 4,03 Гэв/с подбирались токи только для магнита M_1 и линзы L_1 , а на остальных линзах использовались расчетные токи, получаемые из интерполяции или экстраполяции по импульсу режимов для 2,25 и 4,03 Гэв/с. Процедура наладки канала в этом случае сводилась только к изучению зависимости интенсивности в канале, регистрируемой телескопом из счетчиков S_1 и S_2 (в этом случае в S_2 стоял сцинтиллятор размером $56 \times 56 \text{ мм}^2$) от режима L_1 и M_1 . Мониторинг осуществлялся другим телескопом из трех счетчиков, расположенным сбоку от линз L_1 и L_2 и регистрировавшим частицы с этой же мишени. Из рис.7, где для импульса 2,94 Гэв/с приведены кривые зависимости интенсивности в канале от тока на линзе L_1 и магнита M_1 , видно, что этот способ позволяет с точностью (1-2)% подобрать их режимы. На пучке с импульсом 2,25 Гэв/с оба описанных способа наладки пучка дали одинаковые результаты и имели одинаковую чувствительность, но использование второго способа позволило сократить затрачиваемое на наладку пучка время до 1-2 часов.

После того, как наладка канала на максимум интенсивности в нем заканчивалась, определялся средний импульс пучка по кривой зависимости от давления эффективности регистрации π^+ -мезонов газовым пороговым черенковским счетчиком. Совпадение экспериментального режима канала с расчетным было хорошим. На рис. 8 расчетный режим линз L_1 (сплошная кривая) сравнивается с экспериментальным (крестики) для разных импульсов. Расхождение между экспериментальным и теоретическим режимом для линзы L_1 не более 1%. Режим линзы L_2 , как уже говорилось ранее, отличался на 4% от расчетного. Поскольку чувствительность процедуры горизонтальной фокусировки была в несколько раз хуже, чем чувствительность процедуры вертикальной фокусировки, то можно считать, что и для режима линзы L_2 согласие с расчетным оказалось неплохим.

Данные об интенсивности использованных в эксперименте пучков приведены в таблице II. Импульсы 4,26, 4,54 и 4,70 Гэв/с получены с мишени T_2 , а все остальные с мишени T_1 . Мишень, использовавшаяся для получения вторичных пучков π^+ -мезонов, была изготовлена из латуни и имела длину по пучку 100 мм.

Т а б л и ц а II
Данные об интенсивности пучков π^+ -мезонов с 10 см латунной мишени

Импульс пучка π^+ (Гэв/с)	Импульс первичного Р-пучка (Гэв/с)	Доля π^+ в пучке (%)	Интенсивность π^+ в канале на 10^{10} в ускорителе	$\frac{d^2 N}{d\Omega d p}$ число π^+ на стер. Гэв/с 1 протон в ускорителе
4,70	10,6	-	2500	0,042
4,54	10,2	-	2400	0,041
4,26	10,2	19	2100	0,040
4,03	10,7	-	5000	0,091
3,84	10,2	-	4000	0,076
3,66	9,7	-	2800	0,056
3,46	9,15	-	2200	0,047
3,19	8,5	35	2200	0,051
2,94	7,9	-	2000	0,051
2,79	7,4	-	1800	0,047
2,55	6,8	-	1400	0,041
2,25	6,0	29	800	0,026
2,06	5,4	-	850	0,031

В таблице II и на рис. 9 приведены также данные по величине

$$\frac{d^2 N}{dp d\Omega} \left[\frac{\text{число } \pi^+ \text{-мезонов}}{\text{Гэв/с, стер., протон}} \right] \text{ для мишеней } T_1 \text{ и } T_2.$$

При вычислении этой величины вносились поправки на распад и взаимодействие π^+ -мезонов. Из таблицы видно, что получение пучков меньшего импульса за счет соответствующего снижения энергии первичного протонного пучка приводит к заметному снижению интенсивности этих пучков за цикл ускорения. Однако интенсивность в единицу времени для пучков меньших энергий падала медленнее, чем это следует из таблицы II, из-за укорочения длительности цикла при ускорении до меньших энергий (при режиме ускорения протонов до 5,4 Гэв/с длительность цикла ускорения сокращалась почти в 2 раза по сравнению с максимальной).

