

И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р

8

ПРЕПРИНТ И Я Ф 74 - 16

И.И.Гуревич, В.В.Огурцов, Р.А.Рзаев
А.В.Самойлов, Л.М.Барков, М.С.Золоторев

ПРОЕКТ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗМЕРЕНИЮ
МАГНИТНОГО МОМЕНТА Λ -ГИПЕРОНА
НА ПРОТОННОМ УСКОРИТЕЛЕ ИФВЭ

Новосибирск

1974

ПРОЕКТ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗМЕРЕНИЮ МАГНИТНОГО
МОМЕНТА Λ -ГИПЕРОНА НА ПРОТОННОМ УСКОРИТЕЛЕ ИФВЭ

И.И.Гуревич, В.В.Огурцов

Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова

Р.А.Рзаев, А.В.Самойлов

Институт физики высоких энергий

Л.М.Барков, М.С. Золотарев

Институт ядерной физики СО АН СССР

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе рассмотрен проект эксперимента по измерению магнитного момента Λ - гиперона на 70 Гэв протонном ускорителе ИФВЭ с использованием сверхсильных магнитных полей напряжённостью ≈ 800 кГс. Поле в магните создаётся взрывомагнитным генератором. В качестве детектора используется ядерная фотоэмульсия. Описан канал для формирования пучка отрицательных ионов с импульсом $p = 1.07$ Гэв/с и $\Delta p/p = \pm 1\%$. Ожидаемое число частиц на выходе канала составляет примерно 10^8 пионов за цикл. Показано, что для получения точности измерения магнитного момента Λ - гиперона $0,03$ я.м. потребуется около 30 взрывов.

Все эксперименты по измерению магнитных моментов гиперонов основываются на одних и тех же принципах: пучок поляризованных гиперонов проходит через магнитное поле и измеряется угол, на который повернется вектор поляризации. Этот угол пропорционален величине магнитного момента.

Схема эксперимента

Поляризованный пучок Λ -гиперонов рождается в реакции $\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$. При энергии пионов немного превышающей порог реакции Λ -гипероны рождаются сильно поляризованными в направлении перпендикуляра к плоскости рождения. На рис. 2 и 3 приведены зависимости сечения реакции и поляризации Λ -гиперонов от импульса пионов [2]. Из приведенных графиков видно, что при им-

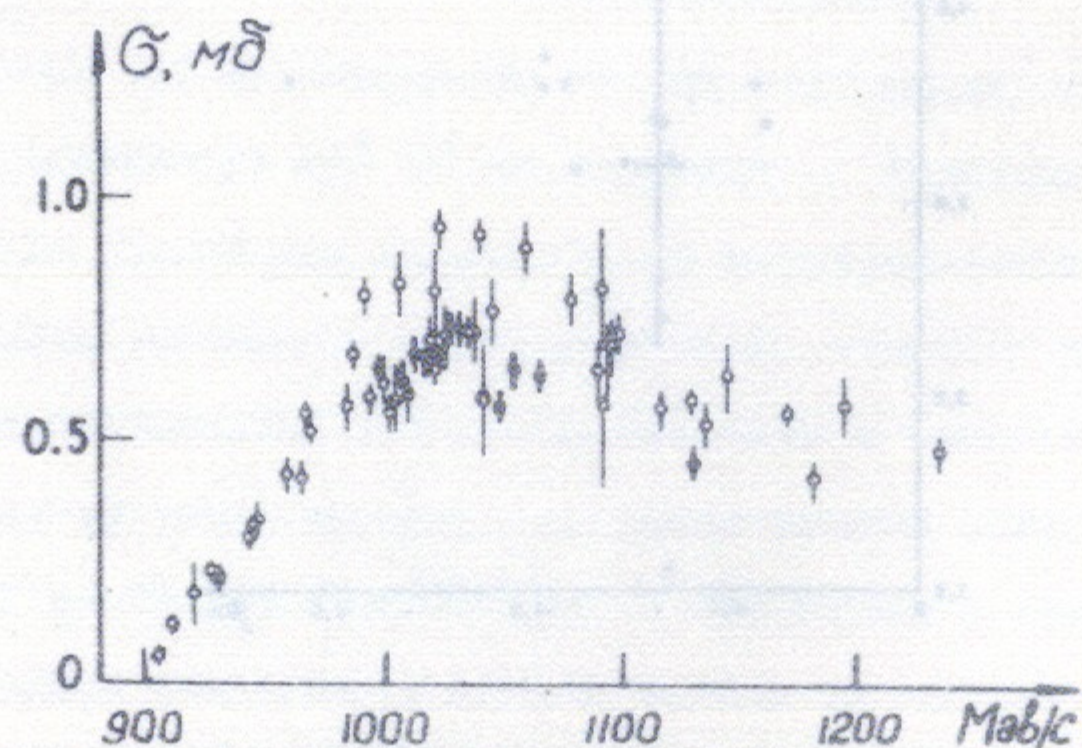


Рис. 2. Сечение реакции $\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$.

