

с 345e + с 345o

К-431

Б1-13-4674.

Кириллов А.Д. и др.



+

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Б1-13-4674**

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19

*без набора*

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

А.Д.Кириллов, В.И.Котсв, В.В.Миллер,

Р.Т.Малашкевич, С.А.Нежданова, В.Н.Рамжин

Б1-13-4674

*тип 302*

КАНАЛ, ФОРМИРУЮЩИЙ ПУЧОК АНТИПРОТОНОВ

С ИМПУЛЬСОМ 2,7 ГЭВ/С.

*с.ф. 2598*

25 августа 69

г.Дубна, 1969 г.

## ВСТУПЛЕНИЕ.

Канал, формирующий пучок антипротонов с импульсом 2,7 Гэв/с, предназначался для облучения 2-метровой пропановой пузырьковой камеры антипротонами. Строительство его началось в январе 1965 года, наладка была закончена в феврале 1966 г. Канал имеет две сепарационные ступени (сепарация электростатическая) с импульсным и массовым разделением в первой ступени и последующей массовой сепарацией во второй.

В этой работе описан метод настройки канала, формирующего пучок заряженных частиц, и приведены параметры пучка антипротонов.

## I. ОПИСАНИЕ КАНАЛА

Общий вид антипротонного канала с импульсом 2,7 Гэв/с показан на рис. I.

Канал протяженностью 64 м расположен в малом измерительном зале и корпусе ГБ синхрофазотрона ОИЯИ.

Мишень I5P установлена в I квадранте синхрофазотрона. Материал мишени - латунь, размеры - 3 x 3 x 100 мм<sup>3</sup>, угол выхода вторичных частиц - 0°. Положение мишени:

$\Delta R = - 30$  мм ( с внутренней стороны центральной орбиты);

$\Delta Z = - 25$  мм ( вниз от средней плоскости камеры ускорителя) х);

$\mathcal{Y} = 640$  мм ( от оси окна № 60 к окну № 59 синхрофазотрона).

Анализ частиц по импульсу и знаку осуществляется магнитным полем ускорителя. Отрицательные частицы с импульсом 2,7 Гэв/с, пройдя в поле ускорителя 3 м, разворачиваются этим полем наружу и выходят из ускорителя под углом 25° к прямолинейному промежутку. Сброс первичных протонов на мишень I5P происходит при максимальной длительности в/ч пачки ускоряющего напряжения, т.е. импульс первичных протонов максимален для нашего ускорителя и равен 10,7 Гэв/с.

Канал состоит из 2 сепарационных ступеней ( сепарация электростатическая) с импульсным и массовым разделением в I ступени и с последующей массовой сепарацией во II .

---

х) Ось протонного пучка в I квадранте синхрофазотрона в районе установки мишени находится на 25 мм ниже средней плоскости камеры синхрофазотрона.

10201

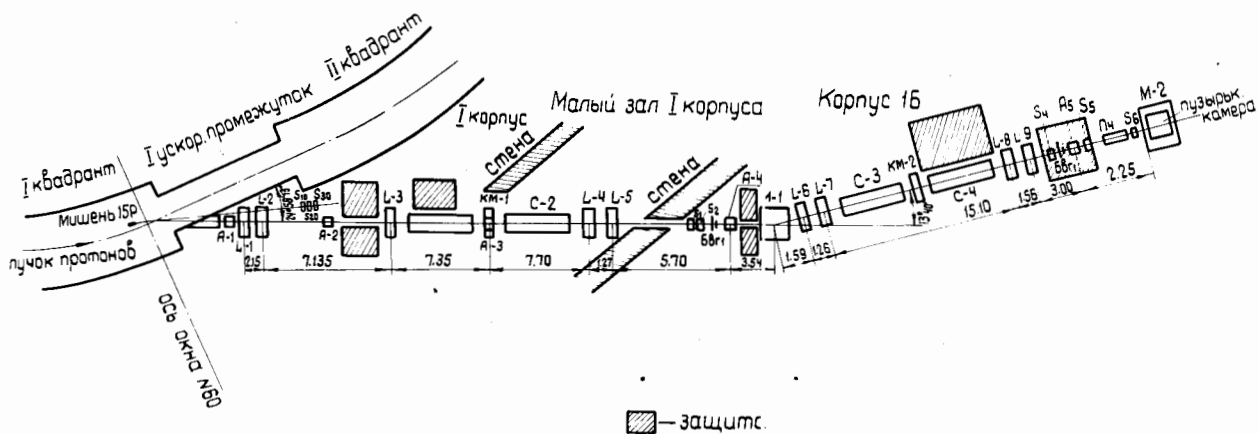


Рис. 1. Общий вид антипрогонного канала

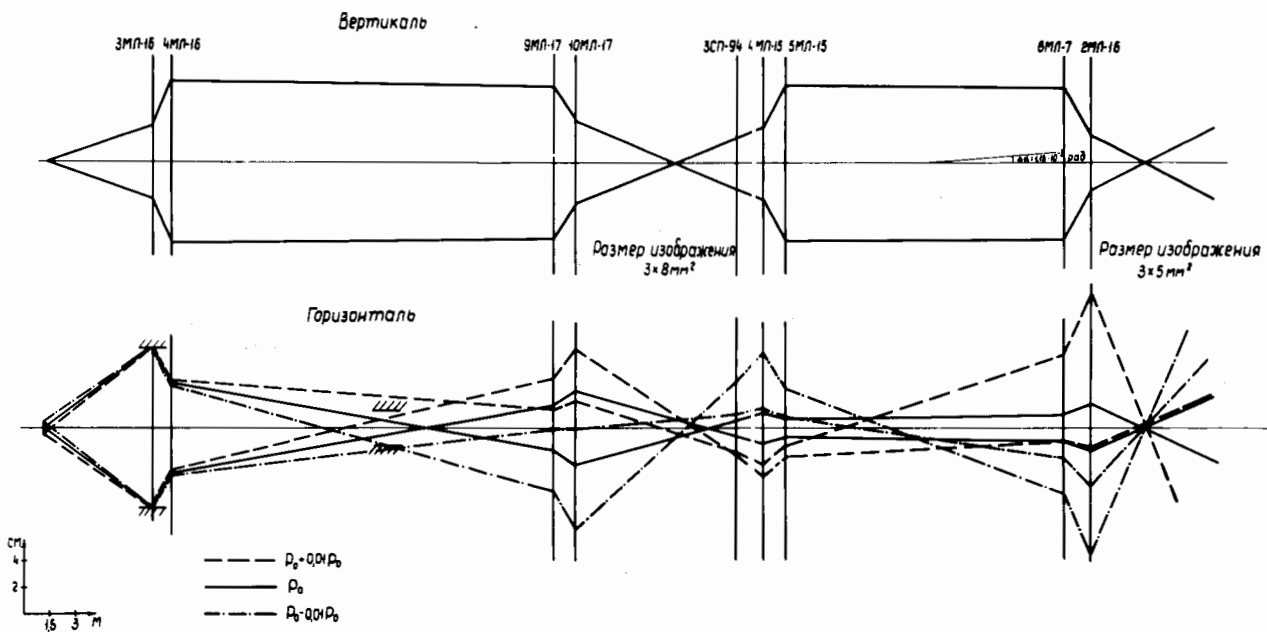


Рис. 2. Оптическая схема канала.

Оптическая схема канала дана на рис.2. Апертурный коллиматор А-1, имеющий щель  $28 \times 120 \text{ мм}^2$ , установлен в первой магнитной линзе Л1.

Телесный угол канала -  $0,6 \cdot 10^{-4}$  стеррад.

Дублет квадрупольных линз Л1 и Л2 (линзы типа МЛ-16) формирует в вертикальной плоскости параллельный пучок, который проходит через первый сепаратор, состоящий из 2 сепараторных бочек С1 и С2 с пластинами длиной 5,5 м (в каждой бочке) и зазором 7см; напряжённость поля 50 кВ/см.

Конец 1 бочки и начало 2 приподняты относительно оси канала на 26 мм (пояснения в разделе "Сепарация"). Выведение пучка на ось канала осуществляется компенсирующим магнитом КМ-1 (типа СП-10), расположенным между сепараторными бочками.

Дублет Л1, Л2 формирует промежуточное изображение в горизонтальной плоскости в магните КМ-1, где установлен импульсный коллиматор А-3 с щелью  $100 \times 26 \text{ мм}^2$ .