Полученные нами данные по выходу π^+ -мезонов можно сравнить с данными, полученными на Арагонском ускорителе с Ве-мишени при энергии первичного пучка 12,5 Гэв^{1/5}. Эти данные получены на выведенном протонном пучке в виде зависимости дифференциального сечения $\frac{d^2 \sigma}{dp d\Omega}$ от импульса вторичных частиц для углов от 2 до 16° в лабораторной системе. В таблице III представлены данные по $\frac{d^2 \sigma}{d\Omega dp}$, заимствованные из этой работы, в области интересующих нас импульсов π^+ -мезонов.

Т а б л и ц а III

Импульс π^+ (Гэв/с)	$\frac{d^2 \sigma}{d\Omega dp}$ (мб/стер Гэв/с)	$\frac{d^2 \sigma}{d\Omega dp} = (4^\circ)$ (мб/стер Гэв/с)
3,5	160	90
4,3	120	60
5,0	70	45
5,7	50	22

Из таблицы III видно, что для указанных импульсов выход π^+ сильно падает с увеличением угла. Для того чтобы оценить сечение рождения π^+ -мезонов для нулевого угла и энергии протонного пучка 10 Гэв, воспользуемся эмпирической формулой I. Raut^{1/8} для спектра π -мезонов от взаимодействия протонов с Ве-мишени

$$\frac{d^2 N}{dp d\Omega} = A_1 p^{A_2} p_0^{A_3} \exp\{-B_1 p^{B_2} p_0^{B_3} - C_1 p^{C_2} p_0^{C_3} \theta^{C_4}\}$$

$$\frac{\text{число } \pi^+}{\text{Гэв/с, стер., взаим. протон}}$$

где p - импульс вторичного π^+ -мезона в Гэв/с, p_0 - импульс первичного протона в Гэв/с и θ - угол π^+ в лаб. системе. Величины A_1, B_1, C_1 - константы, приведенные в таблице IV.

Т а б л и ц а IV

A_1	A_2	A_3	B_1	B_2	B_3	C_1	C_2	C_3	C_4
0,036	0,88	1,08	2,93	1,81	-1,47	3,31	1,18	0,20	1,38

Проведенные оценки по этой формуле показывают, что выход π^+ -мезонов с импульсом 4-5 Гэв/с под 0° от пучка протонов с энергией 10 Гэв должен быть на 70-80% меньше, чем выход π^+ -мезонов под углом 2° от пучка протонов с $E = 12,5$ Гэв.

Будем также считать, что отношение дифференциальных сечений для рождения π^+ -мезонов на меди и бериллии равно отношению их геометрических сечений $(\frac{A_{Cu}}{A_{Be}})^{2/3} \approx 3,8$. Это предположение, видимо, достаточно хорошо выполняется для малых углов. В работе^{1/7} показано, что отношение выхода π^+ -мезонов под углом 13° для Pt и Ве соответствуют отношению геометрических сечений.

Полученные нами данные по выходу π^+ -мезонов с мишеней T_1 и T_2 при энергии 10 Гэв согласуются с ожидаемым выходом, если эффективность взаимодействия пучка с мишенью составляет 40-50%. Переход от дифференциального сечения $\frac{d^2 \sigma}{d\Omega dp}$ к величине $\frac{d^2 N}{dp d\Omega}$ производился с помощью соотношения

$$\frac{d^2 N}{dp d\Omega} = n_{\text{ядер}} \eta \epsilon \frac{d^2 \sigma}{d\Omega dp},$$

где $n_{\text{ядер}}$ - число ядер в мишени, ϵ - эффективность взаимодействия пучка с мишенью, а η - коэффициент, учитывающий выбывание первичных протонов и вторичных π^+ -мезонов в веществе мишени, который в нашем случае брался равным 0,80.

Выводы

Использованная методика расчета траекторий частиц в ускорителе и фокусировки пучка дала результаты, которые в пределах чувствительности экспериментальной методики совпадают с экспериментальными.

Данные по выходу π^+ -мезонов с 10 см латунной мишени достаточно хорошо совпадают с другими данными из работы /5/. Показано, что при уменьшении энергии первичного пучка интенсивность пучка π^+ -мезонов с соответственно уменьшившимся импульсом резко падает.

