

Демьянов А. В. и Роганов В. С.  
Б1-9-8234.

+

С 345 е 3



Д-321

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4060/74

и  
Б1-9-8234

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

А.В. Демьянов, В.С. Роганов

Б1-9-8234

ПИОННЫЕ ПУЧКИ МЕЗОННОГО КАНАЛА

ОТ ВНЕШНЕЙ МИШЕНИ

Ручкой получено  
в архивной копии  
30. авг. 1974  
Каш

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

г. Дубна, 1974 год

## А Н Н О Т А Ц И Я

В работе описываются пучки мезонного канала синхроциклотрона ЛЯП, полученные от мишеней, расположенных на выведенном из ускорителя пучке протонов. Сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами показывает хорошее согласие между ними. Эти данные позволяют определить ожидаемые интенсивности мезонных пучков сильноточного фазотрона (установки "Ф").

## I. Цель эксперимента

Эксперименты были поставлены для решения нескольких задач: 1) моделирование условий получения на установке "Ф" пионных пучков через мезонный канал для мишени, расположенной на выведенном протонном пучке; 2) оценка состава пучков мезонов, полученных из внешней мишени; 3) образование пучков отрицательных пионов малых энергий ( $\sim 50$  Мэв) и относительно больших энергий положительных пионов ( $\sim 160$  Мэв), которые не получают на синхроциклотроне с внутренней мишени.

## 2. Вводные замечания

Мезонные пучки установки "Ф" образуются с внутренней и внешней мишеней. На внутренней мишени получают пучки через мезонный канал (чистые мюонные пучки ( $30 \leq E_\mu \leq 300$  Мэв), пучки отрицательных пионов в широком интервале энергий ( $80 \leq E_\pi \leq 350$  Мэв), пучки положительных пионов с энергией 80 Мэв), а также пионные пучки с хорошим разрешением через соседний канал. На внешней мишени получают пионные пучки обоих знаков в диапазоне энергий 40–350 Мэв. Кроме того на внешней мишени образуется пионный пучок с энергией 50 Мэв с широкоугольной оптикой для онкологических целей и некоторых физических экспериментов.

Образование мезонных пучков на внутренней мишени имеет очевидные преимущества для получения больших интенсивностей:

а) использование полной интенсивности внутреннего пучка; б) большая эффективность мишени из-за многократности прохождения; в) тонкая мишень и отсутствие поглощения мезонов и протонов в ней; г) отработанные способы растяжки пучка. Магнитное поле, необходимое для первоначального магнитного анализа при получении чистых мюонных пучков, также уже имеется в этом случае. Очевидным недостатком использования внутренней мишени является невозможность получения отрицательных пионов малых энергий ( $\sim 60$  Мэв), которые не могут выйти из поля ускорителя и положительных пионов с энергией  $\geq 100$  Мэв, сечение рождения которых под углами около  $180^\circ$  к направлению протонного пучка весьма незначительно.

Вследствие этого оптимальным вариантом схемы образования пучков является образование мезонных пучков на внутренней и внешних мишенях. Полученные экспериментальные результаты анализируются с целью оценки возможных интенсивностей (и состава) пучков установки "Ф".

В соответствии со сказанным выше, были получены пучки отрицательных и положительных мюонов с импульсами  $P_{\mu} = 135, 160, 200, 260$  Мэв. $\cdot$ c $^{-1}$  ( $E_{\pi} = 55, 73, 104, 156$  Мэв).

### 3. Геометрия образования пучков

Геометрия расположения мишеней на протонном пучке и головная линза канала показана на рис. I. Для получения этой геометрии

линзы МЛ 29 № 1 и № 2 (вместе с железными экранами) были удалены. Линза МЛ 30 № 3 включалась как асимметричный квадруполь<sup>/1/</sup> (горизонтальные обмотки включены как в квадрупольной линзе, а вертикальные как в отклоняющей магните). Это включение позволяло в одном элементе иметь фокусировку и поворот частиц. Такой поворот в разной степени необходим для разных положений мишени, различных энергий и знаков мезонов, поскольку мишени находились в рассеянном магнитном поле ускорителя около  $2,5 \text{ кэ}^{/2/}$ ,

Траектории  $\pi^\pm$ -мезонов были рассчитаны с помощью программы, написанной на ФОРТРАНЕ с использованием уравнений движения<sup>/2/</sup> частиц в аксиально-симметричном магнитном поле. Граничные траектории мезонов, падающих на первую линзу для  $\pi^\pm$ -мезонов с импульсом  $160 \text{ Мэв с}^{-1}$  показаны на рис.2 и 3. В таблице I даны углы вылета мезонов из мишени для разных импульсов и положений мишени тех пучков, интенсивности которых были наибольшими.

#### 4. Детектирование мезонов

Геометрия расположения спинтилляционных счетчиков для определения интенсивности и состава пучков на выходе из мезонного канала показана на рис.4. Счетчики совпадений 1, 2, 3 ( $100 \times 100 \times 10 \text{ мм}^3$ ) и счетчик антисовпадений ( $200 \times 200 \times 10 \text{ мм}^3$ ) располагались на расстоянии 32 см за фокусирующим дублетом (МЛ 30 № 30 и 32А) на выходе мезонного канала. Метод определения состава пучков из мезонного канала описан ранее<sup>/3/</sup>.

## 5. Мишени

Выбор мишени для получения пионов на выведенном протонном пучке определяется рядом факторов. Необходимо учитывать: а) сечение образования пионов для заданной их энергии и угла вылета; б) поглощение протонов и мезонов в мишени; в) размеры мишени; г) изменение энергии мезонов и протонов при их прохождении в мишени и уменьшение за счет этого мезонного выхода; д) рассеяние протонов в мишени и возможность дальнейшей транспортировки протонного пучка. Последнее обстоятельство является весьма важным для пучков установки "Ф", поскольку из-за существующих условий (направление протонных и нейтронных пучков, значительный фон вблизи ловушки протонного пучка и т.п.) мезонные мишени нельзя расположить на выходе протонного пучка около ловушки.

Оценим возможные толщины мишени с учетом необходимости дальнейшей транспортировки протонного пучка. Из расстояния между двумя первыми дублетами ISK50, уменьшить которое не представляется возможным, получается наименьшее расстояние около 3,5 м до точки, куда можно сфокусировать пучок. Отсюда следует, что максимально возможный угол захвата в плоскости ФД -  $1,22^\circ$ , а в плоскости ДФ -  $0,61^\circ$ . Для оценок используем средний между этими величинами угол  $0,91^\circ$ . Полагая расходимость протонного пучка  $0,5^\circ$  (что несколько меньше расходимости, существующей в настоящее время), получаем максимально допустимый угол для

многократного рассеяния протонов в мишени равным  $0,77^0$ . Если предположить, что в этом угле необходимо сохранить 95% интенсивности протонов, то толщина мишени должна быть меньше  $11 \text{ г.см}^{-2}$  графита ( $3,5 \text{ г.см}^{-2}$  меди).

Исходя из сказанного, для экспериментов была выбрана мишень из полиэтилена толщиной  $10 \text{ см}$  (около  $10 \text{ г.см}^{-2}$ ) диаметром  $8 \text{ см}$ . Вместе с этим, чтобы оценить экспериментально влияние факторов а, б, в, г, когда нет ограничений на толщину мишени, следующих из д, использовались также мишени из меди толщиной  $1,5 \text{ см}$ ,  $10 \text{ см}$  и из полиэтилена толщиной  $2 \text{ см}$ .

#### 6. Параметры пучка протонов

Форма пучка на мишени существенно зависит от положения насадок, расположенных на выходе протонного пучка из камеры ускорителя. При разведенных насадках 95% интенсивности пучка в горизонтальной плоскости имеет протяженность  $15 \text{ см}$ . В эксперименте насадки были сведены таким образом, чтобы пучок вписывался в размеры мишени. На рис.5 показаны контуры пучка протонов на мишени.