Второй дублет квадрупольных линз Л4, Л5 (линзы типа МЛ-17) фокусирует пучок в вертикальной плоскости на первую массовую щель А-4 ( $5 \times 20 \text{ мм}^2$ ), а в горизонтальной - на 2 м дальше.

В начале второй ступени канала установлен магнит М-1 (типа СП-94), который поворачивает пучок на  $13^{\circ}40'$ , частично компенсируя дисперсию. Дублет линз Л6, Л7 (линзы типа МЛ-15) вновь формирует в вертикальной плоскости параллельный пучок, который проходит через вторую сепарационную ступень, состоящую из элементов, аналогичных первой ступени (двух сепараторных бочек и компенсирующего магнита между ними).

Последний дублет Л8, Л9 (линзы типа МЛ-7, МЛ-16) фокусирует

пучок в вертикальной плоскости на 2-ю массовую щель А-5 (5x20 мм<sup>2</sup>), а в горизонтальной - на 3 м дальше.

Весь путь от мишени до 2-й массовой щели частицы пучка проходят в вакууме (вакуумпровод, сепараторы), что предотвращает уширение пучка из-за рассеяния частиц на воздухе.

## II. РАСЧЁТ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАНАЛА

### I. Расчёт положения мишени

При выборе местоположения канала учитывалась возможность размещения оборудования в здании синхрофазотрона и измерительном корпусе ИБ. После того, как примерный план размещения оборудования был выбран и определены координаты канала в свободном пространстве (вне магнитного поля ускорителя), для нахождения положения мишени в камере ускорителя был произведен расчёт траектории в направлении, обратном движению частиц с мишени. Расчёт производился на электронно-счётной машине М-20 по стандартной программе I047-2. В результате расчёта получены координаты:

$$R = 2798,096 \text{ см}$$

$$Y = 1,47999 \text{ рад.}$$

Затем по программе I047-3 были определены величины, характеризующие фокусировку пучка полем ускорителя: положения мнимых источников, коэффициенты увеличения в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также дисперсия частиц по импульсу.

Оказалось, что в нашем случае пучок частиц, выходящих из ускорителя, дефокусируется в горизонтальной и вертикальной плоскостях, дисперсия же частиц по импульсу, вносимая магнитным полем ускорителя, равна  $D_0 = 0,43 \text{ см/1\% } \frac{\Delta P}{P}$ .

## 2. Выбор оптической схемы канала для вертикальной плоскости

Пусть пучок частиц с импульсом  $P_0$  и скоростями  $\beta_1$  и  $\beta_2$  фокусируется одним дублетом квадрупольных линз на расстоянии  $f_2$ , проходя через сепаратор (рис.3). Тогда угловая сепарация

$$\Delta \alpha_{12} = \frac{e E l (\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2})}{P_0}$$

в конечном изображении преобразуется в линейную сепарацию, которая в рассматриваемом случае равна:

$$\delta^v = \Delta \alpha \cdot (f_2 - \frac{l}{2}).$$

Здесь  $e$  - кратность заряда движущейся частицы,

$E$  - напряжённость электростатического поля в в/см,

$l$  - длина пластин сепаратора в см,

$P_0$  - импульс частиц в эв,

$\beta = \frac{v}{c}$  - относительная скорость частиц.

Качество сепарации определяется коэффициентом сепарации:

$$\eta = \frac{\delta^v}{I},$$

где  $I$  - размер конечного изображения для монохроматического пучка.

$$I = VT,$$

$V = \frac{f_2}{f_1}$  - коэффициент увеличения дублета,  
 $T$  - вертикальный размер мишени.

Тогда 
$$\eta = \frac{\Delta \alpha \cdot (f_2 - \frac{l}{2}) \cdot f_1}{f_2 \cdot T} = \frac{D}{\mathcal{Y}_1} \cdot \frac{\Delta \alpha}{f_2 \cdot T} \cdot (f_2 - \frac{l}{2}) = \frac{D}{\mathcal{Y}_1} \cdot \frac{\Delta \alpha}{T} (1 - \frac{l}{2f_2}),$$
  
 так как  $f_1 = \frac{D}{\mathcal{Y}_1}$ .

Из приведенной формулы видно, что наибольший коэффициент сепарации будет при  $f_2 \rightarrow \infty$ , т.е. для параллельного пучка, проходящего через сепаратор,

$$\eta_{f_2 \rightarrow \infty} = \frac{D}{\mathcal{Y}_1} \cdot \frac{\Delta \alpha}{T}$$



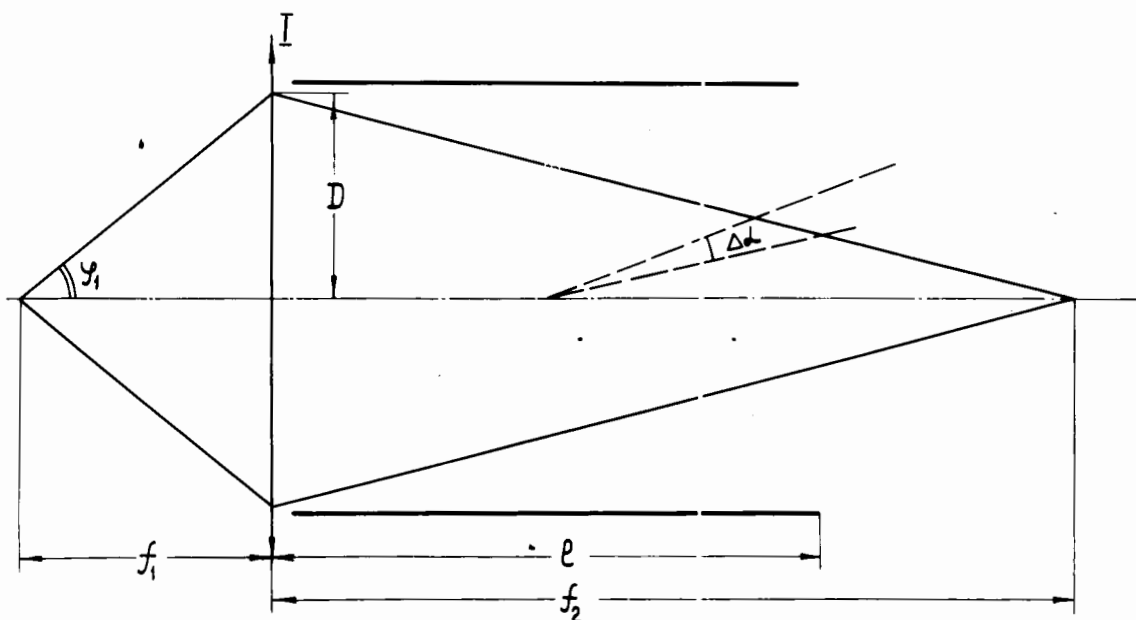


Рис.3. Прохождение через сепаратор сходящегося пучка.

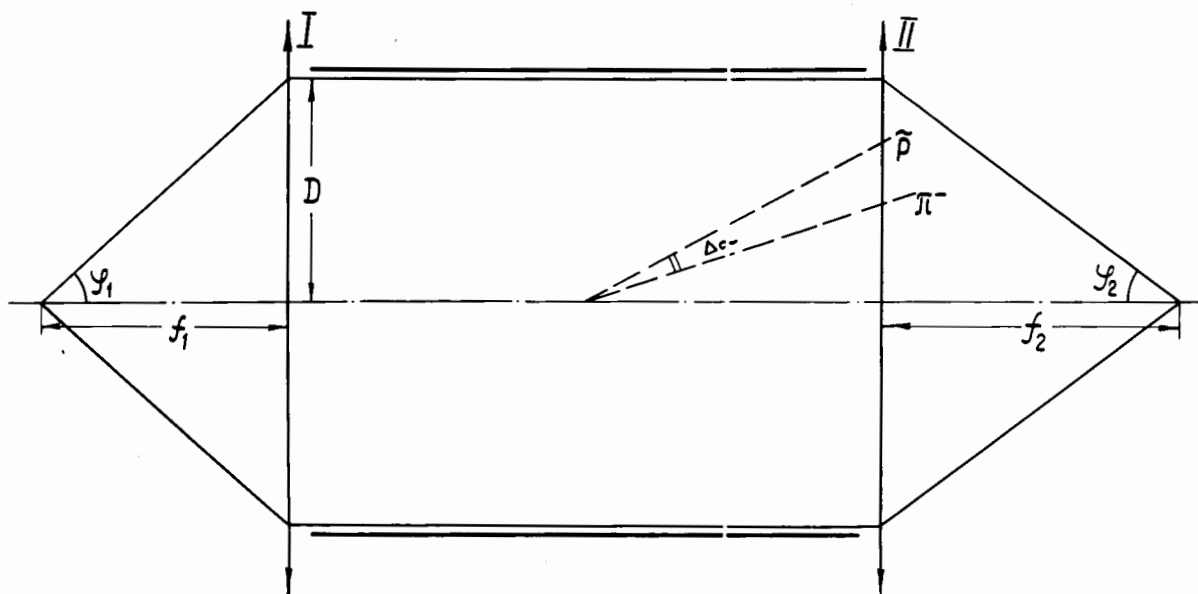


Рис.4. Прохождение через сепаратор параллельного пучка.