Мы благодарны А.Л. Любимову за постоянный интерес к работе, И.А. Савину и Сью Юн-чану за большой вклад, внесенный ими в создание магнитного канала, В.В. Миллеру за расчеты по программе "фокус", А.Д. Кириллову за консультации и советы, В.К. Бирулеву, Б.Н. Гуськову, И.Н. Какуриану, Н.И. Чернышову, В.Г. Первозчикову, А. Завгороднему, А.Н. Лебелеву и С. Краснову за помощь в создании канала.

Литература

1. А.С. Вовенко, Б.Н. Гуськов, Т. Добровольский, М.Ф. Лихачев, А.Л. Любимов, Ю.А. Матуленко, В.С. Ставинский. Препринт ОИЯИ Р1-3008, Дубна 1966 и Phys.Lett. 24B,203 (1967).
2. I.A.Savin, A.S.Vovenko, B.N.Gus'kov, M.F.Likchachev, A.L.Lyubimov, Ju. A.Matulenko, V.S.Stavinsky. Phys.Lett., 17,68,1965.
3. А.С. Вовенко, Б.Н. Гуськов, М.Ф. Лихачев, А.Л. Любимов, Ю.А. Матуленко, И.А. Савин, В.С. Ставинский. Письма в ЖЭТФ, т.П ., 409 (1965).
4. А.С. Вовенко, М.Ф. Лихачев, Ю.А. Матуленко, И.А. Савин, В.С. Ставинский, Сью Юн-чан. Препринт ОИЯИ 13-3318, Дубна 1967.
5. R.A.Lundy, T.B.Novey, D.D.Yovanovitch, V.L.Telegdi Phys.Rev.Lett., v.14,504 (1965).
6. I.Ranft. An empirical formula which fits the spectra of secondary π^+ and π^- -mesons produced by protons on Be-targets, Preprint CERN MPS/Yut. MU/EP-66-4.
7. P.A.Piroué and A.I.S.Smith. Particle production by 2.9 Gev protons incident on Be or Pt. Preprint PPAD-589E (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел
10 мая 1967 г.