Распределение плотности протонов в горизонтальной и вертикальной плоскостях на выходе насадок (кривая 1) и через  $182 \text{ см}$  вдоль пучка (кривая 2) показаны на рис.6. Распределение получено методом наведенной активности с разрешением  $\pm 2,5 \text{ мм}$ , проин-



тегрированное в другой плоскости по длине 10 см. Из рисунка видно, что расходимость пучка (изменение ширины его на высоте распределения интенсивности) около  $0,5^\circ$ .

В экспериментах абсолютная интенсивность протонного пучка составляла около  $6 \cdot 10^{11}$  сек<sup>-1</sup>. Калибровка ионизационных камер, имеющих вблизи ускорителя, была сделана В.И.Комаровым калориметрическим способом.

#### 7. Измерения интенсивности и состава пучков мезонов

Процедура измерений была следующей. Для выбранного импульса (напр.  $160 \text{ Мэв} \cdot \text{с}^{-1}$ ) мезонный канал настраивался на соответствующий режим (напр. № I/4/) питания линз и отклоняющих магнитов. Горизонтальные и вертикальные обмотки входной линзы МЛ 30 № 3 питались отдельно от двух генераторов. С помощью токов в обмотках подбирались оптимальные условия фокусировки и отклонения в этой линзе для фиксированного положения мишени на протонном пучке.

Интенсивность в пучке мезонов измерялась по счету совпадений в счетчиках (I2). Интегральная пробегная кривая снималась при изменении толщины фильтра между счетчиками 2 и 3 по счету совпадений (I 2 3), а кривая остановок - по счету антисовпадений (I 2 3  $\bar{4}$ ). Из этих кривых оценивается состав пучка<sup>/3/</sup>.

## 8. Результаты измерений

Результаты измерения интенсивности  $\mathcal{N}$  пучков положительных и отрицательных частиц для разных импульсов и различных мишеней приведены в таблице 2. В своем составе пучки содержат  $\pi$ ,  $\mu$ ,  $e$ . Поскольку на входе в канал магнитного анализа не проводится, то сепарированных мюонных пучков (с пионной примесью меньше  $10^{-2}$ ) в этой геометрии с внешней мишени получить невозможно.

На рис.7 показаны пробегные кривые и кривые остановок для пучков с импульсом  $160 \text{ Мэв.с}^{-1}$ . Верхняя кривая соответствует сепарированному пучку отрицательных мюонов, полученному с внутренней мишени ускорителя (реж. № 1<sup>4/4</sup>). Нижние кривые соответствуют пучкам отрицательных и положительных мезонов, образованных на внешней мишени толщиной  $10 \text{ г.см}^{-2}$ . Из кривых следует отношение компонент в пучке положительных мезонов  $\pi:\mu:e = 1:1:0,04$ , а в пучке отрицательных мезонов  $1,6:1:1$ . Эти соотношения использовались и для пучков с импульсом  $135 \text{ Мэв.с}^{-1}$ . Для пучков с импульсом  $200$  и  $260 \text{ Мэв.с}^{-1}$  доли пионов в пучке полагалась  $0,67$  в соответствии с измерениями для внутренней мишени.

Заметим, что примесь электронов в пучках отрицательных мезонов с импульсами  $160 \text{ Мэв.с}^{-1}$  на порядок превосходит соответствующую примесь в пучках, образованных на внутренней мишени.

Из таблицы 2 видно, что потоки положительных мезонов от внешней мишени  $10 \text{ г.см}^{-2}$  изменяются от  $70 \cdot 10^3$  до  $170 \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ , а потоки отрицательных частиц — от  $41 \cdot 10^3$  до  $55 \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ . Измеренный выход  $\pi^+$ -мезонов из полиэтиленовой мишени  $10 \text{ г.см}^{-2}$  в 5 раз больше выхода из мишени  $2 \text{ г.см}^{-2}$  для импульса  $160 \text{ Мэв.с}^{-1}$ . Для того же импульса выход  $\pi^-$ -мезонов из медной мишени  $87 \text{ г.см}$  оказался лишь в 1,3 раза больше выхода из полиэтиленовой мишени  $10 \text{ г.см}^{-2}$ .

### 9. Расчеты ожидаемых интенсивностей пучков

Ожидаемое число пионов  $n_{\pi}$  определяется соотношением:

$$n_{\pi} = \frac{d^2\sigma}{dE_{\pi} d\Omega} (E_p, E_{\pi}, \vartheta) \cdot N_y \cdot I_p \cdot K \cdot \Delta E_{\pi} \cdot \Delta \Omega \cdot \delta_{\pi} \cdot \eta_p \cdot e^{-\frac{L}{\lambda}},$$

где  $\frac{d^2\sigma}{dE_{\pi} d\Omega} (E_p, E_{\pi}, \vartheta)$  — дифференциальное сечение образования мезонов с энергией  $E_{\pi}$  протонами с энергией  $E_p$  под углом  $\vartheta$  к протонному пучку в ядрах мишени;  $N_y$  — число ядер в мишени на  $1 \text{ см}^2$ ;  $I_p \cdot K$  — интенсивность протонов в выведенном пучке ( $K$  — коэффициент вывода);  $\Delta E_{\pi}$  и  $\Delta \Omega$  — энергетический интервал и телесный угол, задаваемый системой фокусировки;  $\eta_p$  — доля протонов в середине мишени от числа падающих;  $\delta_{\pi}$  — доля мезонов, вышедших из мишени;  $e^{-\frac{L}{\lambda}}$  — доля пионов, которая не распалась до выхода из мезонного кавала;  $L = 18,7 \text{ м}$  длина пути, а  $\lambda(P_{\pi})$  — распадная длина  $\lambda (\text{см}) = 5,59 \cdot P_{\pi} (\text{Мэв.с}^{-1})$ .

Величины сечений брались из работ<sup>/5/</sup>. Однако нет полного набора необходимых величин и недостающие значения получались экстраполяцией. Точность абсолютных значений<sup>/5/</sup> также не велика. Значения энергетического интервала  $\Delta E_{\text{пр}}$  определяются анализирующими свойствами жестко-фокусирующего магнита МЛ-31 и использовались экспериментальные величины<sup>/4/</sup>, полученные ранее.

Вычисление телесных углов  $\Delta \Omega$  для протяженного источника и реальных систем фокусировки представляет известные трудности. Для оценки  $\Delta \Omega$  использовалась следующая схема расчета. Эллипсы захвата<sup>/6/</sup> в фазовых плоскостях канала для режимов работы и линз, используемых в эксперименте, переносились на вход в первую линзу, используя матрицу переноса для фокусирующего элемента, включающего дипольное и квадрупольное магнитные поля (асимметричный квадруполь). Полученные эллипсы проектировались на горизонтальную и вертикальные плоскости и из эмитанса пучка для точечного источника выбирались углы, удерживаемые каналом. Заметим, что фазовые эллипсы<sup>/6/</sup> бесконечно длинного канала хорошо описывают конечную систему линз, как это следует из оценок при использовании метода акцептансных полигонов (см. напр.<sup>/7/</sup>). Вычисленные таким образом значения  $\Delta \Omega$  несколько меньше (около 0,7) значений телесного угла, вырезаемого первой линзой. Ослабление протонного пучка в мишени  $\eta_p$  не очень велико для мишени  $10 \text{ г/см}^{-2}$  (0,92 в середине мишени). Однако, для толстой

мишени  $87 \text{ г/см}^2$  ослабление существенно (0,66 в середине мишени). Кроме того, если в тонкой мишени протоны теряют около  $\Delta E_p = 25 \text{ Мэв}$  и сечение образования при этом практически не изменяется, то в толстой мишени  $E_p \simeq 160 \text{ Мэв}$  и среднее по толщине мишени сечение уменьшается почти вдвое (сечение рождения мезонов под углом около  $20^\circ$  при  $E_\pi = 156 \text{ Мэв}$  для  $E_p = 600 \text{ Мэв}$ <sup>/8/</sup> в 1,5 раза меньше сечения<sup>/5/</sup> для 660 Мэв).