Помещая на выходе из сепаратора второй дублет линз, который фокусирует пучок на массовую щель, и используя все преимущества параллельного пучка, приближаем изображение к сепаратору.

Для параллельного пучка (рис. 4) угловая сепарация будет, естественно, та же, линейная же станет равной

$$\delta \approx \Delta \alpha \cdot f_2.$$

Коэффициент сепарации

$$\eta = \frac{\delta}{I} = \frac{\Delta \alpha \cdot f_2}{V \cdot T} = \frac{f_1 \cdot \Delta \alpha}{T} = \frac{\mathcal{D}}{\mathcal{L}_1} \cdot \frac{\Delta \alpha}{T},$$

так как коэффициент увеличения системы для параллельного пучка между дублетами

$$V = \frac{f_2}{f_1}.$$

Итак, величина коэффициента сепарации системы зависит от размеров пучка в сепараторе -  $\mathcal{D}$ , входной угловой апертуры -  $\mathcal{L}_1$ , размеров источника -  $T$  и не зависит от схемы включения конечного объектива.

Величина  $\mathcal{D}$  в реальной системе ограничена расстоянием между пластинами сепараторов и может быть не более 7 см для наших сепараторов. Величина же угловой апертуры входа  $\mathcal{L}_1$  зависит от расстояния между мишенью и первым дублетом и от схемы включения первого дублета.

Положение мишени в нашем случае было фиксированным, поэтому увеличения сепарации можно было добиться только путём выбора соответствующей схемы включения первого дублета.

На рис. 5а и 5б показана замена дублета линз, включённых по схеме ДФ и ФД, толстой линзой. Фокусные расстояния этой линзы и положения главных плоскостей определялись по формулам геометрической оптики:

$$f = \frac{F_1 \cdot F_2}{F_1 + F_2 - d}; \quad x = d \frac{F}{F_2},$$

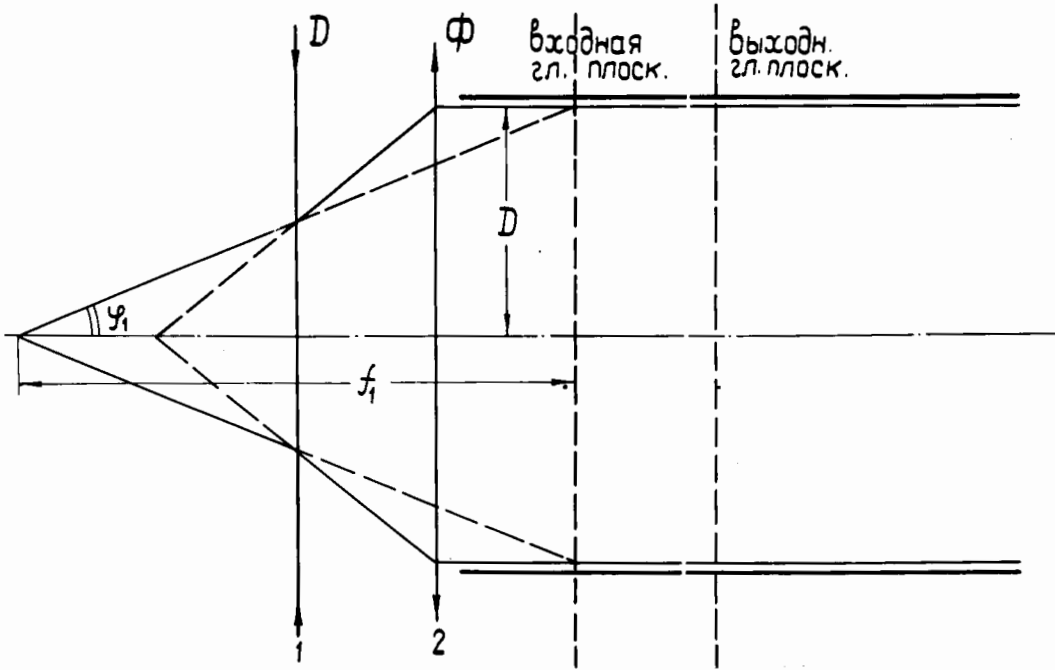


Рис.5а. Замена дублета линз, включённых по схеме ДΦ, толстой линзой.

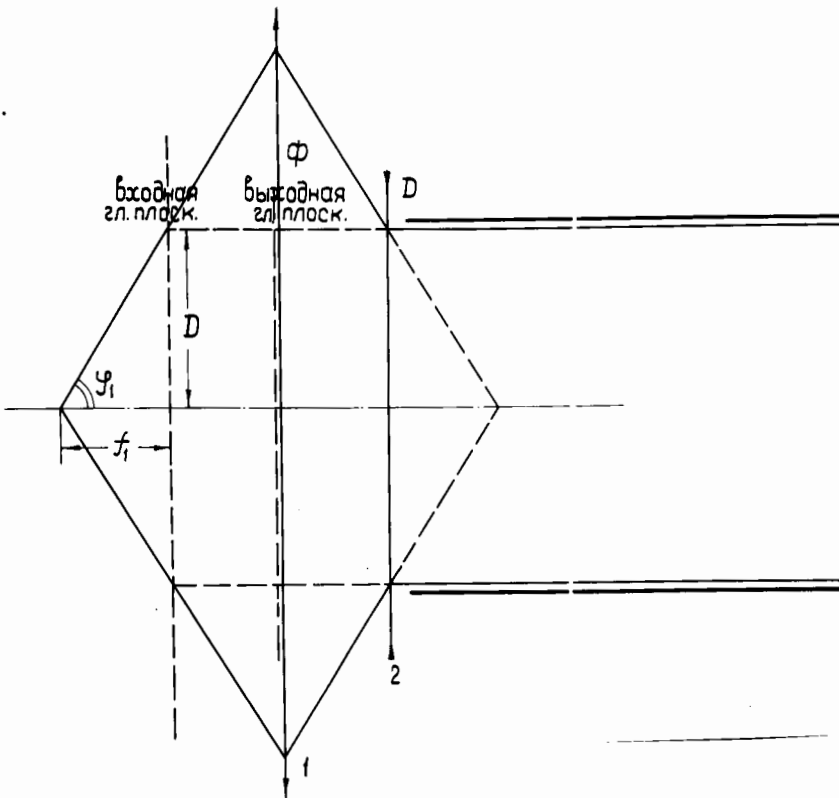


Рис.5б. Замена дублета линз, включенных по схеме ФД, толстой линзой.

если  $d$  - расстояние между линзами, а  $F_1$  и  $F_2, F_2'$  - фокусные расстояния первой и второй линз соответственно.

Рис. 5а и 5 б наглядно показывают преимущество в сепарации ДФ дублета перед дублетом ФД. Из тех же рисунков видно, что ради увеличения сепарации приходится жертвовать интенсивностью.

Схема включения конечного дублета не влияет прямо на коэффициент сепарации, так как и линейное разделение и размер изображения прямо пропорциональны общему коэффициенту увеличения системы  $V$ .

$$\eta = \frac{f_2 \cdot \Delta \alpha}{V \cdot T} \quad , \quad \text{где} \quad f_2 = V \cdot f_1.$$

Однако при неизменной схеме включения первого дублета размер изображения и линейное разделение на массовой щели в случае включения последнего дублета по схеме ДФ существенно меньше, чем при включении его по схеме ФД, а, следовательно, рассеяние пучка на элементах второй половины сепарационной ступени ухудшает качество сепарации в случае включения последнего дублета по схеме ДФ по сравнению с включением его по схеме ФД.

