

С 3450

К-40

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2092



Ким Хи Ин, А.А.Кузнецов, В.В.Миллер

КАНАЛ π^- - МЕЗОНОВ
С ИМПУЛЬСОМ $(4,0 \pm 0,08)$ ГЭВ/С ДЛЯ
ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ ПК-4

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1965

2082

3236/1, кр.

Ким Хи Ин, А.А.Кузнецов, В.В.Миллер

КАНАЛ π^- - МЕЗОНОВ
С ИМПУЛЬСОМ $(4,0 \pm 0,06)$ ГЭВ/С ДЛЯ
ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ ПК-4

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1. Введение

Качество выполнения любого физического эксперимента на ускорителе во многом определяется характеристиками пучка частиц, которыми располагает экспериментатор. Вот почему всегда началу эксперимента предшествует большая работа по выводу пучка и его формированию. Важнейшими характеристиками пучка частиц являются монохроматичность по импульсу, величина и пространственное распределение интенсивности частиц, примесь в пучке других частиц.

В настоящем эксперименте с 24-литровой пропановой пузырьковой камерой ЛВЭ^{1/1} требовалось получить пучок π^- -мезонов с импульсом около 4,0 Гэв/с и следующими параметрами:

а) монохроматичность по импульсу ($\frac{\Delta p}{p}$) не хуже 2%; б) размеры пучка в пространстве около 10 см по горизонтали и 4-5 см по вертикали и в) время вывода частиц ≤ 1 мсек.

Главной особенностью магнитной оптики этого канала являлось то, что первыми линзами объектива служили линзы другого канала фокусирующего π^- -мезоны с импульсом 3,8 Гэв/с для камеры Вильсона ЛВЭ^{2/1}. Кроме этого, оба пучка должны были использовать одну и ту же мишень и один и тот же отклоняющий магнит СП-40. Другая особенность состояла в том, что оба канала должны были работать одновременно. Последнее условие можно было выполнить, т.к. камера Вильсона работала только каждый одиннадцатый цикл. Поэтому пропановая камера могла работать в промежуточных циклах. Для этого необходимо было сделать переключение длительности пачки ВЧ ускоряющего поля с 2,87 сек на 3,14 сек и поднять ток в отклоняющем магните 4-СП-40 до значения, необходимого для пучка с импульсом 4,0 Гэв/с. Такие мероприятия были осуществлены группами радиоэлектроники и энергетики ЛВЭ.

Таким образом, задача состояла в том, чтобы выбрать такую величину импульса пучка, направление и его пространственное распределение, которые наилучшим образом удовлетворяли бы, с одной стороны, требованиям, обычно предъявляемым к пучкам частиц для пузырьковых камер, с другой стороны, параметрам уже существующего канала.

II. Описание канала

Общий вид размещения оборудования канала в здании синхрофазотрона ОИЯИ показан на рисунке 1. Источником π^- -мезонов является мишень из нержавеющей

стали размером $15 \times 5 \times 200$ мм³, расположенная внутри вакуумной камеры ускорителя. Положение мишени $\Delta R = 28$ см (с внешней стороны центральной орбиты).

Таким образом, предварительный анализ частиц по импульсу и знаку осуществлялся непосредственно магнитным полем ускорителя. Объективом, фокусирующим частицы в канале, служили три линзы типа МЛ-17 (Λ_1 ; Λ_2) и МЛ-18 (Λ_3). На рисунке 2 показана схема магнитной оптики канала, здесь же показано действие магнитных линз объектива, формирующих промежуточное изображение в вертикальном и горизонтальном направлениях. Непосредственно за срезом магнита ускорителя до первой магнитной линзы МЛ-17 и внутри ее был установлен коллиматор, диаметр отверстия которого равен 15 см.

После линз на расстоянии 17 м от мишени стоит отклоняющий магнит СП-40. Угол, на который он отклонял частицы, равнялся $7^{\circ}45'$. Весь путь от мишени и до конца полюсов отклоняющего магнита СП-40 частицы пучка проходили в вакууме. Для этого к вакуумной камере ускорителя был подсоединен специальный вакуумопровод, который раздваивался внутри полюсов отклоняющего магнита СП-40.

Импульсный коллиматор размещался внутри защитной стенки из железобетона, отделявшей зал ускорителя от измерительного павильона. Отверстие коллиматора было равно $2,5 \times 3,5$ см². Далее по ходу пучка стоял второй отклоняющий магнит 1-СП-57 с длиной полюсов 130 см и зазором 8 см. Этот магнит отклонял частицы от прямого направления на угол 5° . Для придания пучку необходимой формы непосредственно перед магнитом камеры располагался стальной коллиматор с отверстием 25×4 см².

24-литровая пропановая камера была смонтирована между полюсами магнита СП-40, расположенного на расстоянии 50 метров от мишени. Магнит питался постоянным током 2000 ампер. В объеме межполюсного пространства, где помещается камера, магнитное поле измерялось с помощью прибора, использующего эффект Холла (монокристалл германия). Этот прибор позволял измерить магнитное поле с точностью до 1%.

Поле измерялось в плоскостях с $h = 80, 120, 140, 180$ и 200 мм от нижнего полюса магнита.