Поглощение мезонов в используемых мишенях не слишком велико ( $\sigma_\pi \sim 0,8$ ) и зависит от пути прохождения мезонов в мишени. Существенным являются поперечные размеры пучка протонов, а следовательно и мишени. Значительные поперечные размеры мишени приводят к изменению энергии мезонов и рассеянию при их прохождении в мишени. Например, для толстой медной мишени мезоны с энергией 73 Мэв на поверхности мишени в ее центре имеют энергию 155 Мэв. Даже под  $90^\circ$  из центра этой мишени не могут выходить мезоны с энергией меньше 120 Мэв, а из полиэтиленовой мишени — мезоны с энергией меньше 30 Мэв. Это важно для получения пучков под большими углами обстоятельство поскольку с ростом энергии пионов их угловое распределение становится более направленным вперед.

Например для  $\pi^+$  с энергией 70 Мэв сечение под  $90^\circ$  меньше, чем под  $0^\circ$  в 2 раза, а для энергии 125 Мэв — в 4,5 раза.

10. Сравнение измеренных значений с  
вычисленными

Из таблицы 2 видно, что измеренные значения интенсивностей довольно хорошо совпадают с вычисленными - для  $\pi^+$ -мезонов они в среднем в 1,2 меньше, а для  $\pi^-$  - во столько же больше. Из сказанного выше об известных значениях сечений, расчетах  $\Delta\Omega$ , а также принимая во внимание точность абсолютного и относительного мониторинга, можно было ожидать худшего согласия. Оценим из измеренных значений интенсивностей пучков отрицательных пионов величину интенсивности, которую можно ожидать с внутренней мишени из канала. Интенсивность выведенного протонного пучка в эксперименте составляла около 5% интенсивности внутреннего,  $\Delta\Omega$  с внутренней и внешней мишеней примерно одинаковы. Кратность прохождения мишени пучком внутри ускорителя экспериментально определить сложно. Однако, из расчетов для ускорителя ЦЕРН<sup>а</sup> /9/ следует, что эта величина около 2,5 - для мишени из Be толщиной 4 см. Используя эту величину для нашего ускорителя, ожидаем из табл.2 выход  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 260 Мэв.с<sup>-1</sup> из внутренней мишени  $1,8 \cdot 10^6$  сек<sup>-1</sup>. Это соответствует экспериментальной величине  $1,4 \cdot 10^6$  сек<sup>-1</sup> /4/.

Заметим, что всюду речь шла о пионных пучках с внешней мишени. Для получения чистых мезонных пучков нужен еще дополнительный магнитный анализ на входе в канал ( $H\ell \approx 15$  кэ.м). Это значительно отодвинет входную линзу, уменьшит телесный угол и

интенсивность мюонов. Например, канал мюонных остановок  $10^6$  в Лос-Аламосе для внешней медной мишени  $32 \text{ г.см}^{-2}$  даст в 3 раза меньше мюонов, чем на ту же интенсивность протонов в мезонном канале нашего ускорителя с внутренней мишени (с учетом разницы в оптике этих каналов).

II. Получение пучков  $\pi^+$ -мезонов с энергией 160 Мэв и  $\pi^-$ -мезонов с энергией 55 Мэв от внешней мишени на синхроциклотроне

Для пучка отрицательных мезонов с энергией 55 Мэв из внешней мишени через мезонный канал в соответствующих условиях максимально можно ожидать интенсивности  $10^5 \text{ сек}^{-1}$  (мишень  $30 \text{ г.см}^{-2}$ ; интенсивность протонов  $10^{12} \text{ сек}^{-1}$  и несколько увеличив  $\Delta \Omega$  зафвата), но без растяжки и со значительной примесью электронов. Это в несколько раз меньше, чем можно получить от внутренней мишени <sup>/4/</sup> слегка затормозив фильтром мезоны с энергией 89 Мэв.

В тех же условиях для положительных мезонов с энергией 55 Мэв от внешней мишени получится  $1,8 \cdot 10^5 \text{ сек}^{-1}$ , что уже сравнимо с интенсивностью от внутренней мишени. Для  $\pi^+$ -мезонов с энергией 156 Мэв можно ожидать  $3,6 \cdot 10^5 \text{ сек}^{-1}$  (с внутренней мишени пучки такой энергии получить нельзя). Таким образом, если для физических исследований такой пучок потребуется, его получение технически возможно.

## 12. Интенсивности мезонных пучков сильноточного фазотрона

В рамках данной работы полезно напомнить величины интенсивностей мезонных пучков, ожидаемые после реконструкции. Эти интенсивности для пучков через мезонный канал приведены в табл.3, а для пучков от внешней мишени даны в таблице 4. (Ток протонов в ускорителе 50 ма, выведено 25 ма, внешняя мишень из графита 10 г.см<sup>-2</sup>). Для пучков мезонного канала использовались экспериментальные значения<sup>/4/</sup>, полученные на синхроциклотроне. Пучки с внешней мишени образовывались в геометрии канала № 3 на схеме пучков сильноточного фазотрона. Интенсивность пионов с внутренней мишени через канал № 2 в импульсном интервале 0,02 примерно в 3 раза меньше интенсивности пионов с энергией 160 Мэв в мезонном канале.

Следует обратить внимание на противоречивость требований к длине канала при получении сепарированных мюонных пучков (канал должен быть, по возможности, длиннее, чтобы в нем больше распалось пионов) и пионных пучков (возможно короткий канал). Это учтено в схеме пучков установки "Ф" - канал № 3 для внешней мишени в 2 раза короче мезонного канала при выводе пучков в зал экспериментальных установок. К чему это приводит можно видеть, например, для пучка с энергией 73 Мэв: на выходе мезонного канала остается 0,125 от числа захваченных в канал, а на выходе канала № 3 - 0,354. Даже при таком значительном сокращении распадного пути, интенсивность пионов от внутренней мишени оказывается



больше. Следует также иметь ввиду большие примеси в пучках с внешней мишени.

Интенсивность пионного пучка широкоугольной оптики (пучок для онкологических целей и физических исследований) с энергией 50-70 Мэв оценена<sup>/11/</sup> для выведенного протонного пучка с током 10  $\mu$ а из медной мишени 5 x 5 x 5 см<sup>3</sup>  $n_{\pi^-} = 2 \cdot 10^8$  сек<sup>-1</sup> для  $\pi^-$ -мезонов и  $10^9$  сек<sup>-1</sup> для  $\pi^+$ -мезонов.

Для сравнения в табл.5 приведены интенсивности мезонных пучков установки "Ф" и ускорителя ЦЕРН'а после его реконструкции<sup>/12/</sup>. На этом ускорителе, так же как и на установке "Ф", часть пучков образуется от внутренней мишени (особенно мюнные), а часть от внешней. Из табл. видно, что интенсивности мезонных пучков установки "Ф", особенно мюнные, значительно выше.

### Заключение

В заключении сделаем некоторые выводы.

I. Моделирование для установки "Ф" условий получения пионных пучков с внешней мишени подтвердило экспериментально оценки ожидаемых интенсивностей.

Сравнение ожидаемых интенсивностей мезонных пучков установки "Ф" и ускорителя ЦЕРН'а после его реконструкции показало, что интенсивности пучков, особенно мюнных, сильноточного фазотрона существенно выше.