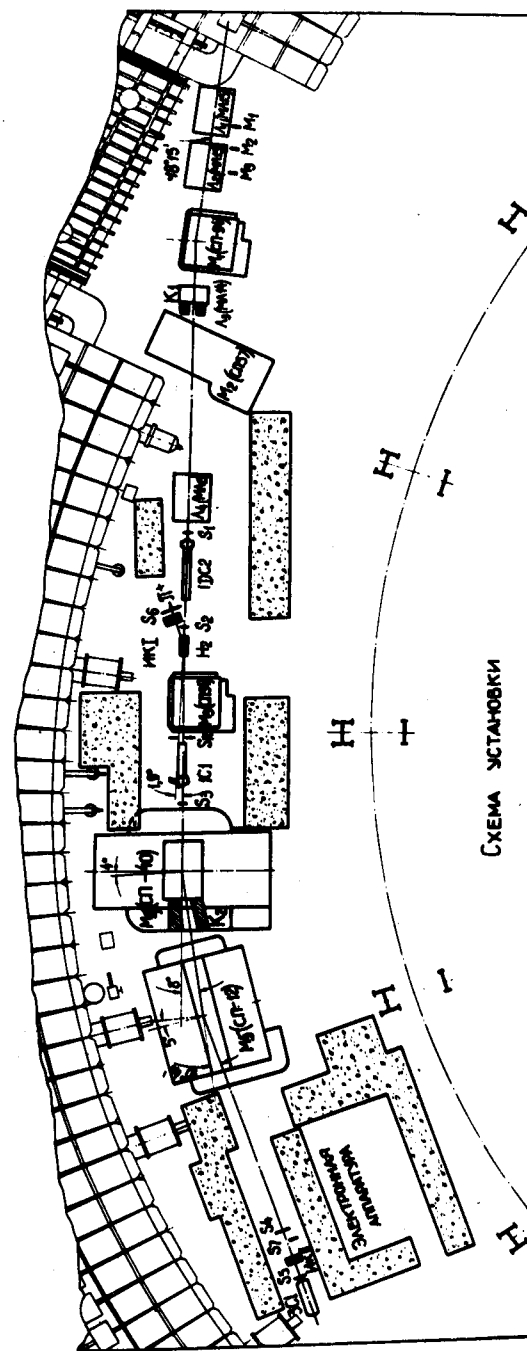


Рис. 1. Расположение аппаратуры на канале положительных частиц:
 L_1, L_2, L_3, L_4 - квадрупольные линзы; M_1 (СП94) и M_2 (СП57) - поворотные магниты; M_3 (СП84), M_4 (СП40) и M_5 (СП12) - магниты для анализа по импульсу вторичных частиц от взаимодействия пучка π^+ -мезонов с водородной мишенью H ; $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ и S_7 - кремниевые счетчики; $IKP, IC1$ и $IC2$ - газовые черенковские счетчики, $IK1$ и $IK2$ - искровые камеры.

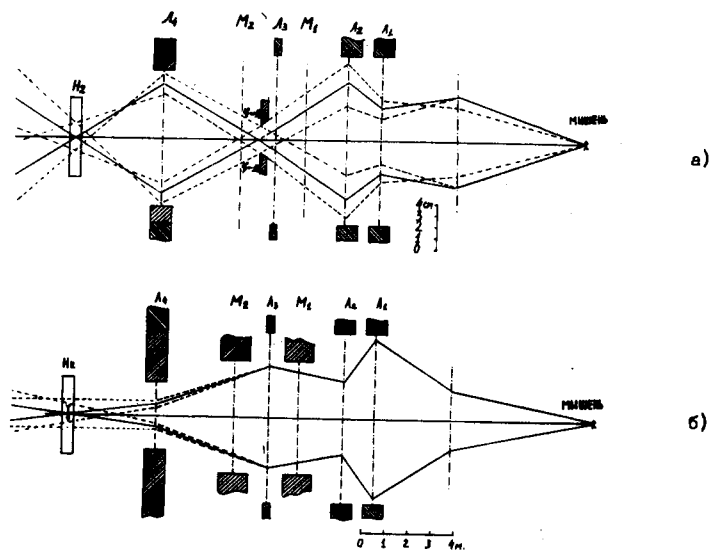


Рис. 2. Оптическая схема канала; а) вид по горизонтали; б) - по вертикали.

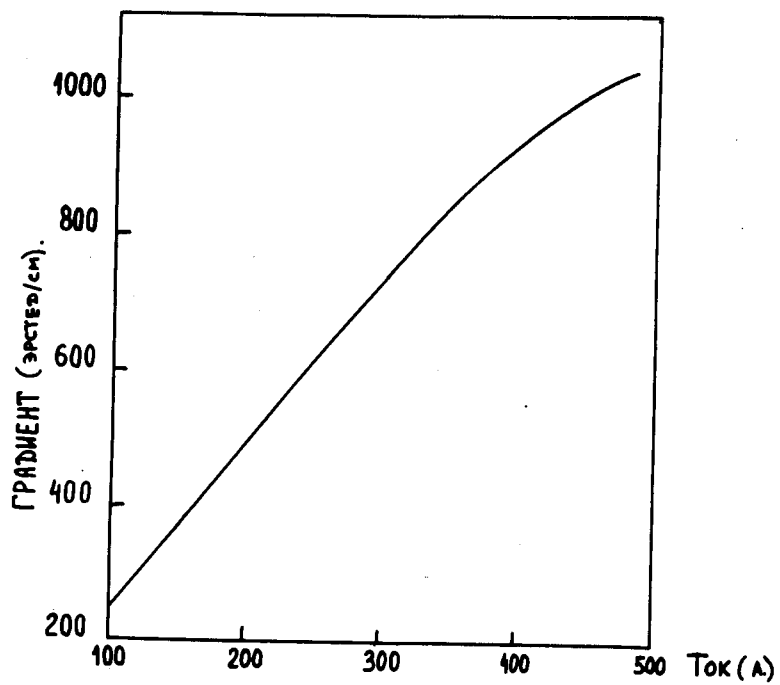


Рис. 3. Зависимость градиента от тока для линзы типа МЛ-15.