Центр пучка лежал в плоскости с $h = 140$ мм. Распределение магнитного поля в этой плоскости показано на рис. 3. Среднее значение магнитного поля в рабочем объеме нашей камеры равно 14400 э. Разброс поля равен 430 э.

III. Расчет оптической системы канала

Ввиду того, что режим магнитных линз объектива был задан и было задано положение отклоняющего магнита СП-40, задача расчета состояла в том, чтобы наилуч-

шим образом выбрать такую величину импульса частиц, положения и размеров коллиматоров, чтобы удовлетворить указанным выше требованиям к пучку. В качестве основного был взят вариант оптической схемы канала с промежуточным изображением. Этот вариант имеет некоторые преимущества перед другими в том, что он дает малые размеры конечного изображения и малый разброс частиц по импульсу. Но размер пучка на выходе и разброс частиц по импульсу сильно зависят от положения и размера импульсного коллиматора, который формирует промежуточное изображение мишени. Поэтому главной задачей расчета было нахождение места расположения промежуточного изображения. Так как никаких других фокусирующих элементов, кроме первого объектива, не было, то изображение мишени необходимо получать сравнительно недалеко от камеры. При этом было желательным после промежуточного изображения поставить магнит, который выполнял бы роль отклоняющего магнита и в то же время дополнительно очищал бы пучок. Выбор места этого магнита был ограничен, практически его положение было заданным. Следовательно, как видно из рисунка 1, импульсный коллиматор следовало ставить в конце канала в защитной стене измерительного павильона. Приближение изображения мишени к ускорителю невыгодно, т.к. при этом резко уменьшается дисперсия^{х)}.

Расчет, сделанный нами на электронно-счетной машине ВЦ ОИЯИ, показал, что в горизонтальной плоскости изображение мишени получается на выходе из защитной стены, если импульс π^- -мезонов взять $\approx 4,1$ Гэв/с. При этом по вертикали пучок получается почти параллельным (см. рисунок 2). Дисперсия в горизонтальном изображении составляет при этом $\approx 8,5$ мм на $\frac{\Delta p}{p} = 1\%$ при коэффициенте увеличения по горизонтали около 1,85. Это дает при радиальном размере мишени 5 мм размер монохроматического изображения мишени около 8,3 мм.

При выбранной горизонтальной ширине коллиматора 2,5 см эффективная ширина импульсного распределения пучка, попадающего в камеру, равна $\pm (1,5 \div 2,0)\%$ с "крыльями" до 3%. Ограничение горизонтальной апертуры осуществлялось коллиматором в первой линзе. Этот коллиматор был поставлен на пучке для камеры Вильсона. Ограничение вертикального размера пучка частиц производилось в импульсном коллиматоре, высота щели которого равнялась 3,5 см. Перед камерой находился еще один коллиматор, размеры щели которого составляли $4 \times 20 \times 250$ см³. Роль этого коллиматора состояла в том, чтобы удерживать частицы на краях горизонтального и вертикального распределений.

х)

На малых расстояниях от СП-40 дисперсия от магнитного поля ускорителя компенсируется дисперсией от СП-40, при увеличении расстояния дисперсия от СП-40 преобладает.

IV. Экспериментальная настройка канала и проверка расчета

Настройка канала осуществлялась двумя способами: 1) методом токнесущей нити^{/3/} и 2) по измерению структуры пучка частиц с помощью отклоняющих магнитов.

1. Методом токнесущей нити было выбрано направление пучка, а также прокалиброваны отклоняющие магниты СП-40 и СП-57. Кривые, связывающие величину тока в магнитах с импульсом частиц, проходящих между полюсами магнитов, показаны на рисунке 3. Из рисунка видно, что π^- -мезоны с импульсом 4,1 Гэв/с должны попадать в камеру, если токи в СП-40 и СП-57 будут равны 448 и 200 а, соответственно. Токи в линзах при этом должны быть равны: 485 а в 1 и 2 МЛ-17 и 540 а в МЛ-18. При этих значениях токов в магнитных линзах и отклоняющих магнитах направление токнесущей нити точно (в пределах $\pm 1\%$) соответствовало направлению в камеру пучка частиц, которое было исследовано с помощью сцинтилляционных счетчиков, включенных на совпадения.

2. Измерение структуры пучка π^- -мезонов проводилось в условиях, когда ток в отклоняющем магните СП-40 менялся, а ток в магните СП-57 был равен нулю. Идентификация частиц пучка производилась телескопом из трех сцинтилляционных счетчиков, включенных на совпадения. Один из счетчиков в свою очередь состоял из двух других счетчиков, которые могли плавно (через 5,0 мм) менять свои координаты; при этом один менял свое положение в вертикальном направлении, другой - в горизонтальном. Диапазон изменений составлял (0-200) мм. Управление этими ("бегающими") счетчиками было дистанционное. Отсчет координат осуществлялся потенциометрическим датчиком, обеспечивающим точность отсчета координаты по обоим направлениям около 1 мм. Размер пластика в бегающих счетчиках в сечении, перпендикулярном направлению пучка, составлял 5x50 мм². Размер пластиков в счетчиках, которые стояли непосредственно за импульсным коллиматором и за отклоняющим магнитом СП-57 и перекрывали весь пучок, был равен 300x50 мм².