пульсе пионов 1,07 Гэв/с сечение рождения и поляризация проходят через максимум. Родившиеся Λ -гипероны попадают в магнитное поле, где происходит поворот вектора поляризации. Конечное положение вектора поляризации определяется по асимметрии распада Λ -гиперонов. Λ -гипероны распадаются в основном по двум каналам:

$$\begin{aligned} \Lambda \rightarrow p + \pi^- & 66,4\% \\ \Lambda \rightarrow n + \pi^0 & 33,6\% \end{aligned}$$

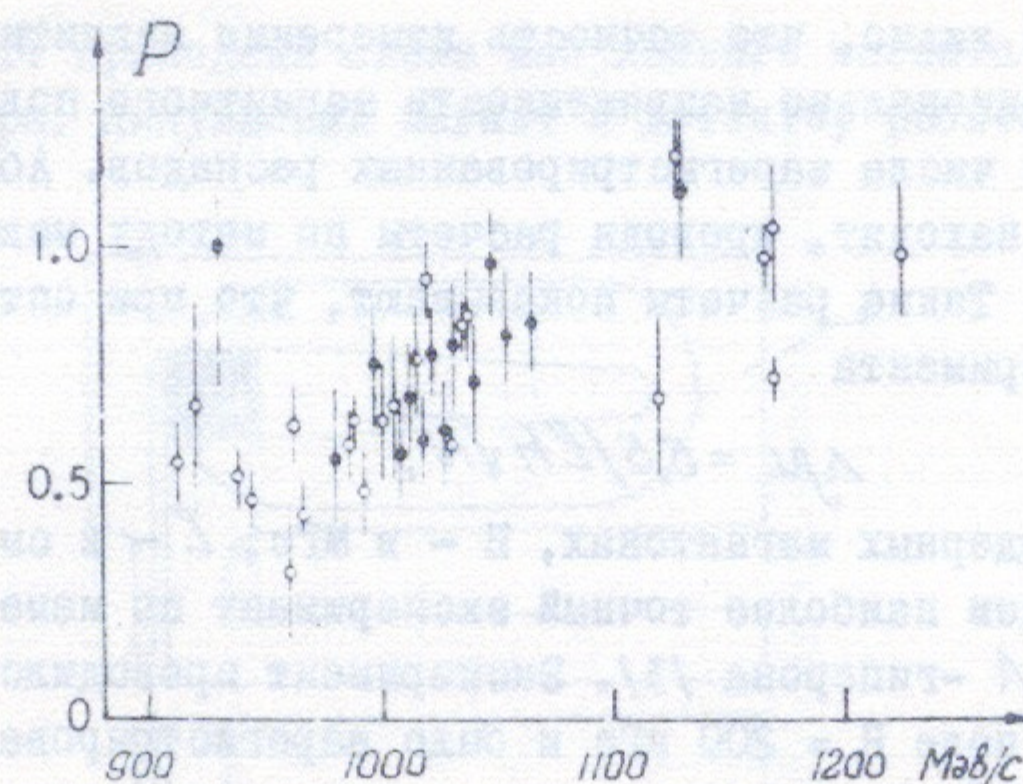


Рис. 3. Степень поляризации Λ -гиперонов.

В качестве детектора распадов Λ -гиперонов используется ядерная фотоэмульсия и, рассматриваться будет легко регистрируемый распад на заряженную мюду. Так как, в слабых взаимодействиях четность не сохраняется, то угловое распределение продуктов распада в системе покоя гиперонов имеет вид:

$$dW/d\Omega = (1 + \alpha P \cos \Theta) / 4\pi \quad (I)$$

$\alpha = -0,663 \pm 0,022$ - параметр, характеризующий асимметрию распада полностью поляризованных гиперонов, P - степень поляризации Λ -гиперонов, Θ - угол между импульсом протона и направлением спина Λ -гиперона.

Оценка точности измерения

Угол поворота вектора поляризации $\varphi \sim \mu H$. Дисперсия распределения (I) $\sqrt{(\Delta P)^2} \sim 1/\alpha P$. Следовательно, статистическая точность измерения угла поворота вектора поляризации при N зарегистрированных распадах $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$

$$\Delta \varphi \sim 1/\alpha P \sqrt{N},$$

а точность измерения магнитного момента

$$\Delta\mu \sim \Delta\varphi/N \sim 1/2\rho H \ell \sqrt{N} \sim \beta c/2\rho H \ell \sqrt{N}. \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что точность измерения магнитного момента обратно пропорционально напряженности магнитного поля и корню квадратному из числа зарегистрированных распадов. Абсолютную величину обычно находят, проводя расчеты по методу максимального правдоподобия. Такие расчеты показывают, что при оптимальных параметрах эксперимента