2. Измерение состава пучков показало значительную (0,28) примесь электронов в пучках отрицательных мезонов малых энергий ( $\sim 70$  Мэв), образованных на внешней мишени.

3. Для пучков отрицательных пионов малых энергий ( $\sim 50$  Мэв) от внешней мишени в существующих условиях получены меньшие интенсивности, чем от внутренней мишени при использовании фильтров для торможения.

В существующих условиях от внешней мишени можно получить пучок положительных пионов с энергией  $\sim 150$  Мэв интенсивностью  $\sim 3 \cdot 10^5$  сек<sup>-1</sup>.

*Д. М. ...*

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.М.Грашин, Б.А.Долгошеин, В.Г.Кириллов-Угрюмов, А.А.Кропин, В.С.Роганов, С.В.Сомов. ОИЯИ, Р-1902 (1964).
2. В.Г.Кириллов-Угрюмов, А.А.Кропин, В.С.Роганов, А.В.Самойлов. ОИЯИ, Р-663 (1964).
3. В.Г.Варламов, Д.М.Грашин, А.В.Демьянов, Б.А.Долгошеин, В.С.Роганов. ОИЯИ, I-4084 (1968).
4. В.С.Роганов. ОИЯИ, БI-9-4707 (1969).
5. М.Г.Мещеряков и др. ЖЭТФ 31, 55 (1956; В.А.Шебанов и др. ЖЭТФ 32, 1328 (1957), ЖЭТФ 31, 987 (1956); Л.Ажгирей и др. ЖЭТФ 34, 1357 (1958).
6. А.В.Демьянов, А.А.Кропин, В.С.Роганов. ОИЯИ, I-4156 (1968).
7. A.Septier. Focusing of Charged Particles, VII (1967). Acad, Press. London.
8. E.Heer a.a. CERN, 66/436 (1966). SYN, Tätigkeitsbericht (1969)
9. P.Skarek CERN. MSC-69-4 (1969).
10. W.W.Hughes a.a. Los-Alamos, IA-4474-MS (1971).
11. О.В.Савченко. ОИЯИ, БI-13-6255, Дубна (1972).
12. E.G.Michaelis PHIII-72/36 (1972), CERN.

Таблица I

Величины импульсов  $P_{\pi}$ , энергий  $E_{\pi}$ , углов вылета мезонов  $\varphi$  из центра мишени по отношению к протонному пучку, энергий  $E$  мезонов в центре мишени из полиэтилена  $\varnothing$  80 мм длиной 100 мм.

		Положительные мезоны				Отрицательные мезоны			
$E_{\pi}$	мэв	55	73	104	156	55	73	156	73
$P_{\pi}$	мэв/с	135	160	200	250	135	160	260	160
$\varphi$	град.	55,1	53,1	51,5	49,3	35,7	25,2	26,8	25,2
$E$	мэв	69	86	118	155	73	88	167	155 <sup>*)</sup>

\*) Значение  $E$  для медной мишени  $\varnothing$  80,  $l = 100$  мм.

Таблица 2.

Измеренные величины интенсивностей пучков  $N$ , интенсивности пионов  $N_{\pi}$ , рассчитанные значения интенсивностей пионов  $n_{\pi}$  из полиэтиленовой мишени толщиной 10 г/см<sup>2</sup>

Положительные пионы

$E_{\pi}$ Мэв	55	73	104	156	73 <sup>1)</sup>	73 <sup>2)</sup>
$N \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ (измер.)	68	107	172	134	56	27
$N_{\pi} \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ (измер.)	33,3	53,5	115	66	28	13,2
$n_{\pi} \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ (расч.)	42	80	110	107	38,5	17,9

Отрицательные пионы

$E_{\pi^-}$ Мэв	55	73	156	73 <sup>1)</sup>	73 <sup>3)</sup>
$N \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ (измер.)	41,0	53,0	55,0	53,0	70
$N_{\pi^-} \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ (измер.)	18,3	23,6	37,0	23,6	31,2
$n_{\pi^-} \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$ (расч.)	14,5	18,1	43,0	17,5	30,8

- 1) Медная мишень толщиной 15 мм
- 2) Полиэтиленовая мишень толщиной 20 мм
- 3) Медная мишень толщиной 100 мм

Таблица 3

Интенсивности пучков мезонного канала сильноточного фазотрона  
(ток протонов 50  $\mu\text{A}$ )

	Отрицательные мюоны					Положит. мюоны
$E_{\mu^-}$ Мэв	30	36	50	76	165	36
$P_{\mu^-}$ Мэв.с <sup>-1</sup>	86	96	115	150	250	96
$\pm \frac{\Delta P}{P} \%$	7	6,3	6,3	4,8	4,8	6,3
$N_{\mu^-}$ сек. <sup>-1</sup>	$0,6 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$
	Отрицательные пионы				Положит. пионы	
$E_{\pi^-}$ Мэв	89	111	150	288	89	
$P_{\pi^-}$ Мэв.с <sup>-1</sup>	182	208	256	400	182	
$\pm \frac{\Delta P}{P} \%$	3,3	3,8	4,5	4,0	3,3	
$N_{\pi^-}$ сек. <sup>-1</sup>	$1,9 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^6$	

Таблица 4

Интенсивности пионных пучков сильноточного фазотрона от внешней мишени из графита 10 г.см<sup>2</sup> (интенсивность выведенных протонов 25  $\mu$ А).

Положительные пионы

Е МэВ	55	73	104	156	288
$\Delta E$ МэВ.	II	II	II,5	I6	30
$N_{\pi^+}$ сек <sup>-1</sup>	$4,5 \cdot 10^7$	$6,5 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	$8,3 \cdot 10^7$	$4,1 \cdot 10^8$

Отрицательные пионы

Е МэВ	55	73	256	288
$\Delta E$ МэВ	II	II	I6	30
$N_{\pi^-}$ сек. <sup>-1</sup>	$1,5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^7$

Пучок широкоугольной оптики:

$E_{\pi} = 50$  МэВ, интенсивность выведенных протонов 10  $\mu$ А, мишень из меди 5x5x5 см<sup>3</sup>;  $N_{\pi^-} = 2 \cdot 10^8$  сек<sup>-1</sup>,  $N_{\pi^+} = 10^9$  сек<sup>-1</sup>

Таблица 5

Мезонные пучки сильноточного фазотрона и пучки ускорителя ЦЕРН, а после реконструкции

		ЦЕРН			ЛЯП		
		Е МэВ	$\Delta E$ МэВ	$N$ сек <sup>-1</sup>	Е МэВ	$\Delta E$ МэВ	$N$ сек <sup>-1</sup>
I	2	3	4	5	6	7	8
Мезонный канал	$\pi^-$	127	17,5	$10^7$	III	17,5	$3,4 \cdot 10^7$
	$\mu^-$	56	II	$5 \cdot 10^5$	76	II	$4,8 \cdot 10^6$
	$\mu^+$	56	II	$5 \cdot 10^4$	36	II	$3 \cdot 10^5$

		ЦЕРН			ЛЯП		
I	2	3	4	5	6	7	8
Внешняя мишень	$\overline{N}_i^-$	104	28	$9 \cdot 10^6$	73	28	$3,8 \cdot 10^7$
	$\overline{N}_i^-$	280	47	$2 \cdot 10^7$	156	28	$5,2 \cdot 10^7$
	$\overline{N}_i^-$				288	47	$5,4 \cdot 10^7$
	$\overline{N}_i^+$	104	28	$5 \cdot 10^7$	104	28	$2 \cdot 10^8$
	$\overline{N}_i^+$	284	47	$2 \cdot 10^8$	180	47	$6,4 \cdot 10^8$
		$E_{\overline{N}_i} \text{ МЭВ}$	$\Delta E_{\overline{N}_i} \text{ МЭВ}$	$N_{\overline{N}_i} \text{ сек}^{-1}$	$E_{\overline{N}_i} \text{ МЭВ}$	$\Delta E_{\overline{N}_i} \text{ МЭВ}$	$N_{\overline{N}_i} \text{ сек}^{-1}$

Рис. I. Геометрия образования пучков на внешней мишени.