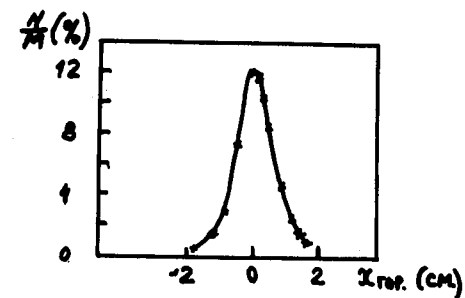


Рис. 4. Профиль по горизонтали пучка с импульсом 2,25 Гэв/с на водородной мишени.

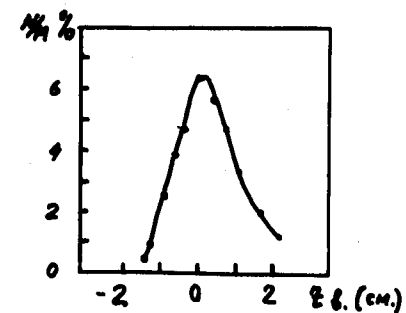


Рис. 5. Профиль по вертикали пучка с импульсом 3,15 Гэв/с на водородной мишени.

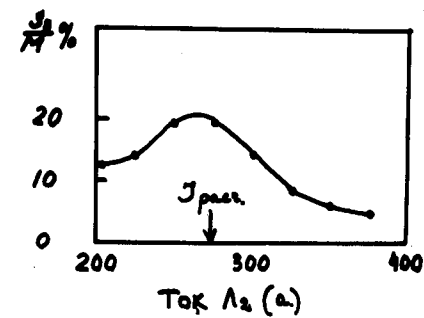
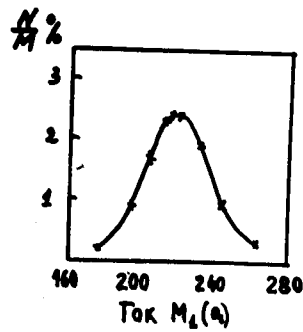
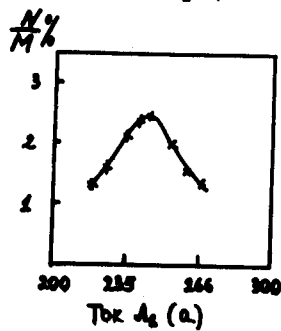


Рис. 6. Зависимость разрешения магнитного спектрометра от тока на линзе L_2 .



a)



б)

Рис. 7. Зависимость интенсивности в канале от тока в магните M_1 (а) и от тока в линзе L_1 (б).

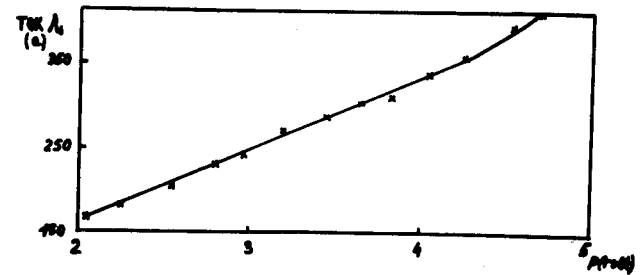


Рис. 8. Режим линзы L_1 для различных энергий пучка. Кривая получена расчетным путем. Экспериментальные данные указаны крестиками.

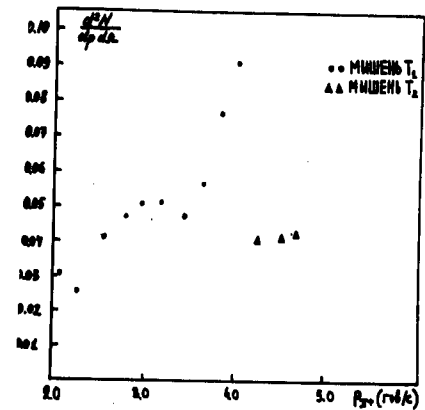


Рис. 9. Данные по выходу π^+ -мезонов с латунных мишеней T_1 и T_2 при разных энергиях первичного пучка. По оси ординат - число частиц, генерируемых в 10-см мишени на 1 стерадиан, на 1 ГэВ/с и на один циркулирующий протон; по оси абсцисс - импульс π^+ -мезонов.