$$\Delta\mu = 5,5/\rho H \sqrt{N}, \quad (2')$$

где $\Delta\mu$ - в ядерных магнитонах, H - в МГс, ℓ - в см. В качестве примера приведем наиболее точный эксперимент по измерению магнитного момента Λ -гиперона [3]. Эксперимент проводился в импульсном магнитном поле $H = 200$ кГс и было зарегистрировано 1200 распадов $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$. Детектором также служила фотоядерная эмульсия. Эксперимент проводился на интенсивном пучке отрицательных пионов в ЦЕРН'е. Полученная точность $\Delta\mu = \pm 0,07$. Обработка эксперимента потребовала 20 человеко-лет просмотра. Из приведенных результатов видно, что увеличение точности эксперимента в два раза при магнитном поле $H=200$ кГс потребовало бы зарегистрировать 5000 событий $\Lambda \rightarrow p\pi^-$ и порядка 100 человеко-лет просмотра. Другой путь состоит в увеличении магнитного поля. Использование магнитного поля $H=800$ кГс позволяет получить точность $\Delta\mu = \pm 0,035$ я.м, регистрируя при этом только триста распадов $\Lambda \rightarrow p\pi^-$, и соответственно 5 человеко-лет просмотра. В эксперименте предполагается использовать твердородную мишень, что в несколько раз должно улучшить фоновые условия. Кроме того, при большом магнитном поле фоновые заряженные частицы, летящие из мишени, будут отклоняться и не попадать в эмульсионный детектор, что приведет к дополнительному улучшению фоновых условий и сокращению работы при просмотре. При полях $H=800$ кГс возникают громадные усилия на стенки импульсного магнита и неминуемо происходит его разрушение. Как показывает опыт работы установки с одноразовыми катушками мегагаусного поля, эксперименты в таких полях могут быть проведены, если требуемое число включений составляет несколько десятков. Эти условия накладывают жесткие ограничения

на интенсивность пучка пионов, которая должна быть $\approx 10^8 \pi^-$ за цикл ускорения.

На рис.4 приведена схема импульсного магнита и эмульсионного детектора. Импульсный магнит и детектор располагаются под

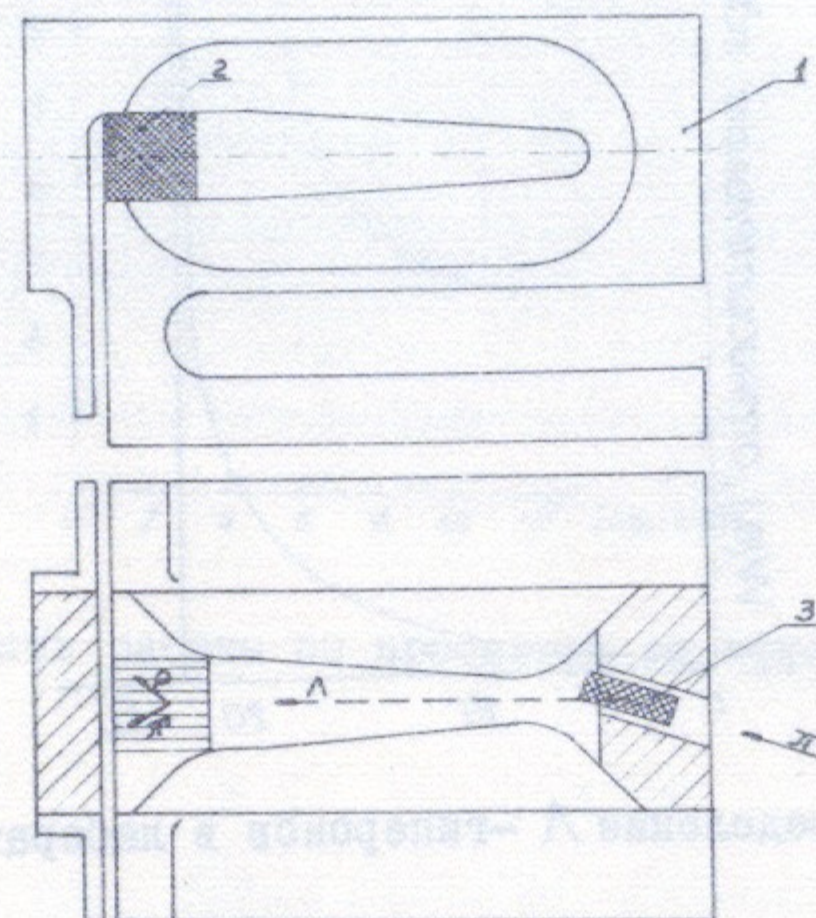


Рис.4. Импульсный магнит: 1-тело магнита, 2-эмульсионный детектор, 3-водородная мишень.

углом 20° к направлению падающего пучка, так как это соответствует максимальному углу вылета Λ -гиперона при импульсе пиона 1,07 Гэв/с. На рис.5 показано угловое распределение Λ -гиперонов в лабораторной системе. Эмульсионный детектор выбран размером $2 \times 2 \times 2$ см³. При больших размерах детектора трудно обеспечить магнитное поле $H=800$ кГс. Используя формулу (2) и (2'), и результаты ЦЕРНовского эксперимента для заданного размера детектора, длины мишени и интенсивности пионов можно рассчитать число включений (взрывов) магнитного поля и ожидаемое число человеко-лет просмотра, необходимое для получения точности измерения $\Delta\mu = \pm 0,03$ я.м. На рис.6 и 7 приведены результаты такого расчета для приведенных выше размеров детектора, длины мишени 2 см и интенсивности пионов 10^8 в цикле. Оптимальную длину магнитного поля необходимо выбирать по обоим параметрам: количеству взрывов