Мониторинг осуществлялся другим телескопом из трех счетчиков, расположенным в зале ускорителя.

Схема расположения всех счетчиков показана на общей схеме размещения оборудования магнитного канала (см. рис. 1). Как было сказано выше, анализ импульсного распределения частиц в пучке осуществлялся путем магнитного анализа отклоняющим магнитом СП-40. Для каждого фиксированного значения тока в СП-40 производился отсчет совпадений счетчиков телескопа.

Переход от этого распределения к распределению импульсному осуществлялся с помощью градуировочных кривых рисунка 4.

Результаты измерений импульсного распределения частиц в пучке показаны на рисунке 5. Средний импульс π^- -мезонов получился равным 4,0 Гэв/с. Дисперсия этой величины равна $\pm 2,0\%$ для импульсного коллиматора с щелью $2,5 \times 3,5 \text{ мм}^2$. Другая кривая показывает импульсное распределение частиц для другого отверстия импульсного коллиматора $d = 80 \text{ мм}$, дисперсия среднего импульса равна уже $\pm 3,5\%$. Видно, что импульсный коллиматор является хорошим анализатором пучка по импульсу, а положение промежуточного изображения выбрано правильно. Обе кривые не являются абсолютными кривыми импульсного распределения пучка. Их полуширина на полувысоте указывает только верхнюю границу разброса в импульсном распределении частиц. Положение промежуточного изображения должно сильно зависеть от энергии частиц в пучке. При разных энергиях частиц место нахождения промежуточного изображения должно меняться, соответственно должно заметно изменяться и $\frac{\Delta p}{p}$ пучка, если импульсный коллиматор остается на прежнем месте. Чтобы проверить это, мы меняли длительность ВЧ пачки ускоряющего напряжения (т.е. изменяли энергию π^- -мезонов в пучке) и измеряли структуру частиц в пучке по импульсу. Действительно, при уменьшении длительности ВЧ пачки до 2,75 сек, $\frac{\Delta p}{p}$ пучка увеличилось до 11%.

Форму пучка около камеры без последнего (по ходу пучка π^- -мезонов) коллиматора можно увидеть на рисунке 6. Приведенные распределения дают плотность частиц пучка в плоскости "XoZ", если пучок частиц направлен по оси "Y". Как видно из рисунка, размеры пучка вблизи камеры составляют $15 \times 10 \text{ см}^2$.

Наличие коллиматора перед камерой позволило сделать пучок частиц значительно меньшим по вертикали. Распределение первичного пучка в пузырьковой камере, показанное на рисунке 7, дает величину размера пучка, равную $5 \times 10 \text{ см}^2$.

Таким образом, измерения импульсного распределения путем магнитного анализа частиц в пучке дали величину среднего значения импульса π^- -мезонов, равную $(4,0 \text{ Гэв/с}) \pm 2,0\%$ ^{x)}. Расчетное значение импульса несколько больше и равно $(4,1 \text{ Гэв/с}) \pm 1,5\%$. Такое расхождение, по-видимому, можно объяснить тем, что длительность ВЧ пачки ускоряющего напряжения была взята меньше той, которая должна быть для импульса $4,1 \text{ Гэв/с}$ ^{xx)}.

x) При этом токи в магнитах СП-40 и СП-57 были изменены соответственно значению импульса.

xx) Рабочая длительность пачки ВЧ равна 3,14 сек и является максимальной для нашего ускорителя.

VI. Определение среднего значения импульса с помощью пузырьковой камеры

Величину среднего значения импульса частиц в канале можно определить с помощью непосредственного измерения импульса первичных частиц в рабочем объеме пузырьковой камеры. Для этой цели было измерено около 300 следов π^- -мезонов, проходящих через камеру. Измерения проводились с помощью полуавтоматов группы измерений ЛВЭ, а дальнейший обсчет - на счетной машине ВЦ ОИЯИ. Данные измерений и обсчета приведены на гистограмме рисунка 7. Среднее арифметическое значение импульса получилось равным $(4,14 \pm 0,04)$ Гэв/с. Средневзвешенное значение по всем следам равно $(3,96 \pm 0,03)$ Гэв/с.

Другим наиболее точным определением средней величины импульса частиц пучка с помощью камеры является упругое рассеяние π^- -мезонов на водороде. Этот метод основан на том, что по кинематике упругого взаимодействия можно, зная импульсы и углы вылета вторичных частиц относительно направления первичного π^- -мезона, определять значение импульса первичного пиона. При этом чем точнее определяются импульс и углы вторичных частиц, тем точнее определяется импульс первичного π^- -мезона. В нашем случае в камере были отобраны по критериям, описанным в /4/, события упругого рассеяния, в которых протон отдачи имел малый импульс и останавливался в камере. Такой отбор упругих взаимодействий позволял с большей точностью измерить импульс протона. Всего было отобрано около 40 событий такого типа. Для всех событий был вычислен импульс первичного π^- -мезона. Среднее значение импульса первичных π^- -мезонов получилось равным $(3,95 \pm 0,03)$ Гэв/с. Это значение хорошо согласуется с тем, что было получено по магнитному анализу частиц и по измерениям первичных π^- -мезонов в рабочем объеме камеры.