На основании изложенного оптическая схема вертикальной плоскости для I и II сепарационных ступеней была избрана следующая: первый дублет ДФ формирует параллельный пучок, проходящий через сепаратор, второй дублет ФД фокусирует пучок на массовую щель.

### 3. Оптическая схема канала для горизонтальной плоскости

Как уже указывалось выше, анализ частиц по импульсу в канале осуществляется магнитным полем ускорителя. Обычно для каналов с массовой сепарацией характерно выделение нужного интервала импульсов до сепараторов (пучок должен быть сформирован таким образом, чтобы он не задевал пластины сепаратора), а для обычных каналов ограничение по импульсу проводится как можно раньше.

Получение достаточной дисперсии для выделения нужного  $\Delta\rho$  достигается либо магнитным полем ускорителя, либо специальным магнитом, установленным перед первым дуплетом или за ним.

В описываемом канале дополнительный анализирующий магнит не устанавливался, и выделение нужного интервала импульсов осуществлялось за счёт начальной дисперсии, вносимой магнитным полем ускорителя.

Импульсный коллиматор был установлен в середине I сепарационной ступени в магните М-1. Схема включения линз первого дублета ФД обеспечила в месте установки импульсного коллиматора на расстоянии 16,5 м от первого дублета дисперсию  $D_{\Delta} = 18$  мм на  $\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = 1\%$ , а импульсный коллиматор с отверстием в 26 мм выделял  $\Delta\rho = \pm 0,65\% \rho_0$ . Импульсное разделение в месте установки коллиматора составляло  $\frac{D_{\Delta}}{I_r} = \frac{D_0 \cdot V_{1,2}}{T_r \cdot V_{1,2}} = 1,43$ . Дополнительной очистки пучка после прохождения импульсного коллиматора не проводилось, так как установка магнита требовала значительного удлинения канала. Такое нарушение правил формирования сепарированных пучков привело, естественно, к некоторому увеличению фона на первой массовой щели, однако с целью экономии места пришлось пойти на это.

Как указывалось выше, второй дублет линз Л4, Л5 фокусирует пучок в горизонтальной плоскости ближе на 2 м к ЗСП-94, чем в вертикальной. Это было вызвано тем, что при приближении изображения в горизонтальной плоскости к Л5 пучок не входит в апертуру последней линзы Л9.

Последний дублет линз Л8, Л9 формирует пучок в горизонтальной плоскости нужной для пропановой камеры конфигурации.

График средней дисперсии представлен на рис.6.

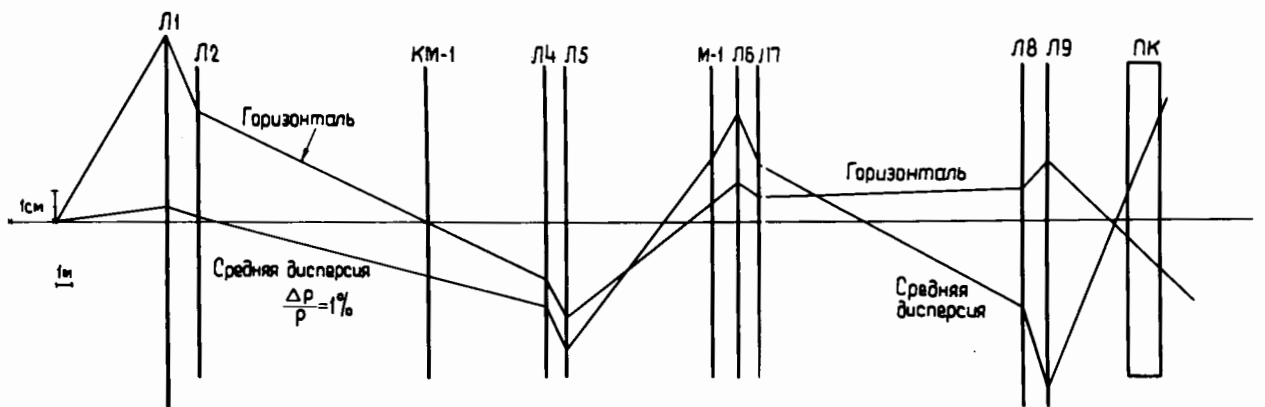


Рис.6. График средней дисперсии.

10201

В расчётах магнитная квадрупольная линза рассматривалась как две тонких линзы, независимо действующих в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Причём если в горизонтальной плоскости квадрупольная линза оказывает на пучок фокусирующее действие, то в вертикальной она дефокусирует его.

Фокусное расстояние квадрупольной линзы в фокусирующей плоскости определялось по формуле:

$$f_+ = \frac{1}{\sqrt{K} \cdot \sin \sqrt{K} \ell}$$

Для определения фокусного расстояния дефокусирующей линзы через известное фокусное расстояние фокусирующей линзы применялась формула:

$$f_+ + f_- = \frac{\ell}{3}$$

дающая точность не хуже 1%.

Расстояние до изображения считалось по формуле геометрической оптики:

$$b = \frac{a \cdot f_{\pm}}{a - f_{\pm}}$$

где  $\ell$  - эффективная длина линзы в см,

$K$  - коэффициент, равный  $\frac{300 \cdot G}{P_0}$ ,

$G$  - градиент линзы в  $\frac{\text{эрсг}}{\text{см}}$ ,

$P_0$  - импульс частиц в эв.

Точный подбор режимов линз и магнитов, а также расчет основных параметров пучка осуществлялся по программе "Фокус".

#### 4. Сепарация.

В электростатическом поле на заряженную частицу действует

сила  $\vec{F} = e\vec{E}$ , пропорциональная заряду частицы и напряжённости поля  $E$ . Под действием этой силы, одинаковой для всех частиц, имеющих заряд  $e$ , частица смещается в направлении пластины с противоположным зарядом. За время  $t$  ( $t$  - время пролёта данной частицей области с полем  $E$ ) она отклонится от первоначального направления движения на расстояние  $h = \frac{at^2}{2}$ , где  $a$  - ускорение под действием силы  $F$ . И если ввиду малости отклонения путь, пройденный частицей в электростатическом поле, принять равным  $l$ , то

$$h = \frac{F \cdot t^2}{m \cdot 2} = \frac{eE \cdot l^2}{2mV^2} = \frac{eE}{2\rho V} \cdot l^2,$$

т.е. заряженная частица в электростатическом поле движется по параболе (рис.7). Из этого следует, что тангенс угла отклонения частицы от первоначального направления

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2h}{l} = \frac{eEl}{\rho V},$$

или для импульса частицы в лабораторной системе единиц [эв/с]

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{eEl}{\rho\beta},$$

а для малых углов

$$\alpha = \frac{eEl}{\rho\beta}.$$

Разница же в углах отклонения частиц, имеющих различную скорость

$$\Delta \alpha_{12} = \frac{eEl}{\rho} \left( \frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right).$$

Обычно отклонение частиц от горизонтального направления в сепараторах компенсируется поперечным магнитным полем, либо двумя внешними компенсирующими магнитами, стоящими по обеим сторонам сепаратора. В описываемом канале был применён один компенсирующий магнит, установленный между двумя бочками сепараторов, в каждой из которых пучок отклоняется на угол  $\frac{\alpha}{2}$ . Траектория частиц в нашем случае имела вид, показанный на рис.8.



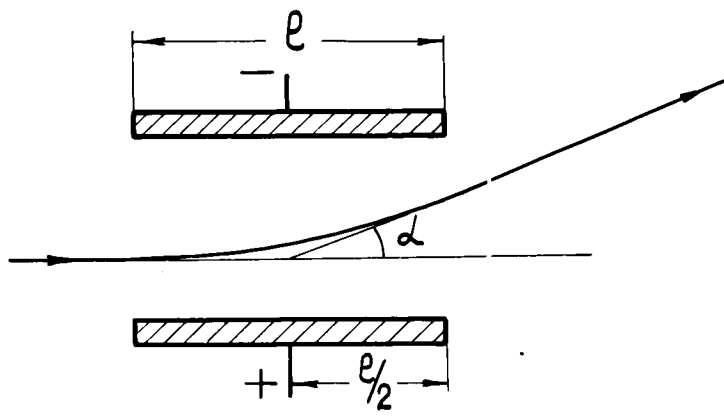


Рис.7. Траектория движения заряженной частицы в электростатическом поле.