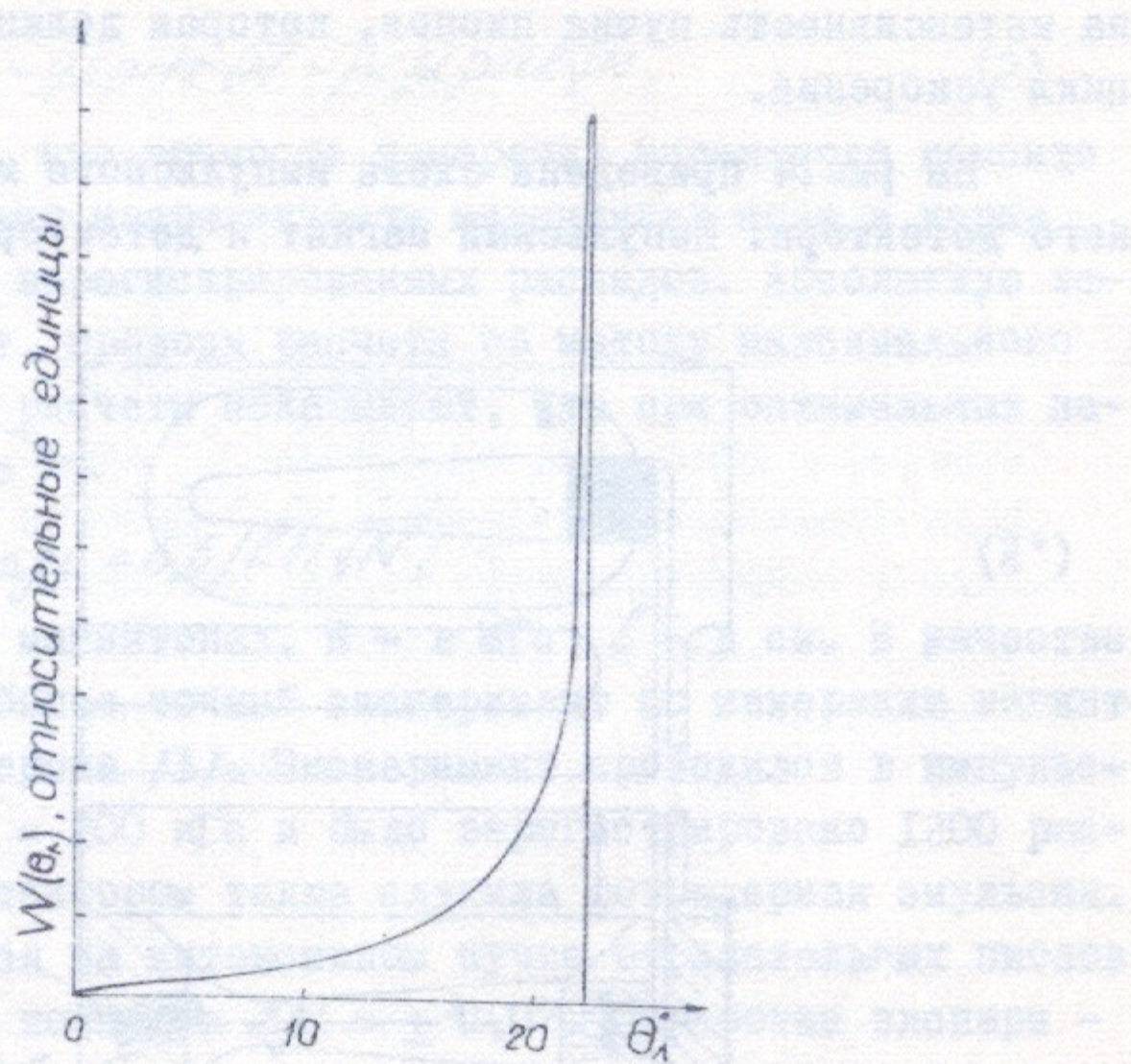


Рис.5. Угловое распределение Λ -гиперонов в лабораторной системе

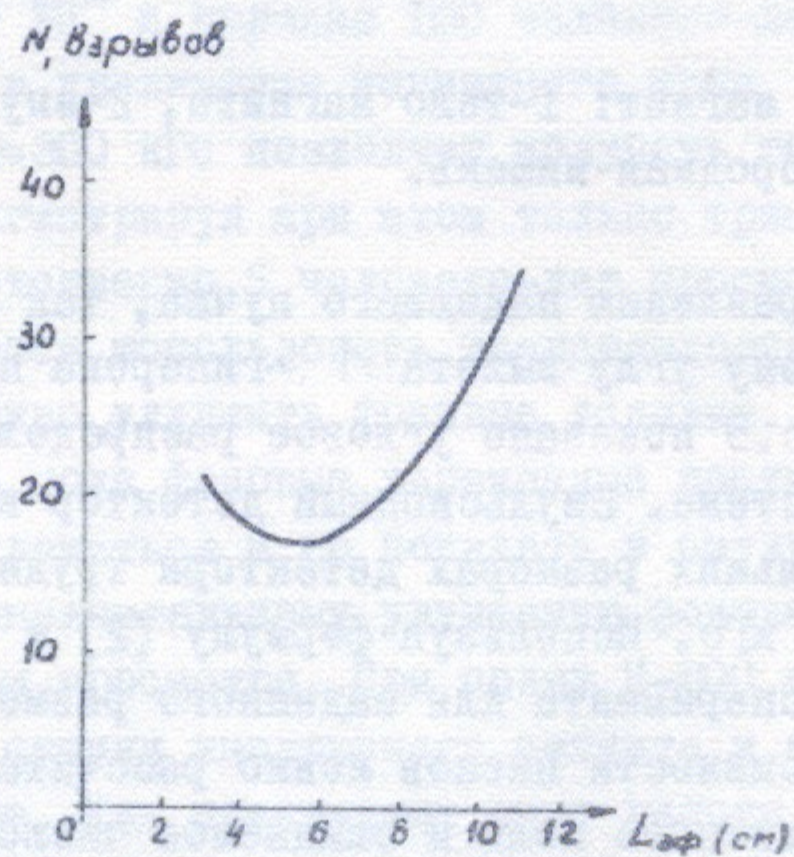


Рис.6. Зависимость необходимого числа включений магнитного поля от эффективной длины магнита.