Таким образом, по всей совокупности измерений для средней величины импульса π^- -мезонов в канале, мы получаем величину $(3,97 \pm 0,03)$ Гэв/с. Если теперь учесть потерю импульса первичными частицами в стенке входного окна камеры (4 мм нержавеющей стали) и в самой жидкости пропана (плотность пропана $0,43 \text{ г/см}^3$), то мы получим величину импульса первичного пучка π^- -мезонов, совпадающую со значением, полученным из магнитных измерений.

VII. Примесь других частиц в пучке π^- -мезонов канала

Основной примесью частиц в пучке π^- -мезонов канала являются μ^- -мезоны, e^- , K^- -мезоны и антипротоны. Состав пучка экспериментально не определялся.

При оценке примеси μ^- -мезонов исходили из геометрии канала, импульсного спектра пучка, среднего времени жизни пионов и напряженности магнитного поля в

отклоняющих магнитах. Получено, что примесь μ^- -мезонов должна быть $(7 \pm 3)\%$ от всех частиц в пучке. Примесь (e^-)-электронов была измерена экспериментально при помощи установок с черенковским счетчиком полного поглощения. Величина примеси электронов в канале составляет по их измерениям не больше 2% . Оценки примеси K^- -мезонов и \bar{p} приводят к величине, меньшей 1% .

В заключение мы благодарим академика В.И.Векслера и И.В.Чувило за внимание и интерес к этой работе. Мы особенно благодарны М.И.Подгорецкому, М.И.Соловьеву, В.Г.Гришину, Д.К.Копыловой, С.Н.Нурышеву, И.Взорову за помощь в работе и полезные обсуждения.

Мы благодарим И.Н.Семеновичкина, С.В.Мухина и С.Рихвицкого за любезное предоставление радиотехнической аппаратуры и В.С. Балашову за проведение геодезических измерений.

Л и т е р а т у р а

1. Ван Ган-чан, М.И.Соловьев, Ю.Н.Шкобин. ПТЭ, № 1, 41 (1959).
2. В.А.Никитин, А.А.Номофилов, В.А.Свиридов, Л.Н.Струнов. Преприят ОИЯИ, 1086, Дубна, 1962.
3. А.А.Тяпкин. ПТЭ, №1 (1956).
4. Д.К.Копылова, В.Б.Любимов, М.И.Подгорецкий. ОИЯИ, Б-4-1249, Дубна, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1965 г.

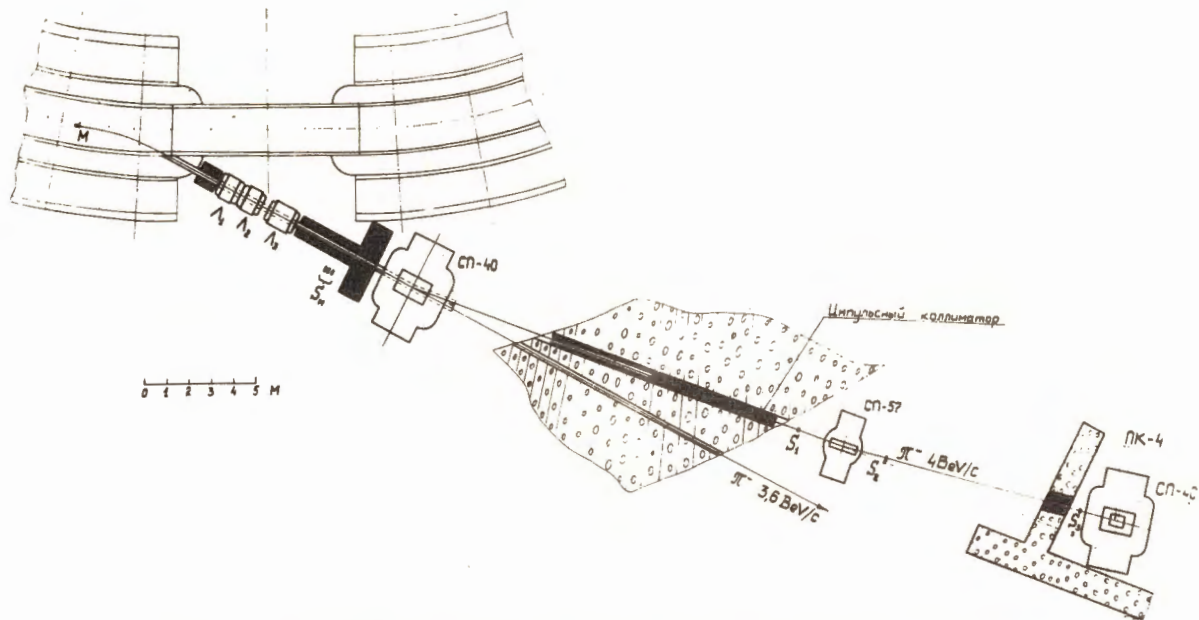


Рис. 1. Общий вид размещения оборудования магнитного канала в здании синхротрона.