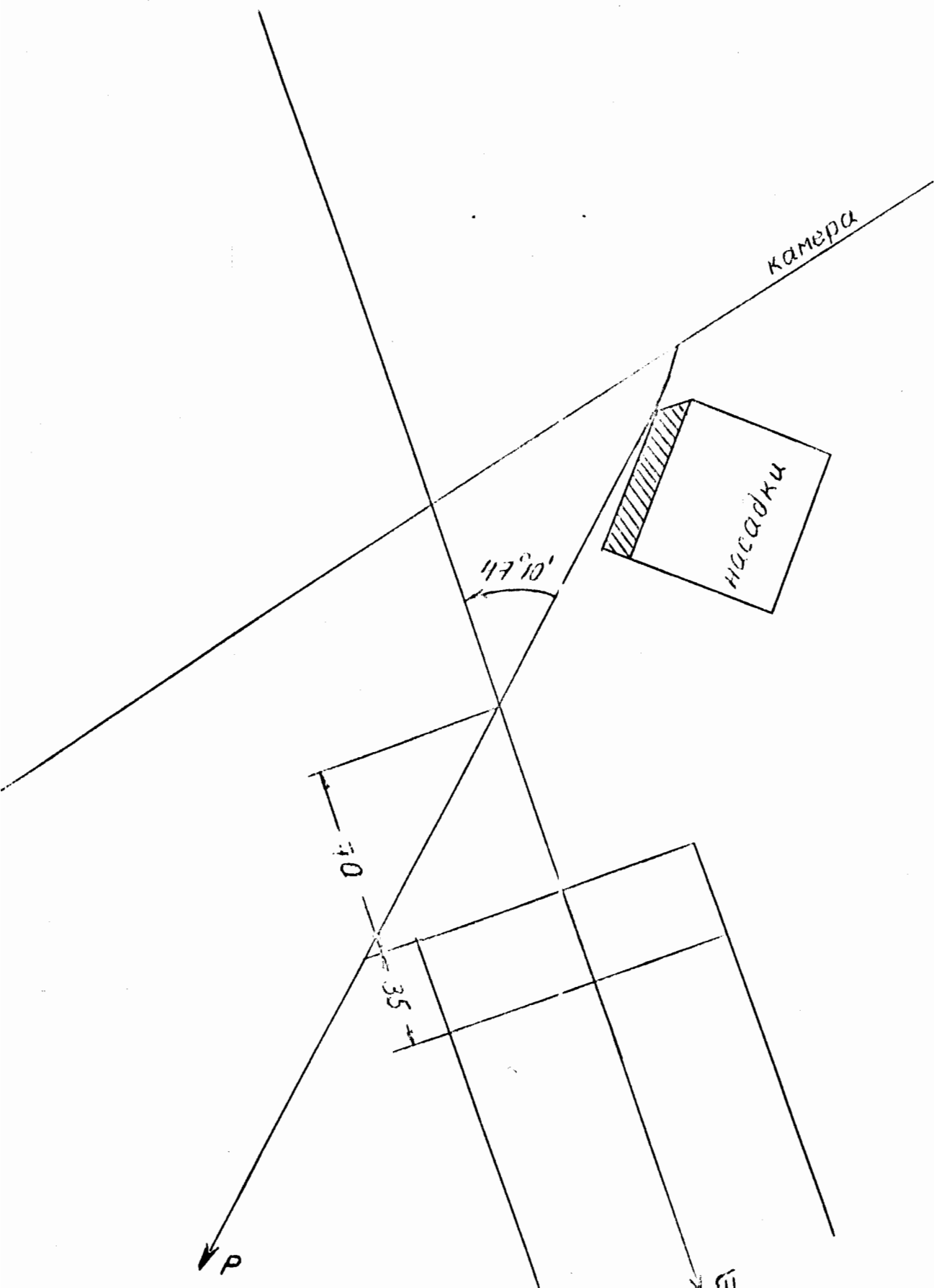
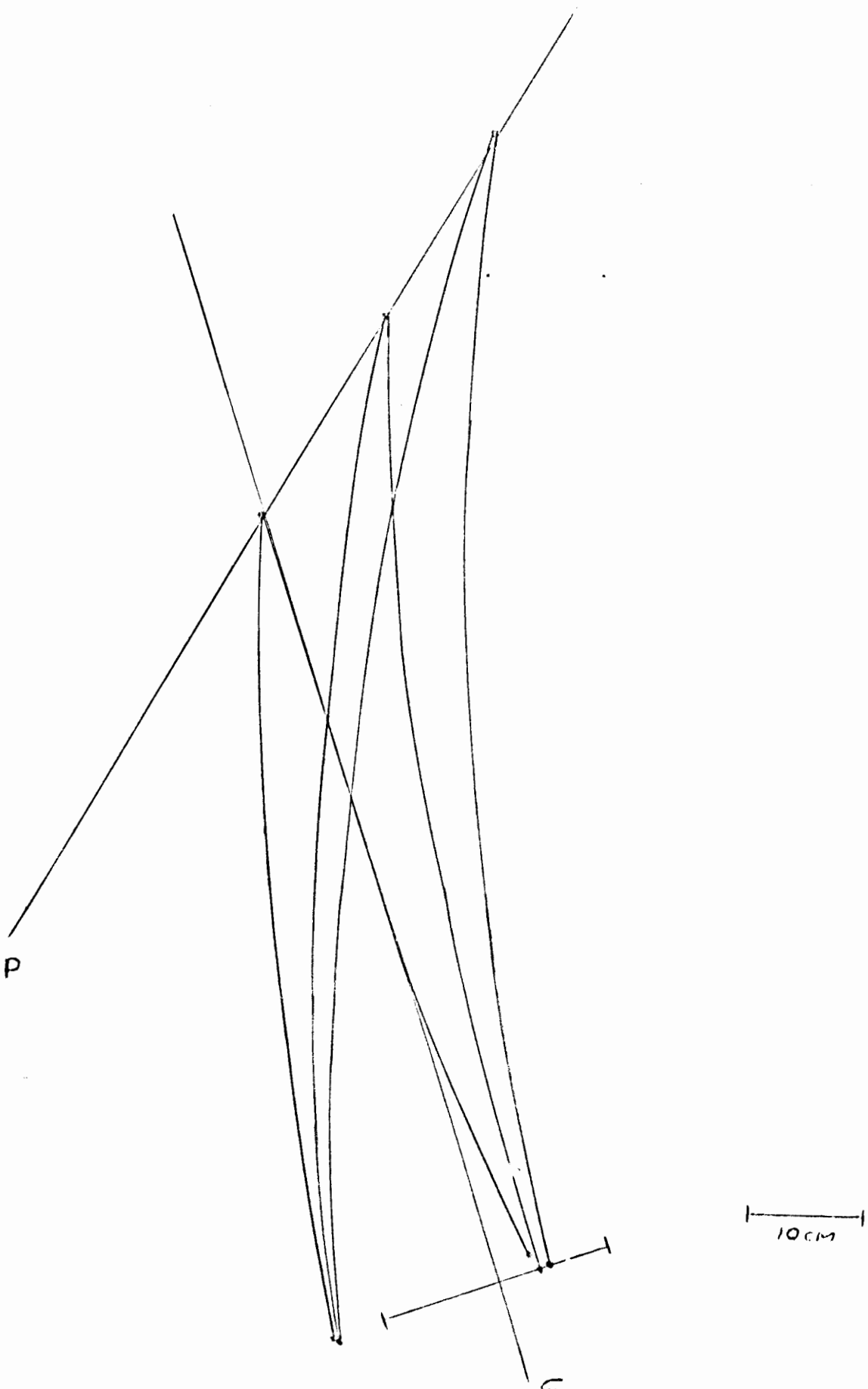




Рис. 2. Траектории отрицательных протонов с импульсом  $160 \text{ МэВ} \cdot \text{с}^{-1}$  на входе в мезонный канал.