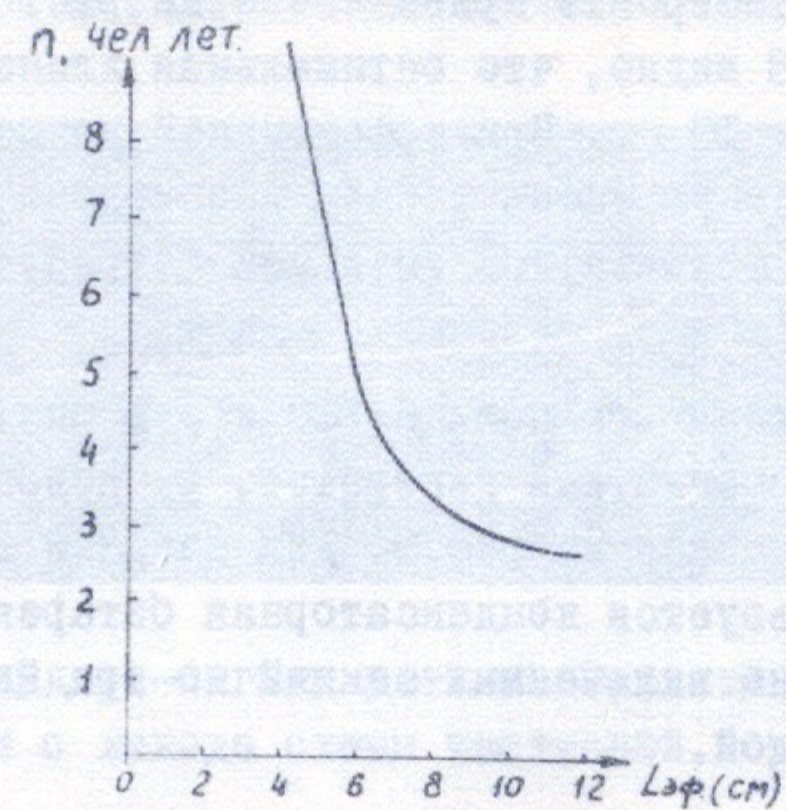


Рис.7. Зависимость работы по просмотру от эффективной длины магнита.

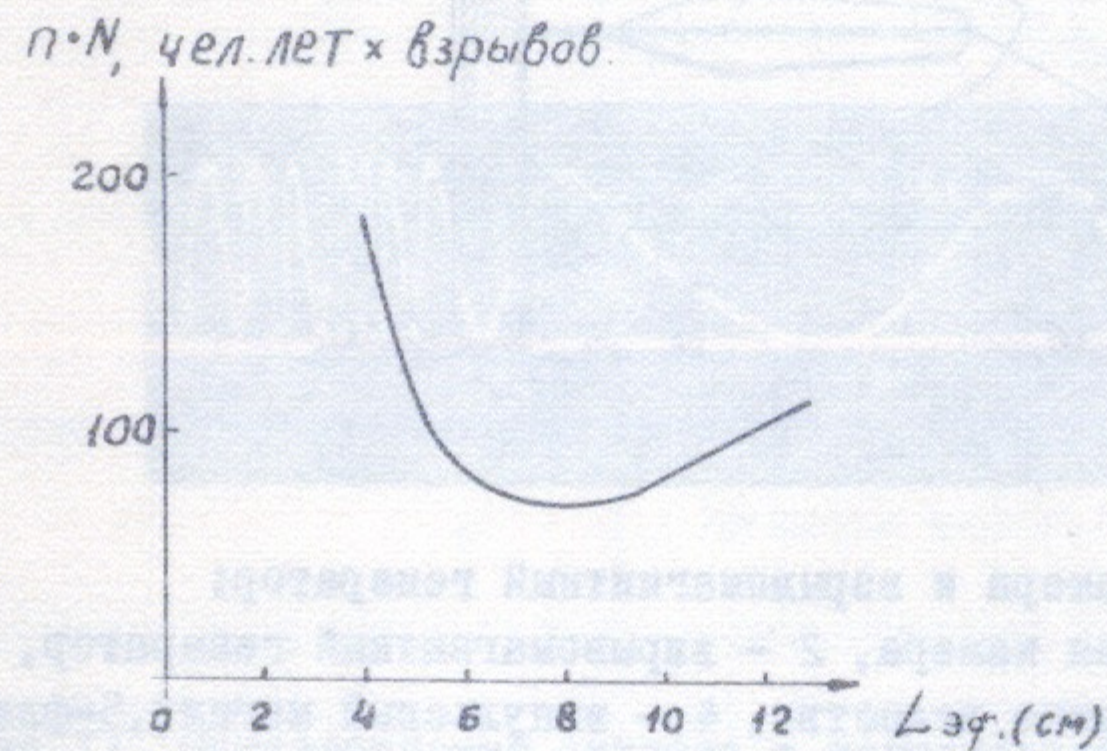


Рис.8. График для выбора оптимальной длины магнита.