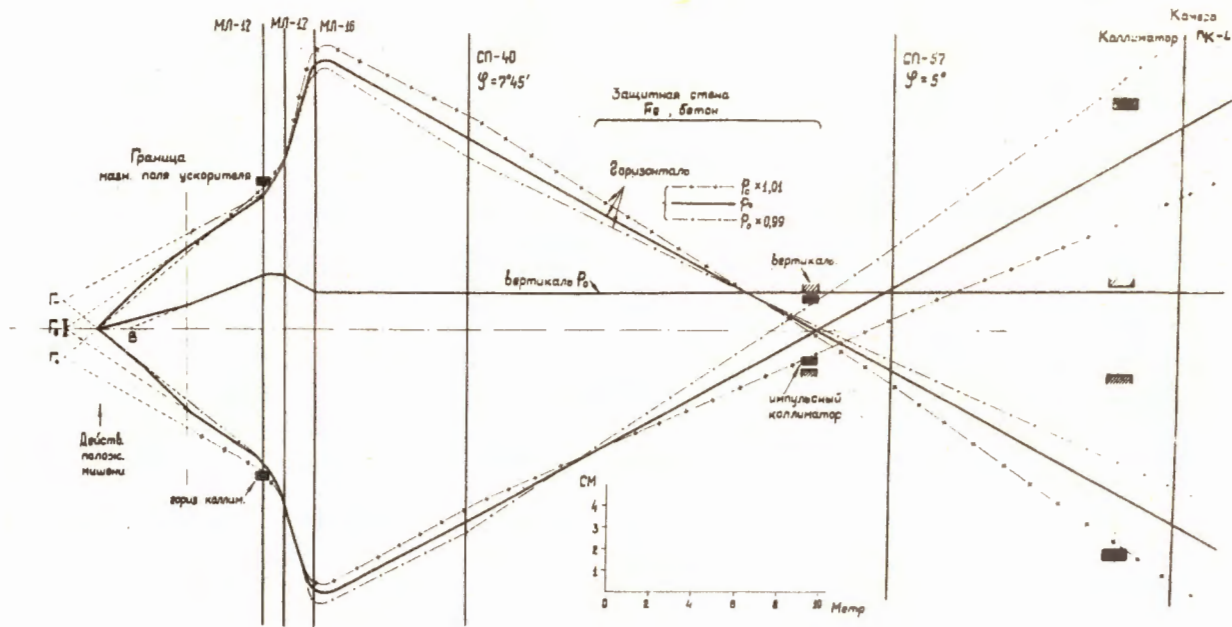


Рис. 2. Схема магнитной оптики канала π^- -мезонов с импульсом 4,0 Гэв/с.

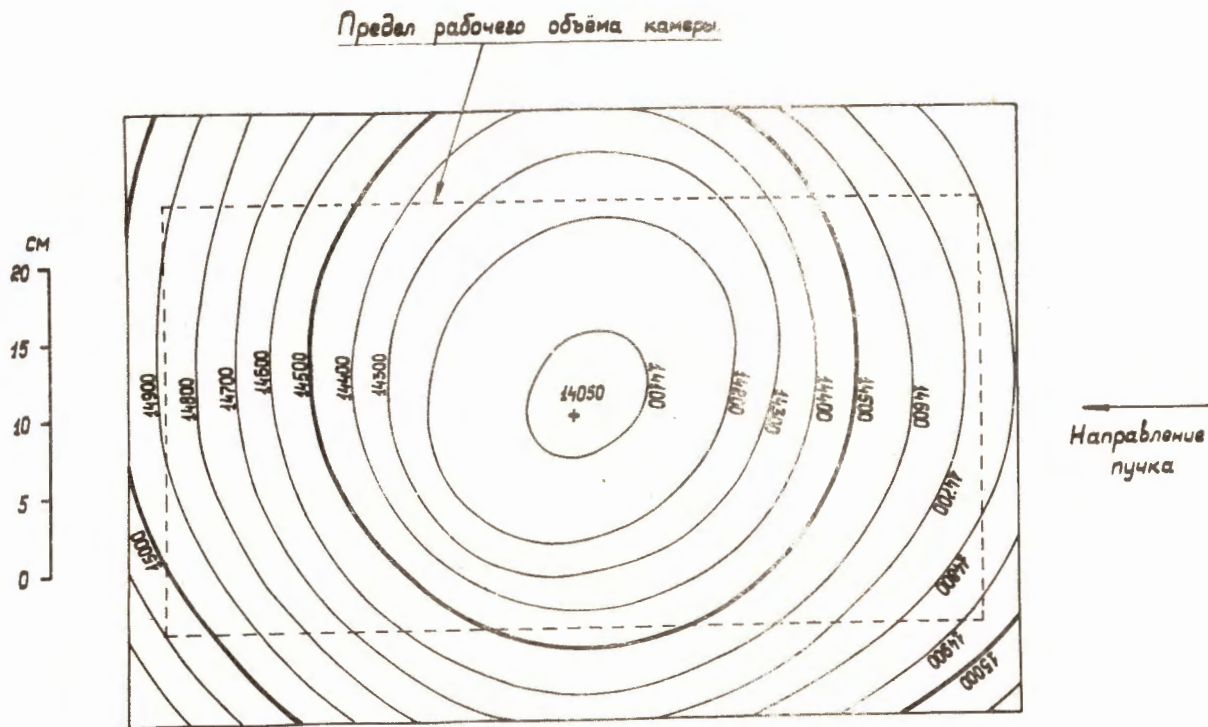


Рис. 3. Распределение магнитного поля камерного магнита СП-40 по плоскости $h = 140$ мм от нижнего полюса.