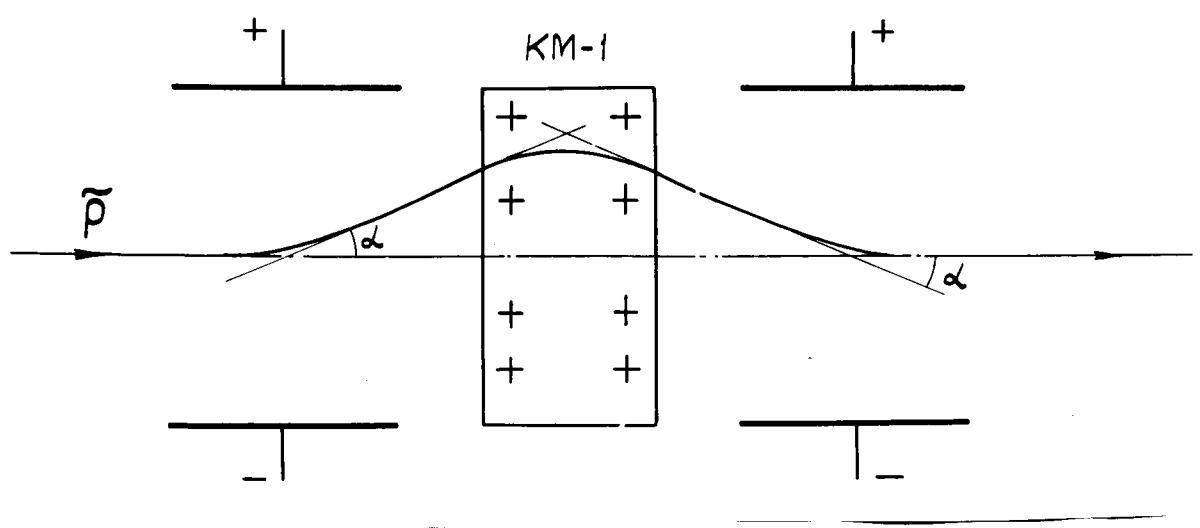


Рис.8. Траектория движения отрицательных частиц в случае установки одного компенсирующего магнита между 2 сепараторами.

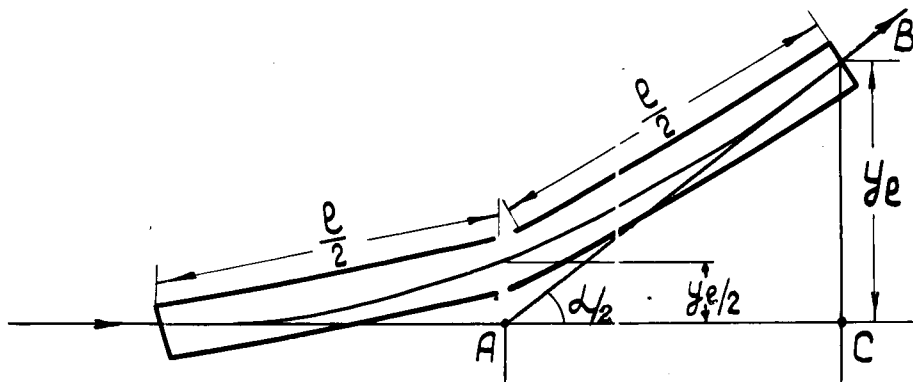


Рис.9. Схема установки 2 бочек сепаратора, составляющих половину сепарационной ступени.

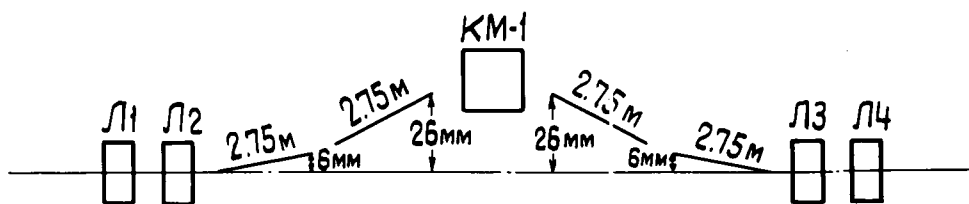


Рис.10. Схема установки бочек сепаратора в первой ступени антипротонного канала.

Для исключения рассеяния пучка в сепараторе его пластины выставлялись так, чтобы осевая линия сепаратора максимально совпадала с параболической траекторией частиц: каждая половина сепарационной ступени (5,5 м) была составлена из двух бочек (с длиной пластин 2,75 м), каждая бочка имела свой угол наклона (рис.9).

Из уравнения параболы  $y = Kx^2$ , вследствие малости угла отклонения,  $x \approx l$  и  $y_{x=l} = Kl^2$ ; из  $\triangle ABC$   $y_{x=l} = \frac{l}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ , тогда  $K = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2l}$ , а  $y = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2l} \cdot x^2$ .

Для нашего случая  $y_{x=\frac{l}{2}}$  составило 6,5 мм,  $y_{x=l} = 29$  мм.

Общий вид I сепарационной ступени изображён на рис.10.

Угловая сепарация  $\bar{\rho}$  и  $\bar{\pi}$ -мезонов для I и II ступеней составила 1,1 мрад при  $E = 50$  кв/см,  $l = 11$  м,  $P_0 = 2,72$  Гэв/с.

Ожидаемое линейное разделение  $\bar{\rho}$  и  $\bar{\pi}$ -мезонов на первой массовой щели составило 15 мм, на II - 10 мм.

### Ш. Ю С Т И Р О В К А

Юстировка канала предполагает совмещение продольных осей линз с осью канала и производится с помощью теодолита. Определение же продольной оси линзы осуществлялось методом, который заключается в том, что в кювету с коллоидным раствором парамагнитной соли ( $FeCl_3$ ) добавляют каплю диамагнитной жидкости той же плотности; кювету, помещенную в магнитное поле линзы, освещают прямым светом незначительной мощности (15-20 вт), и по расположению капли диамагнитной жидкости (например,  $H_2O$ ) с помощью теодолита определяют магнитную ось линзы. Точность способа зависит от размеров капли диамагнитной жидкости и от напряжённости магнитного поля линзы. Для капли диаметром 1,2 мм (во время измерения она

вытягивается вдоль оси линзы) в магнитной линзе типа МЛ-15 с напряжённостью 700 эрст/см средняя ошибка определения центра не превышает 0,05мм. Для линз с низкой напряжённостью магнитного поля ( линзы типа МЛ-5 ) точность не хуже 0,2 мм /7/.

Достаточна ли точность установки линз 0,2 мм ? На этот вопрос легко ответить на примере рассматриваемого канала. Будем говорить о горизонтальной плоскости, где коэффициент увеличения I сепарационной ступени >I (2,13).

Если неточность в установке линзы Л1 составляет  $m$  мм, то легко подсчитать сдвиг оси пучка относительно оси канала в наиболее ответственных местах - на импульсном коллиматоре и массовой щели ( рис. II ).

Из рис. II видно, что сдвиг оси пучка относительно оси канала в месте установки импульсного коллиматора равен:

$$x_2 = m (1 + V_1) \cdot V_2 ,$$

а на массовой щели:

$$x_4 = m (1 + V_1) \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot V_4 ,$$

$V_i = \frac{b_i}{a_i}$  - коэффициент увеличения линзы. При  $m = 0,2$  мм,  $x_2 = 1,7$  мм, а  $x_4 = 1,04$  мм. Если же неточность установки Л1 составляет, например, 1 мм, то  $x_2 = 8,5$  мм, а  $x_4 = 5,2$  мм, что при ширинах импульсного коллиматора 26 мм и массовой щели 20 мм является недопустимым.

Итак, точность установки линз не хуже 0,2 мм для описываемого канала необходима и достаточна.

Для совпадения продольной оси линзы с горизонтом центр ее определялся при юстировке в двух точках по длине линзы.