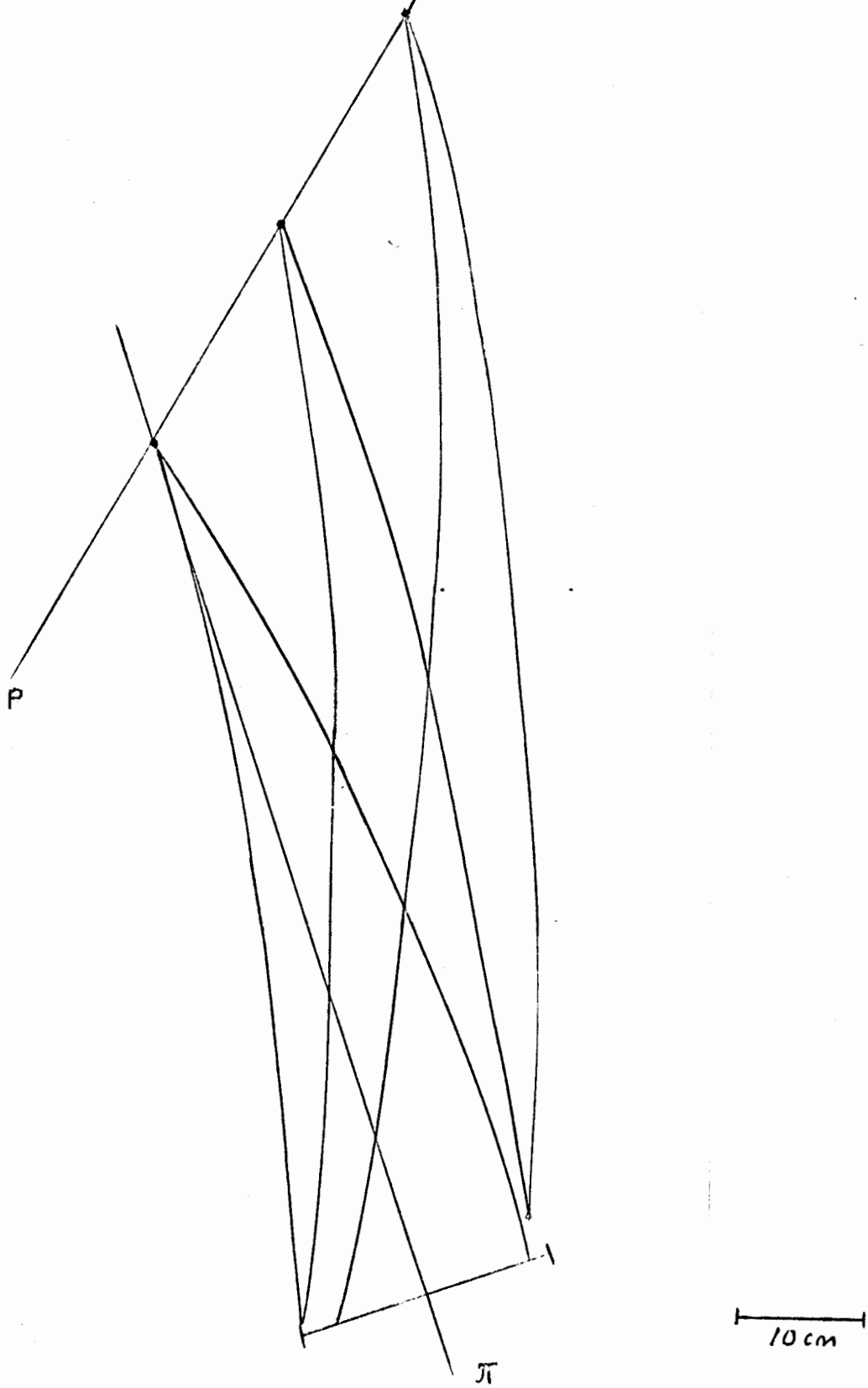


Рис. 3. Траектории положительных пионов с импульсом  $160 \text{ Мэв} \cdot \text{с}^{-1}$  на входе в мезонный канал.

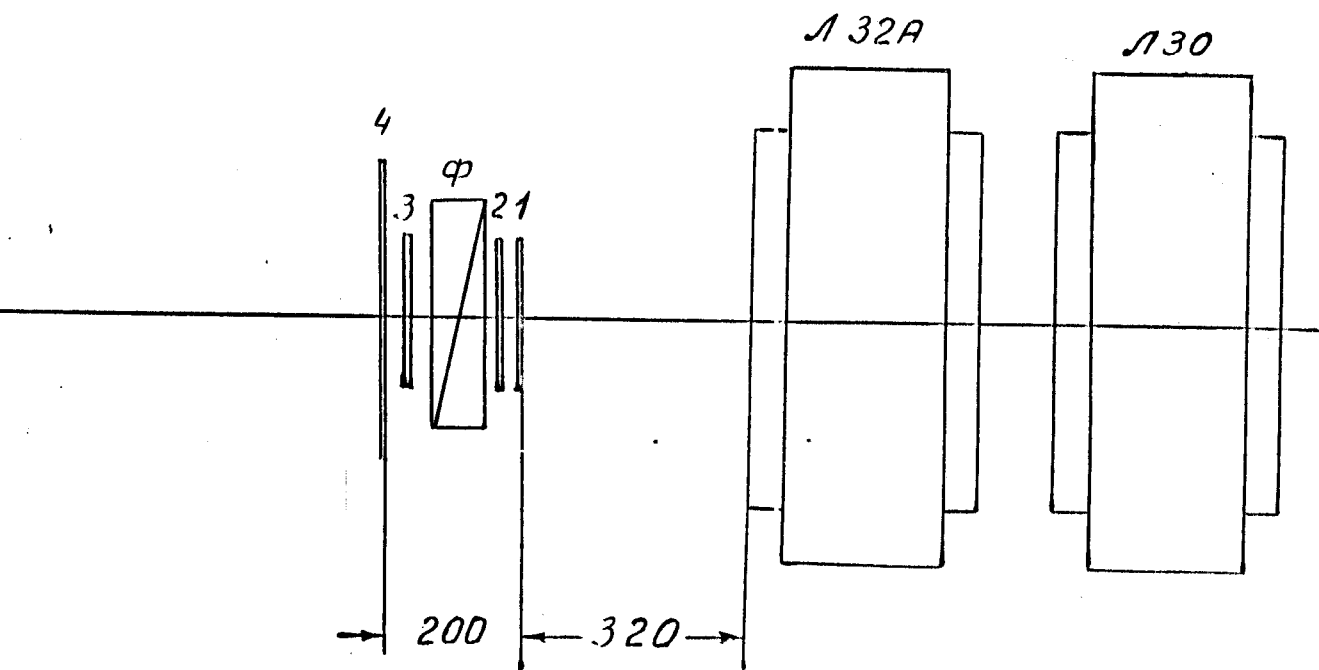


Рис. 4. Расположение счетчиков для детектирования мезонов.