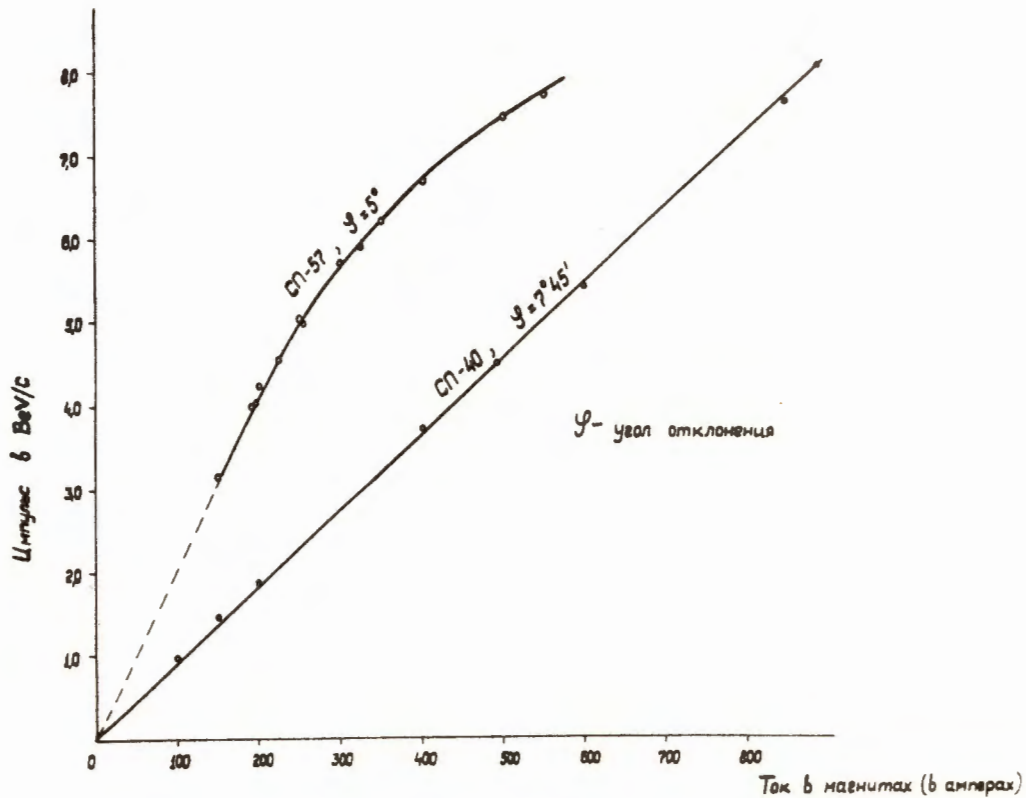


Рис. 4. Кривые зависимости тока в отклоняющих магнитах СП-40 и СП-57 в зависимости от импульса π^- -мезонов.