и времени просмотра. Предполагая, что эти параметры входят с одинаковым весом, можно построить приведенное на рис.8 произведение этих величин. Из рис.8 видно, что оптимальная длина магнитного поля соответствует 6 ± 10 см. При эффективной длине магнитного поля 8,5 см для проведения эксперимента необходимо произвести 23 взрыва, а просмотр фотоядерной эмульсии потребует 3 человеко-лет просмотра.

Для создания магнитного поля $H=800$ кГс в импульсном магните используется взрывомагнитный генератор, расположение которого во взрывной камере показано на рис.9. Для запитки взрывомагнитного генератора используется конденсаторная батарея, состоящая из двух последовательно включенных секций по тридцать конденсаторов ИСУ 5/200 в каждой.

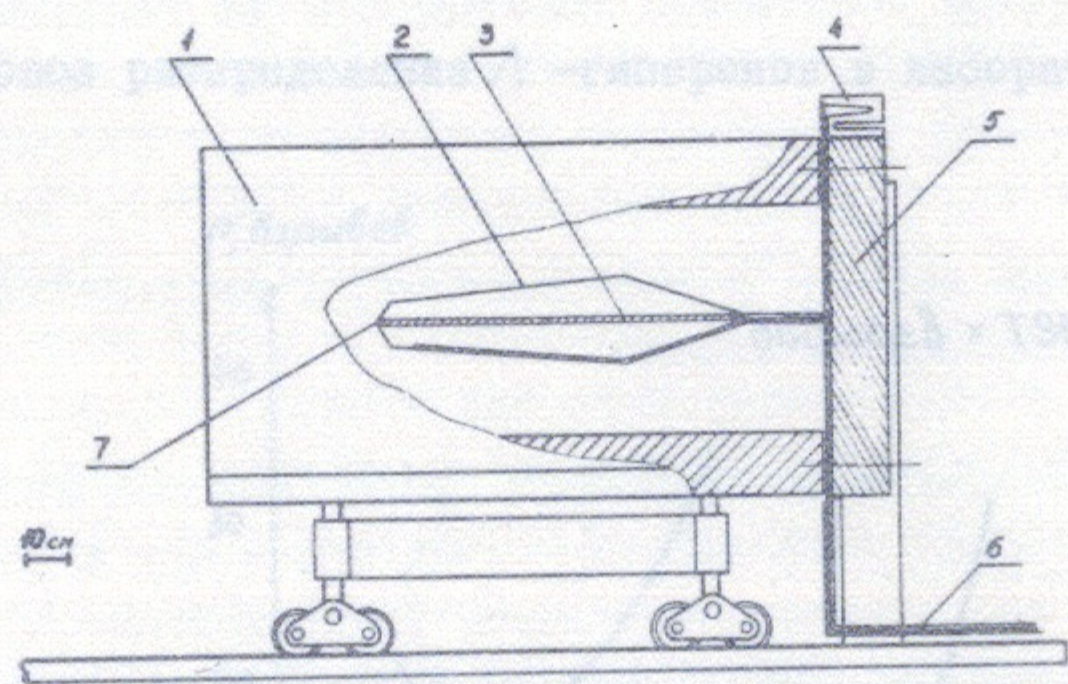


Рис.9. Взрывная камера и взрывомагнитный генератор:
1 - взрывная камера, 2 - взрывомагнитный генератор,
3 - взрывчатое вещество, 4 - импульсный магнит, 5-фланец,
6 - токоподвод, 7 - капсуль-электродетонатор.

Магнитное поле в импульсном магните измеряется двумя независимыми методами: индукционными датчиками со схемой частичной компенсации и по эффекту Фарадея. Точность измерения магнитного

поля $\Delta H/H \approx 0,5\%$ в каждом из методов.

На рис.10 и 11 приведены осциллограммы со схемы частичной компенсации и с фарадеевского датчика соответственно.