Производилось также совмещение поперечной горизонтальной оси

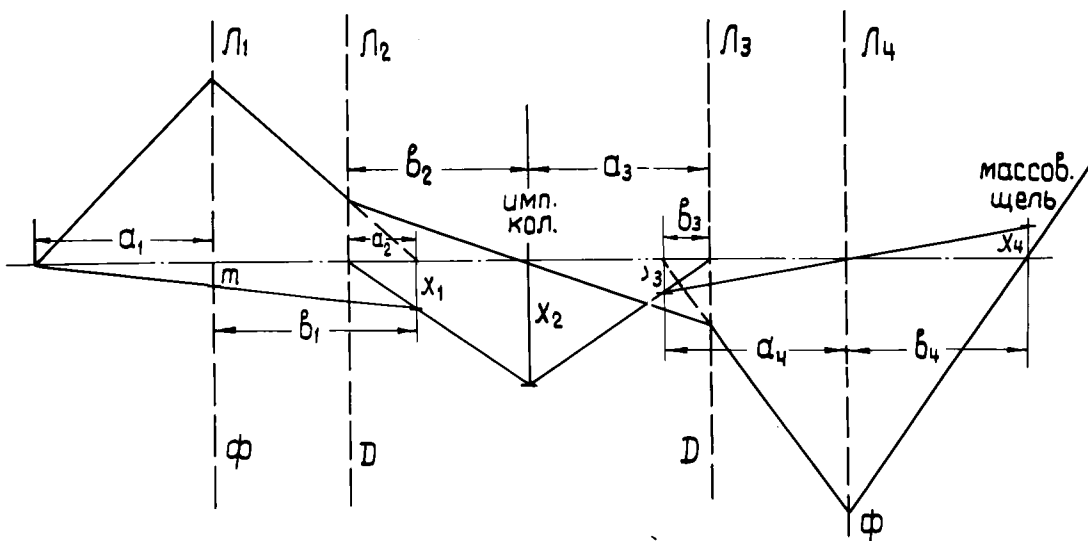


Рис. II. Сдвиг оси пучка в случае неточной установки Л1.

линзы с горизонтом при помощи металлического уровня, так как переко́с поперечных осей линзы относительно осей пучка приводит к искажению изображения /6/.

#### IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ НАСТРОЙКА КАНАЛА.

##### РЕЗУЛЬТАТЫ

Так как основными оптическими элементами, применяемыми для формирования пучков вторичных заряженных частиц, являются магниты и линзы, то расчёт канала заключается в определении, при выбранной оптической схеме и геометрии, токов, при которых возможно получение пучка с нужными параметрами. Значения токов требуют последующей корректировки в силу того, что при расчетах использовались недостаточно точные величины напряжённости поля в магнитах и линзах (1%), требуемые расстояния между элементами канала не всегда выдерживались, а также не учитывались сферические аберрации магнитных элементов и влияние рассеянных полей.

Таким образом, экспериментальная настройка канала с пучком применяется для получения действительных значений токов в линзах и магнитах, при которых пучок формируется по всему каналу согласно принятой оптической схеме, и параметры его соответствуют заданным. Для настройки канала применялась регистрирующая аппаратура, размещение которой показано на общей схеме расположения оборудования магнитного канала (рис. I). "Монитором" служили сцинтилляционные счётчики  $S_1, S_2$  для I сепарационной ступени и  $S_4, S_5$  - для II, с размером сцинтилляторов перекрывающими весь пучок ( $150 \times 150 \text{ мм}^2$ ).

Для снятия профиля пучка применялись две пары сцинтилляционных

счётчиков с дистанционным управлением, которые могли менять координаты ( через 0,2 мм) в пределах от 0 до 250 мм.

В каждой паре счетчиков один мог менять свое положение в вертикальной плоскости, а второй - в горизонтальной.

Одна пара "бегающих" счётчиков стояла на месте I сепарационного изображения ( $B_{Г1}$  ;  $B_{В1}$  ), вторая - на месте II ( $B_{Г2}$  ;  $B_{В2}$  ). В " бегающих" счётчиках использовались сцинтилляторы, имеющие ширину 1 мм и длину - 150 мм. Каждый из " бегающих" счётчиков включался на совпадение со счётчиками монитора канала. Блок-схема аппаратуры канала изображена на рис.12.

Определение состава пучка и импульса частиц, идущих по каналу, производилось с помощью черенковского порогового счётчика с азотным наполнением ( $ПЧ$  ). В первом случае  $ПЧ$  включался на анти-совпадение, во втором - на совпадение с монитором канала, который в данном опыте состоял из  $S_2$ ,  $S_4$ ,  $S_6$ , где  $S_6$  - сцинтилляционный счётчик, установленный за  $ПЧ$ , сцинтиллятор которого по размеру равен полезной апертуре порогового счётчика. Общее мониторирование осуществлялось телескопом из трёх сцинтилляционных счётчиков, расположенных в зале ускорителя ( $S_{10}$ ,  $S_{20}$ ,  $S_{30}$  ). Первый этап наладки заключался в проверке правильности определения положения мишени и точности юстировки линз канала.

Для этой цели была использована пневматическая мишень ЗВ, установленная в окне № 60 I квадранта и имеющая плечо, длина которого 640 мм, с укрепленной на ней насадкой ( см. рис.13). По расчёту насадка должна была находиться на расстоянии 670 мм от окна № 60 по азимуту. При изменении радиуса ЗВ от  $R_0$  до  $R_0 - 60$  мм было определено, что при отключенных линзах горизонтальное распределение в районе I сепарационного изображения симметрично

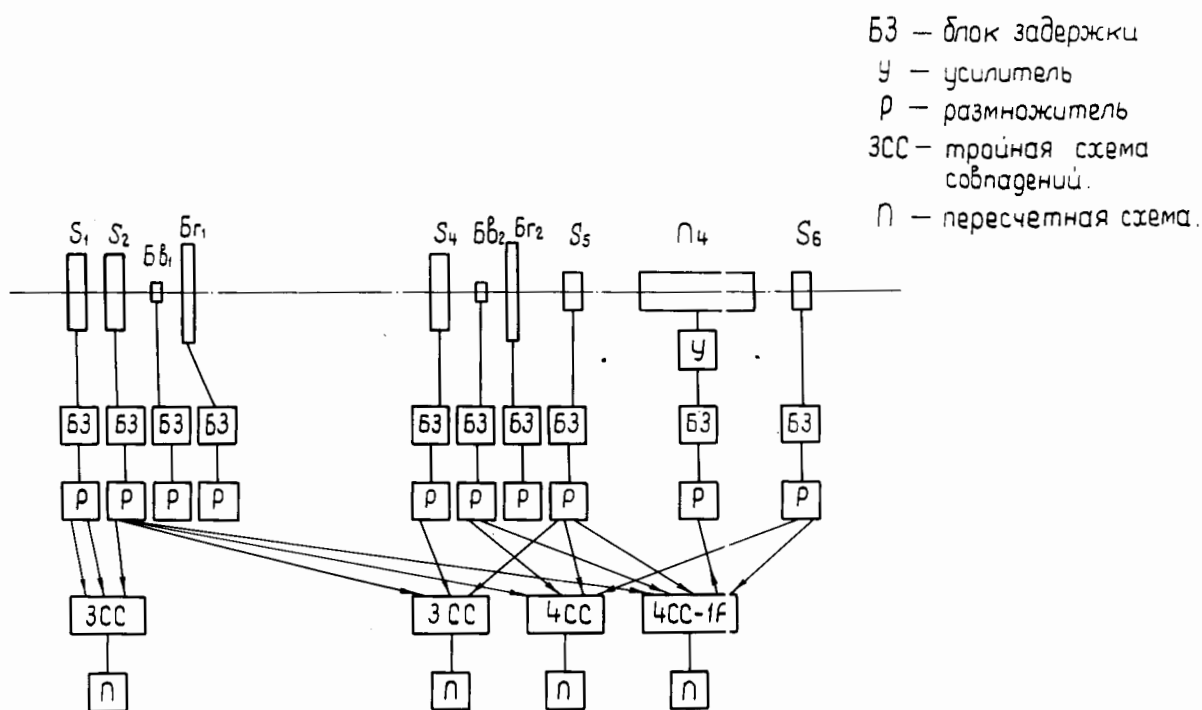


Рис.12. Блок-схема аппаратуры канала.