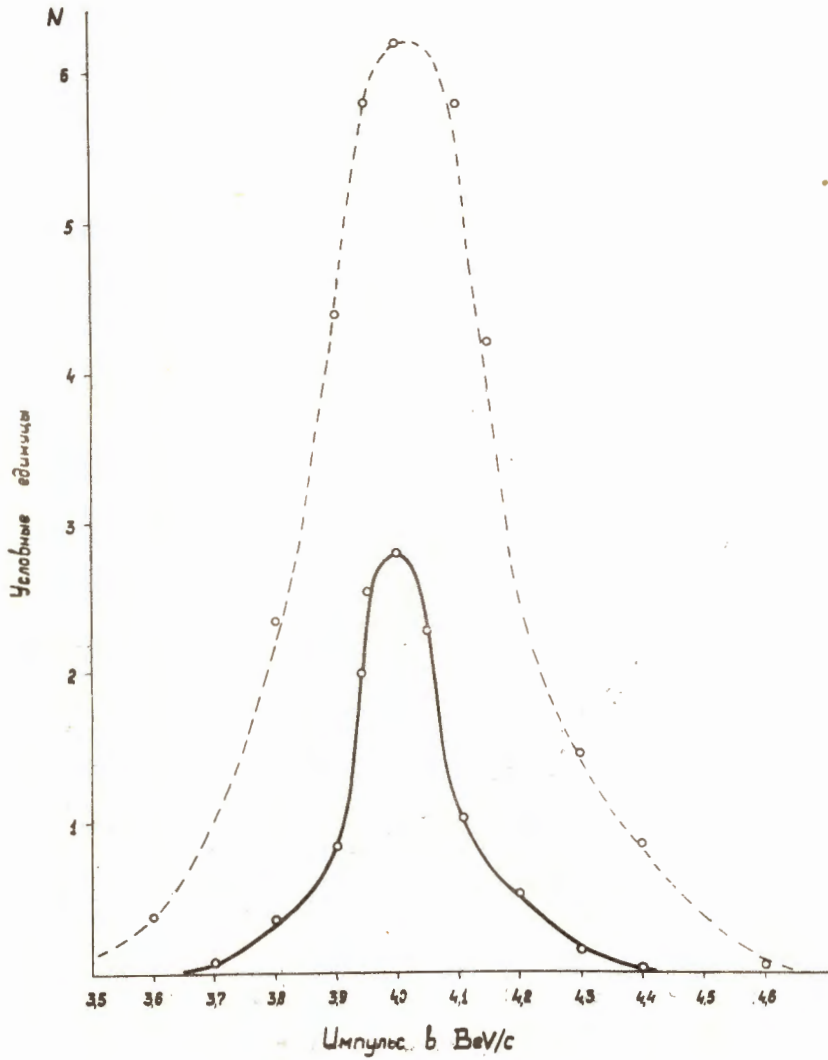


Рис. 5. Импульсное распределение π^- -мезонов из пучка.

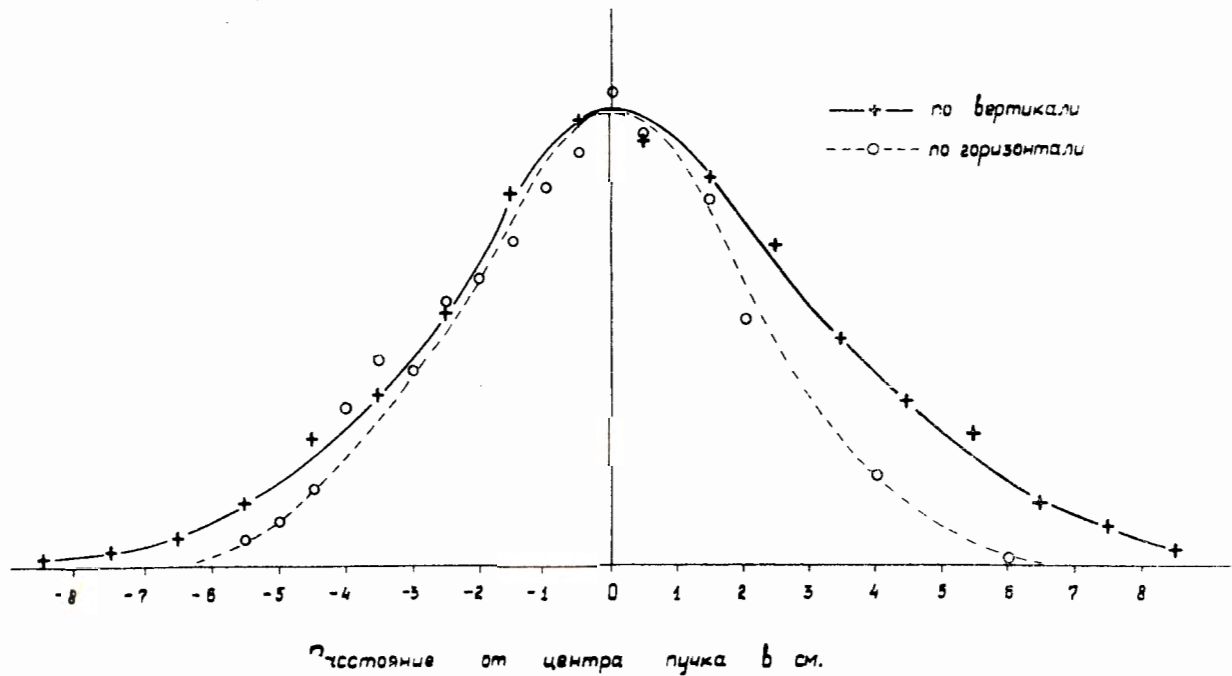


Рис. 6. Горизонтальное и вертикальное распределение частиц в пучке без коллиматора перед камерой.