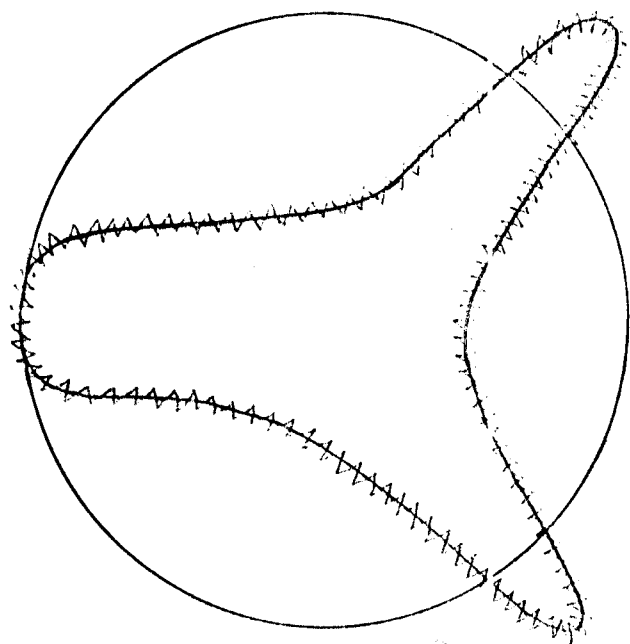


Рис. 5. Форма пучка протонов на мишени.

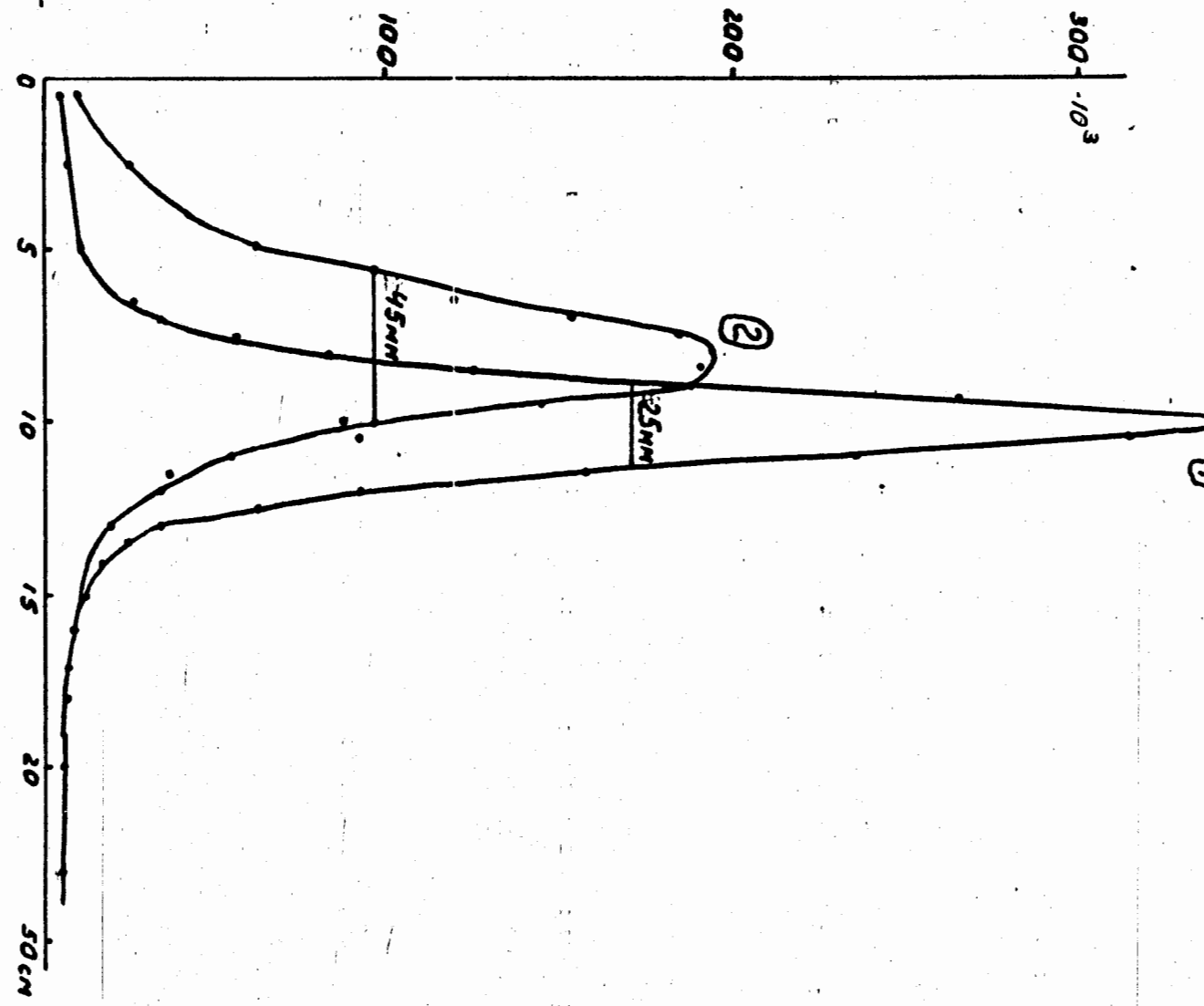
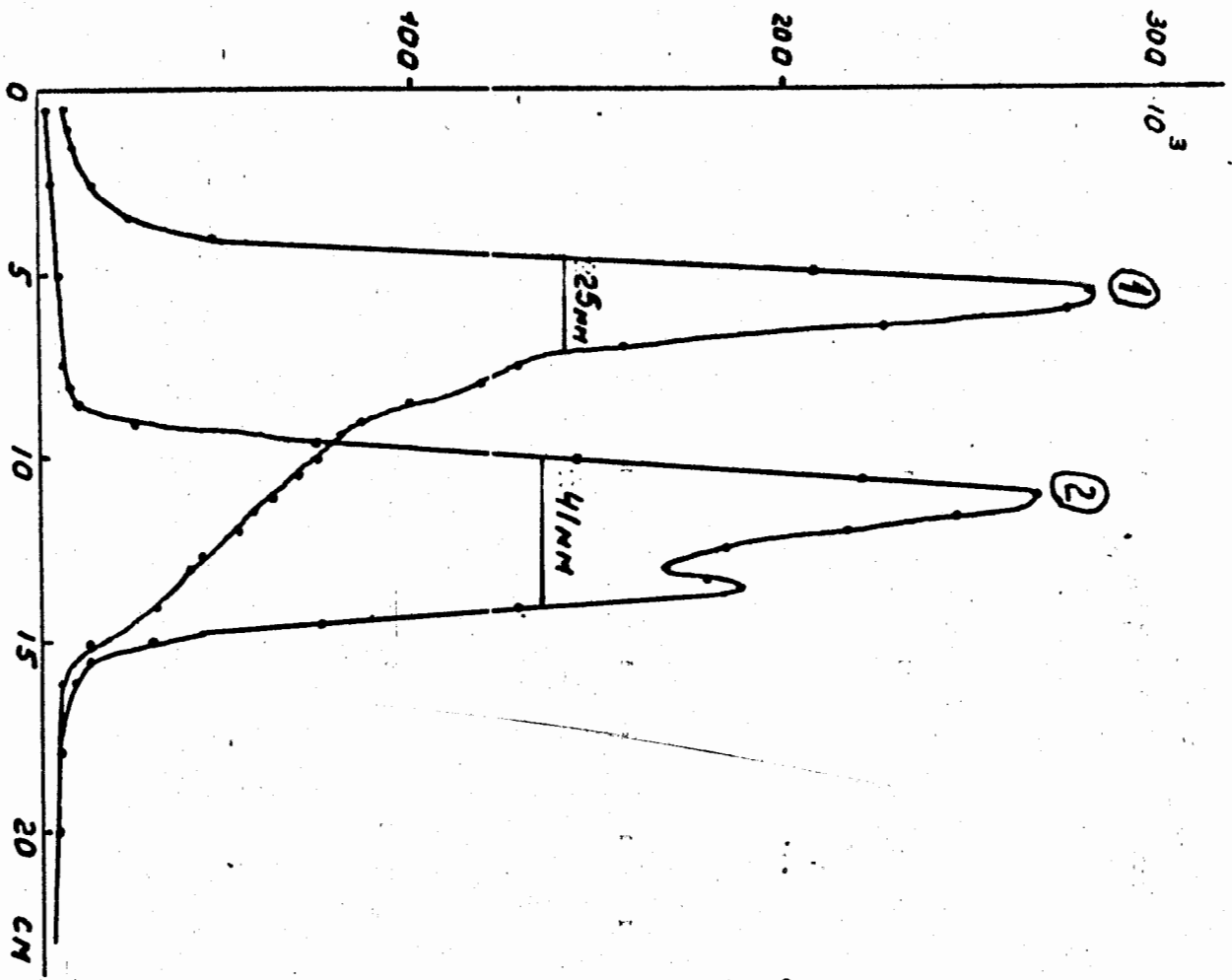