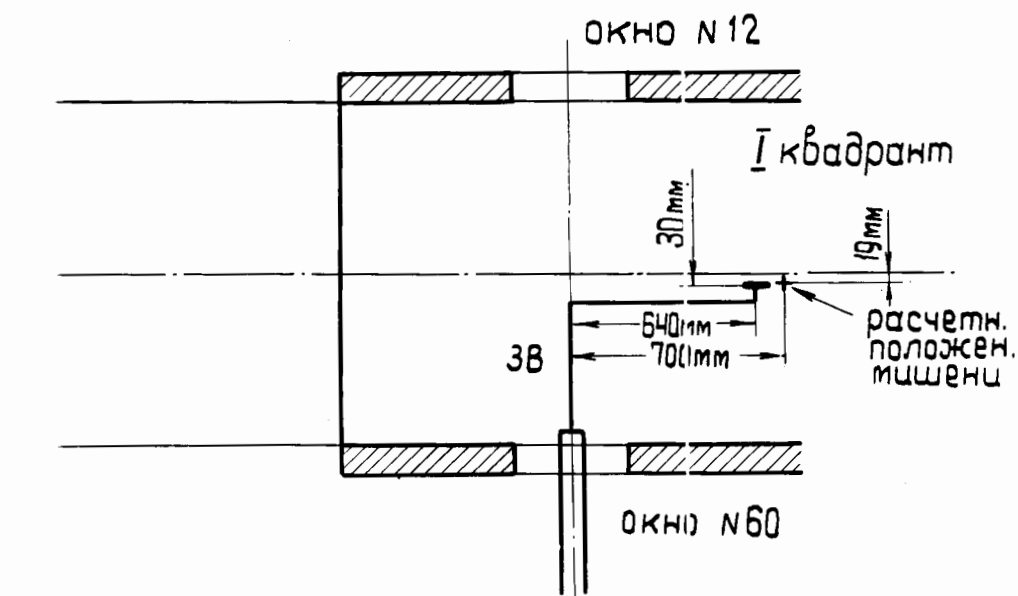


Рис.13. Схема установки пневматической мишени 3В в окне № 60 первого квадранта синхрофазотрона.



относительно оси канала при  $R = R_0 - 30$  мм (рис. I4).

Экспериментально подобранный радиус отличался от расчётного на 10 мм.

При последовательном включении линз I сепарационной ступени ось пучка в горизонтальной плоскости не изменила своего положения, что подтвердило хорошую точность юстировки элементов канала.

Настройка оптики проводилась сначала для I ступени канала.

Необходимо было подобрать (проверить) токи в линзах первого объектива ( $L_1, L_2$ ) так, чтобы промежуточное изображение в горизонтальном плане совпадало с импульсным коллиматором. С этой целью (при постоянных токах во втором дублете) в линзах  $L_1$  и  $L_2$  изменялись токи таким образом, чтобы сохранялось расчётное положение изображения в вертикальной плоскости, а в горизонтальной - перемещалось в пределах, необходимых для заведомого перехода через импульсный коллиматор (проводится несколько изменений).

При каждом изменении токов фиксировалась интенсивность в канале и снимался профиль пучка в районе первой массовой щели.

Зависимость интенсивности от токов в первом объективе имеет слабо выраженный максимум при токах в линзах  $L_1$  и  $L_2$ , соответствующих совпадению изображения с коллиматором.

Затем проводились аналогичные измерения для случая, когда положение изображения в горизонтальной плоскости остаётся постоянным (соответствует максимуму интенсивности), а в вертикальном - меняется.

Кривая интенсивности, в зависимости от токов в первом объективе, в этом случае имеет резко выраженный максимум. Токи в линзах первого дублета, соответствующие такому максимуму, считаются подобранными. Точность совмещения изображения с импульсным коллиматором для нашего случая оказалась равной 0,5 м.

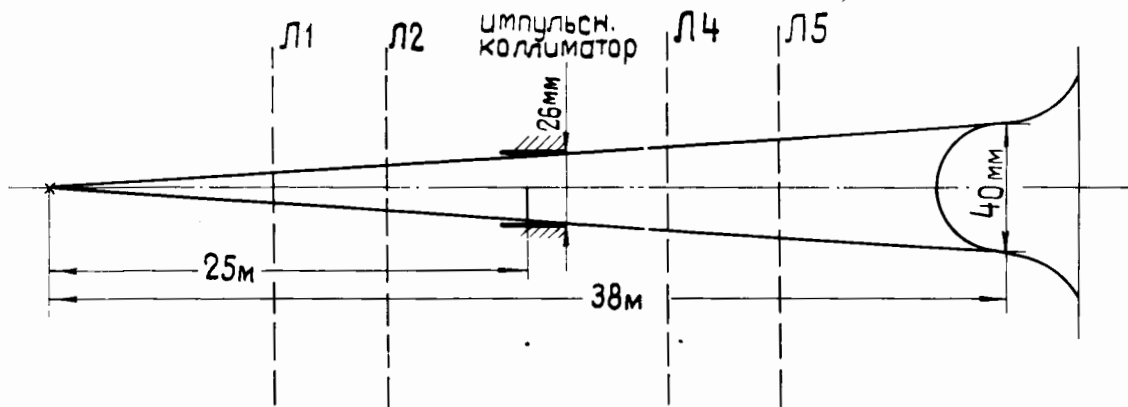


Рис.14. Горизонтальное распределение в районе I сепарационного изображения при отключенных линзах.

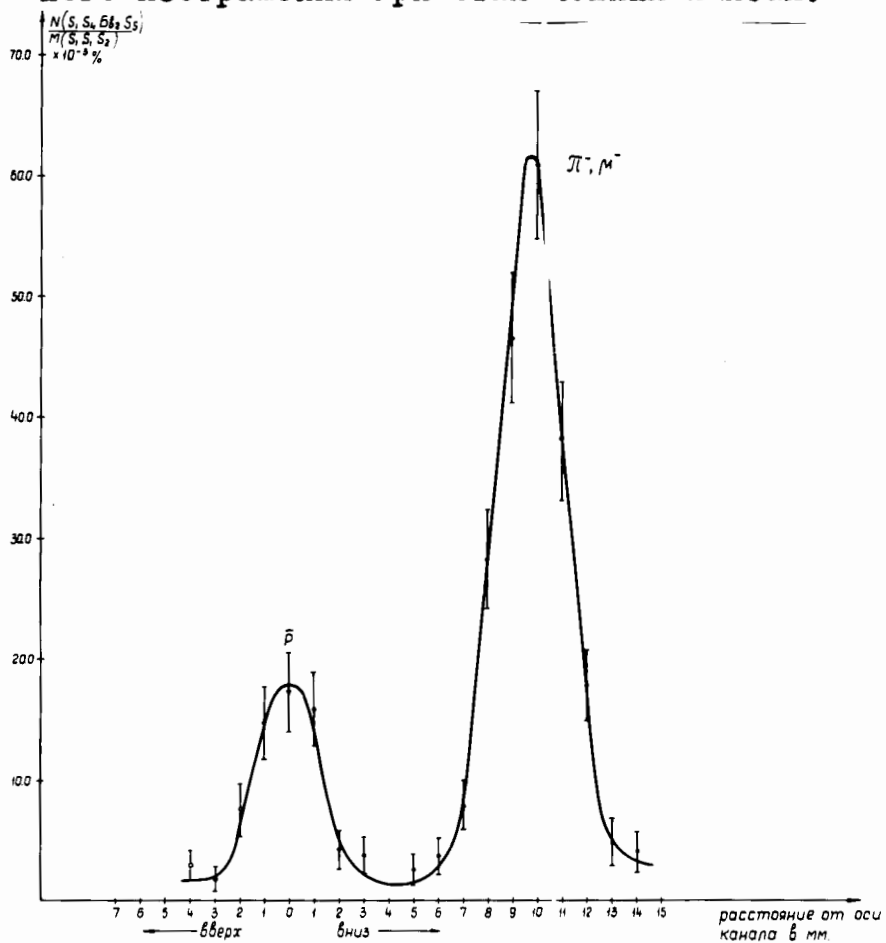


Рис.15. Вертикальное распределение в районе II массовой щели при наведении магнитом КМ-I на I массовую щель антипротонов.

Экспериментально подобранные токи I-й сепарационной ступени не отличались от расчётных более чем на 2%, II-й ступени - на 4%. Настройка II ступени проводилась аналогичным методом. Размеры изображения, полученные на первой и второй массовых щелях (ширина на полувысоте), соответственно равны: вертикаль - 3 мм и 3 мм, горизонталь - 8 мм и 5 мм.

Для определения линейного разделения  $\tilde{\rho}$  и  $\tilde{\pi}^-$  мезонов в I сепарационной ступени была снята серия кривых на второй массовой щели при наведении компенсирующим магнитом KM-I различных областей пучка на первую массовую щель. Наилучшее распределение было получено при наведении магнитом KM-I на первую массовую щель области пучка, отстоящей от  $\tilde{\pi}^-$  мезонов на 15 мм, где по расчёту должны были находиться антипротоны (рис.15).