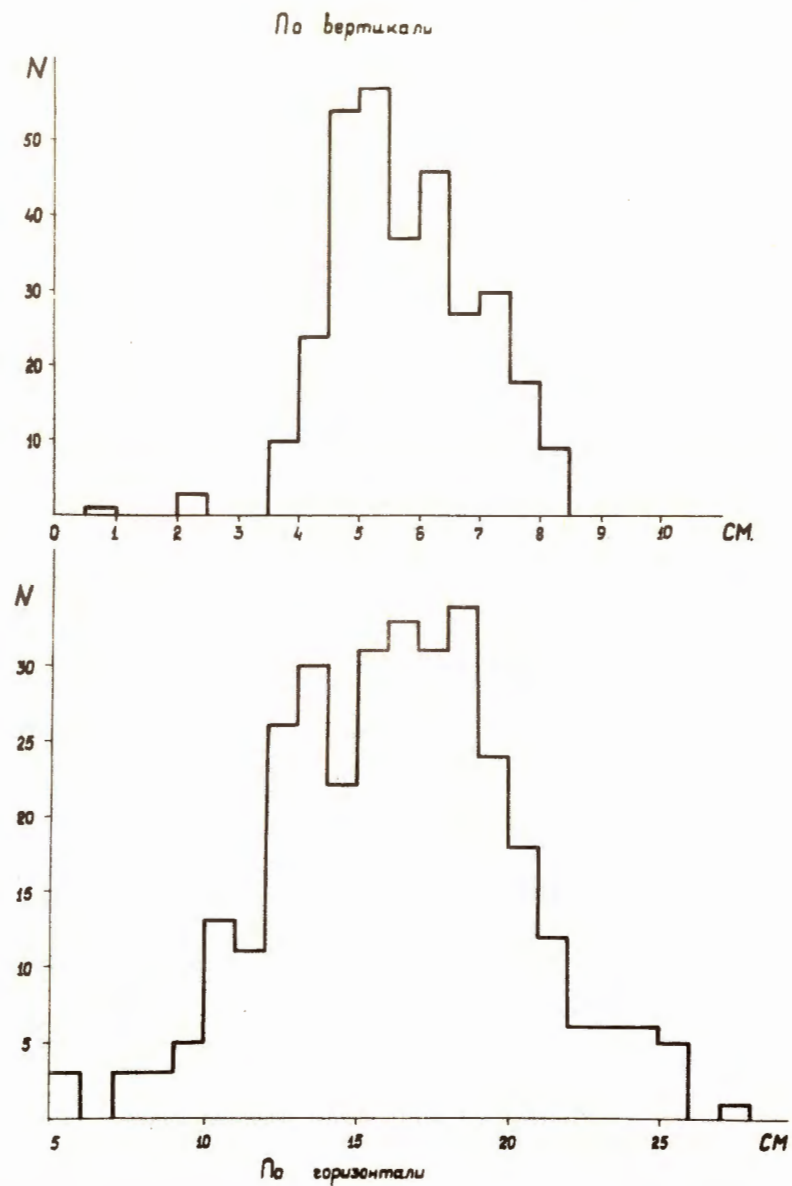


Рис. 6. Горизонтальное и вертикальное распределение частиц в пучке с коллиматором перед камерой.

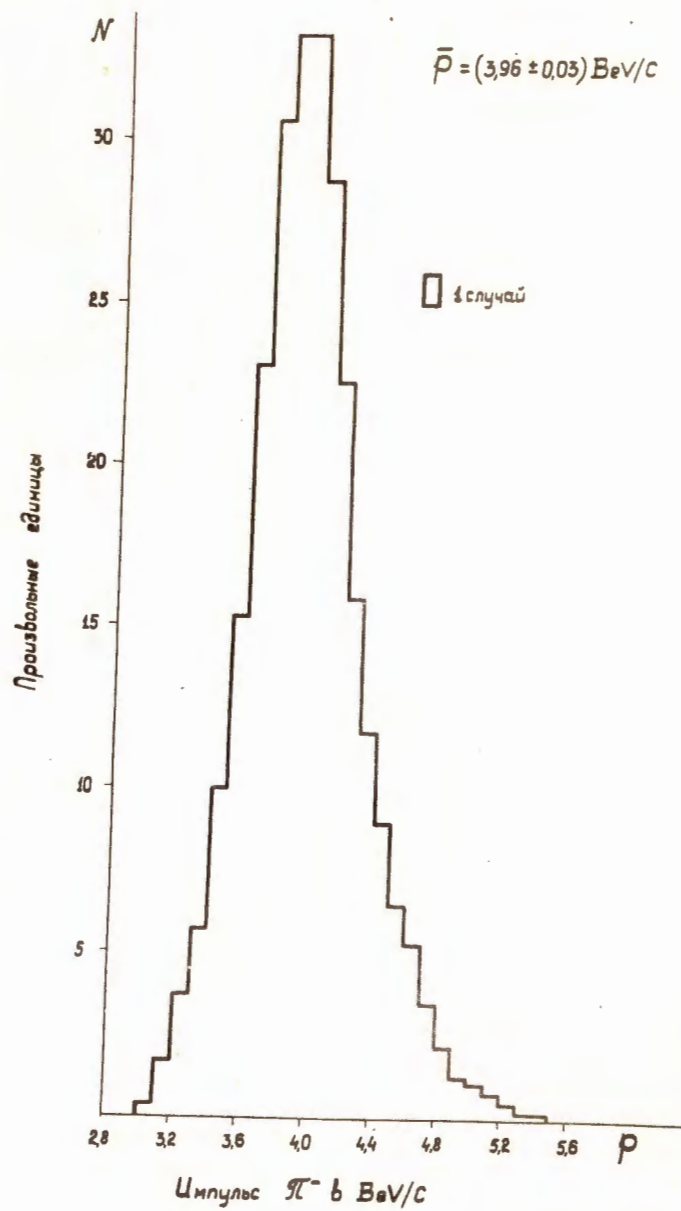


Рис. 7. Гистограмма распределения первичных π^- -мезонов по импульсу в камере в плоскости торца камеры.