Рис. 6. Распределение плотности протонов на выходе насадок (1) и через 182 см (2),  
 по горизонталю  
 по вертикали

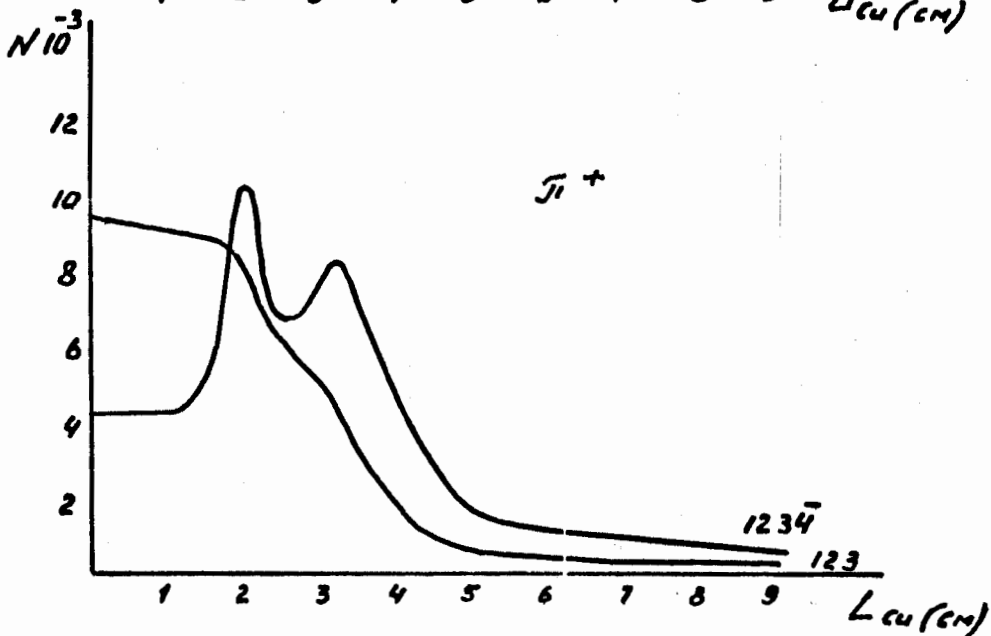
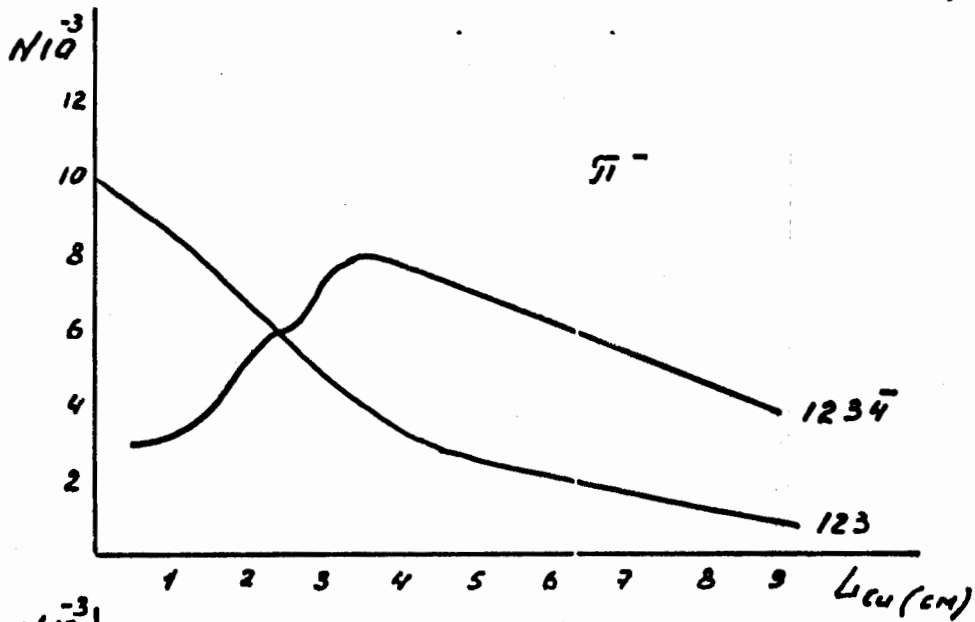
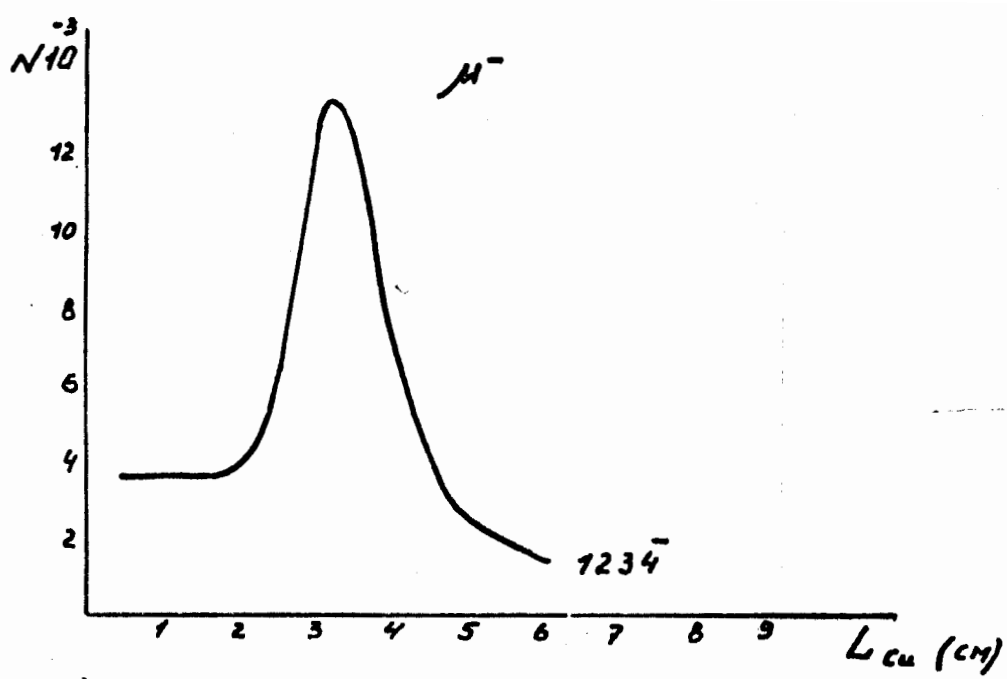


Рис. 7. Пробегные кривые и кривые остановок пучков с импульсом  $160 \text{ Мэв} \cdot \text{с}^{-1}$  для  $\mu^-$  с внутренней мишени и  $\pi^\pm$  с внешней мишени.