Как видно из этого распределения, линейное разделение на второй массовой щели получилось равным 10 мм, а коэффициент сепарации  $\eta = \frac{\delta}{I} = 3,3$ .

В результате подсчёта распределения, изображенного на рис.15, были получены соотношения:

отношение  $\tilde{\rho}$  к  $\tilde{\pi}^-$  мезонам в конце канала -  $\frac{I}{1000} = 0,1\%$ ,

отношение  $\tilde{\rho}$  к числу первичных протонов -  $\frac{I}{10^{10}} = 1 \cdot 10^{-10}$ .

Из интегрирования площади  $\tilde{\rho}$  пика и  $\tilde{\pi}^-$ ,  $\mu^-$  мезонного фона этого распределения была получена очистка

0,18  $\tilde{\pi}^-$ ,  $\mu^-$  мезонов на  $1\tilde{\rho}$ .

Общий коэффициент подавления обеих ступеней сепарации получился равным 5500 и оказался достаточным для того, чтобы обеспечить заданную техническими условиями очистку (на  $1\tilde{\rho}$  - 0,2  $\tilde{\pi}^-$ ,  $\mu^-$  мезона).

Импульс частиц, идущих по каналу, оказался равным 2,72 Гэв/с.

### V. ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ В КАНАЛЕ

Оценка интенсивности  $\pi^-$  мезонов в канале с учётом выбывания первичных протонов, поглощения  $\pi^-$  мезонов в веществе мишени и распада  $\pi^-$  мезонов при пролёте до монитора канала производилась по формуле:

$$N_{\pi^-} = \frac{N_0 \cdot e^{-\sigma_{\pi^-} \cdot N_m}}{\sigma_p - \sigma_{\pi^-}} \cdot d^2\sigma/d\Omega \cdot dp \left\{ 1 - e^{N_m(\sigma_{\pi^-} - \sigma_p)} \right\} \cdot e^{-\frac{L}{\lambda}} \cdot \Delta\Omega \cdot \Delta p$$

$d^2\sigma/d\Omega \cdot dp$  - сечение рождения  $\pi^-$  мезонов на бериллиевой мишени взято из работы /2/ и пересчитано на латунную мишень,

$\Delta\Omega$  - телесный угол, определяющий входную апертуру канала -  $0,6 \cdot 10^{-4}$  стерад,

$\Delta p$  - интервал импульсов, равный  $2 \times 0,65\%$  для 2,7 Гэв/с  $\pm 0,0354$  Гэв/с,

$L$  - расстояние от мишени до монитора канала - 38м.

Ожидаемая интенсивность  $\pi^-$  мезонов после I сепарационной ступени совпадает с полученными нами данными, если коэффициент взаимодействия пучка с мишенью принять равным 40%, и составляет 1400  $\pi^-$  мезонов на  $1 \cdot 10^{10}$  первичных протонов.

Для ориентировочной оценки отношения выхода  $\bar{p}$  к выходу  $\pi^-$  мезонов с импульсом 2,72 Гэв/с и нулевым углом выхода рождённых в латунной мишени при импульсе первичных протонов 10,7 Гэв/с, воспользуемся кривыми выхода  $\pi^-$  мезонов и  $\bar{p}$ , рожденных в Be мишени первичными протонами с импульсом, близким к нашему (10,9 Гэв/с) из работы /3,4/.

Отношение числа  $\bar{p}$  к  $\pi^-$  мезонам, рожденным на 10 - санти-

10201

Импульс частиц, идущих по каналу, оказался равным 2,72 Гэв/с.

### V. ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ В КАНАЛЕ

Оценка интенсивности  $\pi^-$  мезонов в канале с учётом выбывания первичных протонов, поглощения  $\pi^-$  мезонов в веществе мишени и распада  $\pi^-$  мезонов при пролёте до монитора канала производилась по формуле:

$$N_{\pi^-} = \frac{N_0 \cdot e^{-\sigma_{\pi^-} \cdot N_m}}{\sigma_p - \sigma_{\pi^-}} \cdot d^2\sigma/d\Omega \cdot dp \left\{ 1 - e^{-N_m(\sigma_{\pi^-} - \sigma_p)} \right\} \cdot e^{-\frac{L}{L_0} \cdot \Delta\Omega \cdot \Delta p}$$

$d^2\sigma/d\Omega \cdot dp$  - сечение рождения  $\pi^-$  мезонов на бериллиевой мишени взято из работы /2/ и пересчитано на латунную мишень,

$\Delta\Omega$  - телесный угол, определяющий входную апертуру канала -  $0,6 \cdot 10^{-4}$  стерад,

$\Delta p$  - интервал импульсов, равный  $2 \times 0,65\%$  для 2,7 Гэв/с  $\pm 0,0354$  Гэв/с,

$L$  - расстояние от мишени до монитора канала - 38м.

Ожидаемая интенсивность  $\pi^-$  мезонов после I сепарационной ступени совпадает с полученными нами данными, если коэффициент взаимодействия пучка с мишенью принять равным 40%, и составляет 1400  $\pi^-$  мезонов на  $1 \cdot 10^{10}$  первичных протонов.

Для ориентировочной оценки отношения выхода  $\bar{p}$  к выходу  $\pi^-$  мезонов с импульсом 2,72 Гэв/с и нулевым углом выхода рождённых в латунной мишени при импульсе первичных протонов 10,7 Гэв/с, воспользуемся кривыми выхода  $\pi^-$  мезонов и  $\bar{p}$ , рожденных в Ве мишени первичными протонами с импульсом, близким к нашему (10,9 Гэв/с) из работы /3,4/.

Отношение числа  $\bar{p}$  к  $\pi^-$  мезонам, рожденным на 10 - санти-

метровой медной мишени, полученное нами, в 2 раза меньше отношения выходов  $\bar{p}$  и  $\pi^-$ -мезонов, рожденных на  $Be$  и составляет  $1,3 \cdot 10^{-3}$ .

В работе /5/ приведены данные по отношению  $\frac{\bar{p}}{\pi^-}$  с импульсом 2,7 Гэв/с, рождённых перичными протонами при энергии 8 Гэв на медной 10 - сантиметровой мишени при угле выхода  $8^{\circ}$ , полученные на Нимроде. Эти данные ниже отношения выходов  $\frac{\bar{p}}{\pi^-}$  с  $Be$  мишени, посчитанных по эмпирической формуле из работ /3,4/, в 6 раз.

Очевидно, можно считать полученное нами отношение  $\frac{\bar{p}}{\pi^-}$  на 10-сантиметровой медной мишени вполне удовлетворительным.

Мы благодарим И.Н.Семенюшкина за постоянный интерес к работе, Н.И.Малашкевича за помощь при введении в строй канала, сотрудников отдела ЭФА, обслуживающих линзы, магниты и сепараторы, Ю.М.Аверьянова и Н.Н.Антонова за активное участие при монтаже, наладке и работе канала.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 . A. Minten - Cern 65 - 21 , 23 June 1966.
- 2 . D. Dekkers, J.A. Geibel, R. Mermod, G. Weber, T.R. Willitts ,  
K. Winter, B. Jordan, M. Vivargent, N.M. King, E.J.N. Wilson .  
Phys. Rev., 137B, 962, 1965 .
- 3 . J.R. Sanford and C.L. Wang " Empirical formula for  
and  $K^-$  - meson production in P - Be collision between  
10 and 35 BeV/c ." Brookhaven National Laboratory ,  
March 1, 1967 .
- 4 . J.R. Sanford and C.L. Wang " Empirical formula for  $K^+$ ,  
 $K^-$  - meson and antiproton production in P - Be colli -  
sion between 10 and 35 BeV/c ." Brookhaven National La -  
boratory, March 1, 1967 .
- 5 . J.D. Davies, J.D. Dowell, P.M. Hattersley, R.J. Homer,  
A.W. O'Dell , Nuovo Cimento Volume LIV Number 3 ,  
10 April, 1968 .
- 6 . И.М.Баженова, Л.П.Зиновьев, Р.Н.Федорова, Препринт ОИЯИ  
P9-3552, Дубна, 1967 .
- 7 . А.Д.Кириллов, Р.Т.Малашкевич, С.А.Нежданова. Авторское  
свидетельство № 186576 на изобретение " Способ определения  
положения магнитной оси квадрупольной линзы".

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 августа 1969 г.

*Рукопись  
Д.С.Баженова*