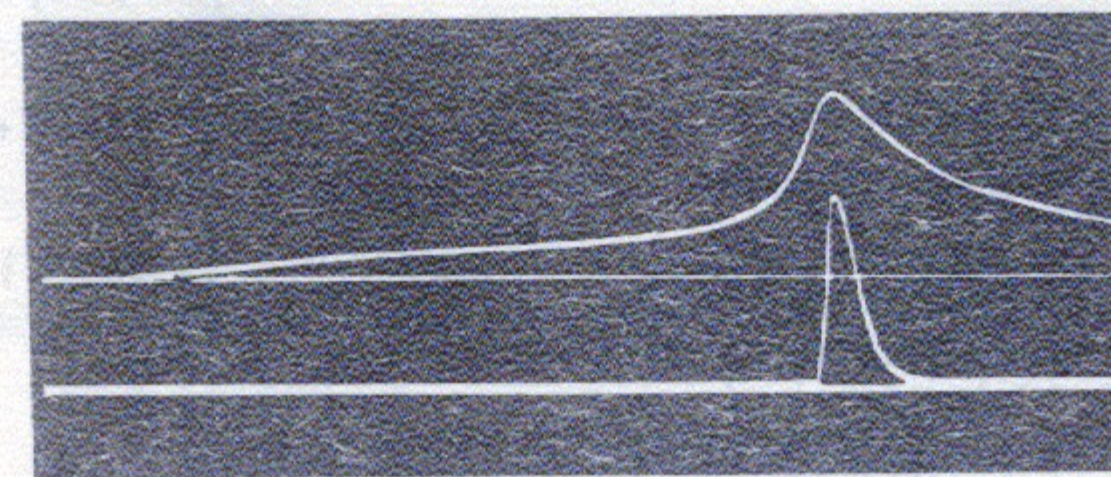


Рис.10. Верхний луч-сигнал датчика магнитного поля. Нижний луч-сигнал с выхода схемы частичной компенсации напряжения.

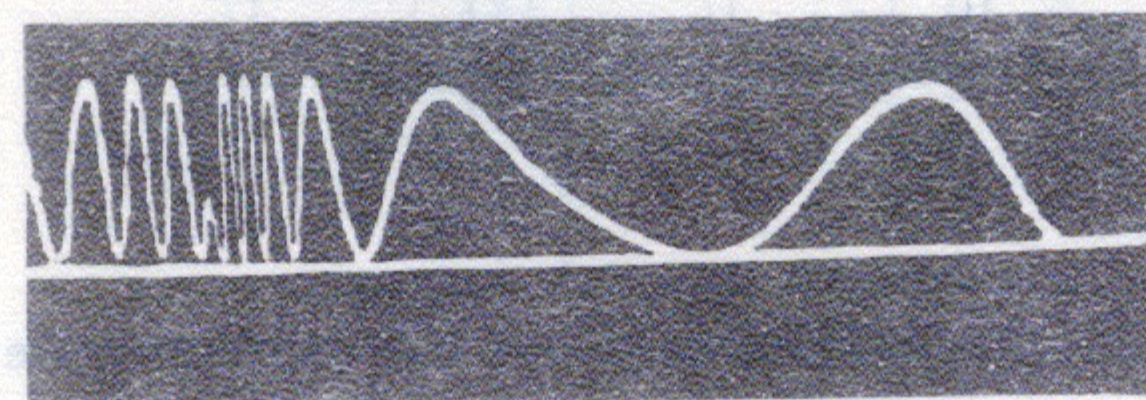


Рис.11. Осциллограмма сигнала с фарадеевского датчика магнитного поля.

Для проведения эксперимента необходимо получить пучок отрицательных пионов со следующими параметрами:

интенсивность пучка	- $\geq 10^8$ П/за цикл,
импульс пионов P	- 1,07 ГэВ/с,
$\Delta P/P$	- $\pm 1,5\%$,
длительность импульса	- ≤ 5 мксек,
диаметр пучка на мишени эксперимента	- ≤ 6 мм,
угловая расходимость пучка	- $\leq \pm 3^\circ$,
наличие других частиц в пучке	- $\leq 10\%$.

Канал для формирования пучка пионов

Пионы рождаются на вольфрамовой мишени длиной около 10 см. и диаметром 2 мм, расположенной в промежуточном изображении протонного пучка нейтрального эксперимента рис.12. Для формирования

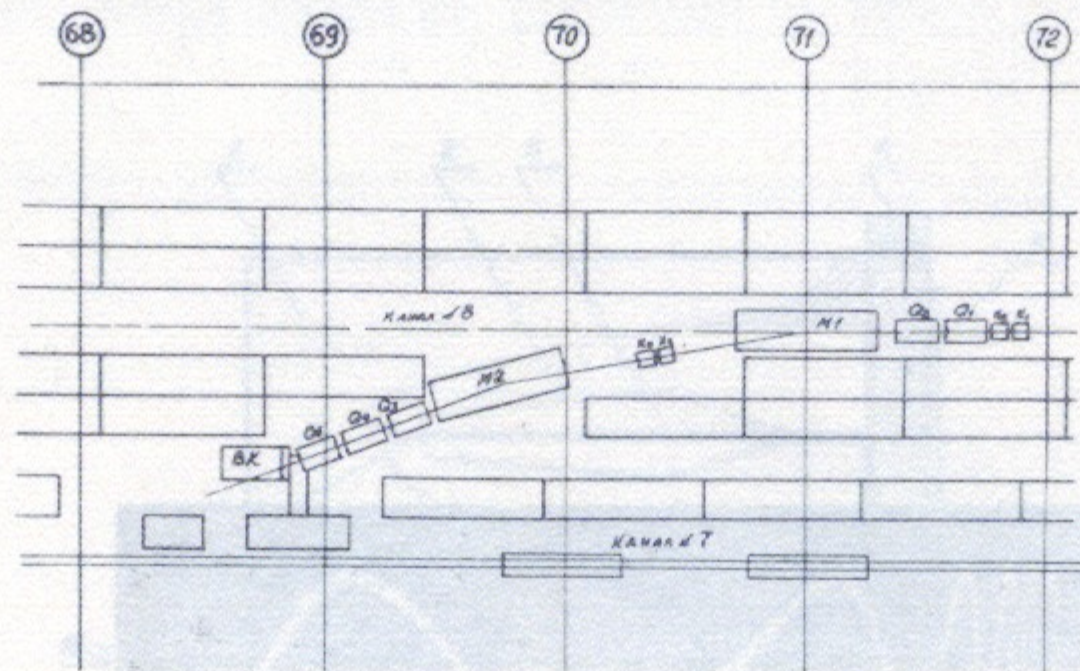


Рис.12. Схема расположения пионного канала:

K_1, K_2, K_3, K_4 - коллиматоры, $O_1 - O_5$ - квадрупольные линзы, M_1, M_2 - поворотные магниты.

и фокусировки пионов предлагается использовать канал, оптическая схема которого приведена на рис.13. Канал имеет две функциональные секции, позволяющие выделить пучок с импульсным разрешением $\Delta P/P = \pm 1\%$ и компенсировать дисперсию на мишени эксперимента. Углы захвата в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно равны ± 15 мрад и ± 45 мрад и угловой акцептанс ка-

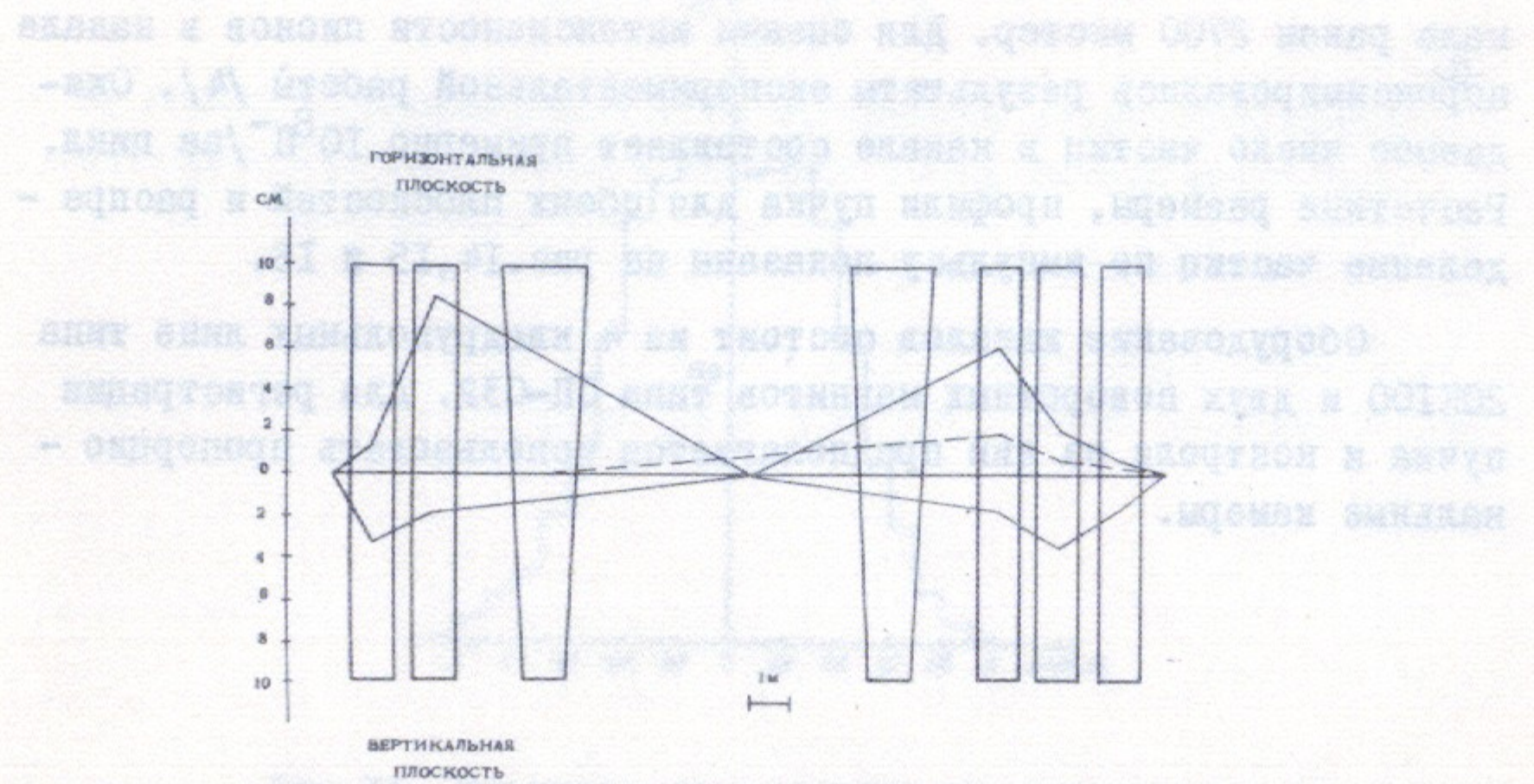


Рис.13. Оптическая схема пионного канала.

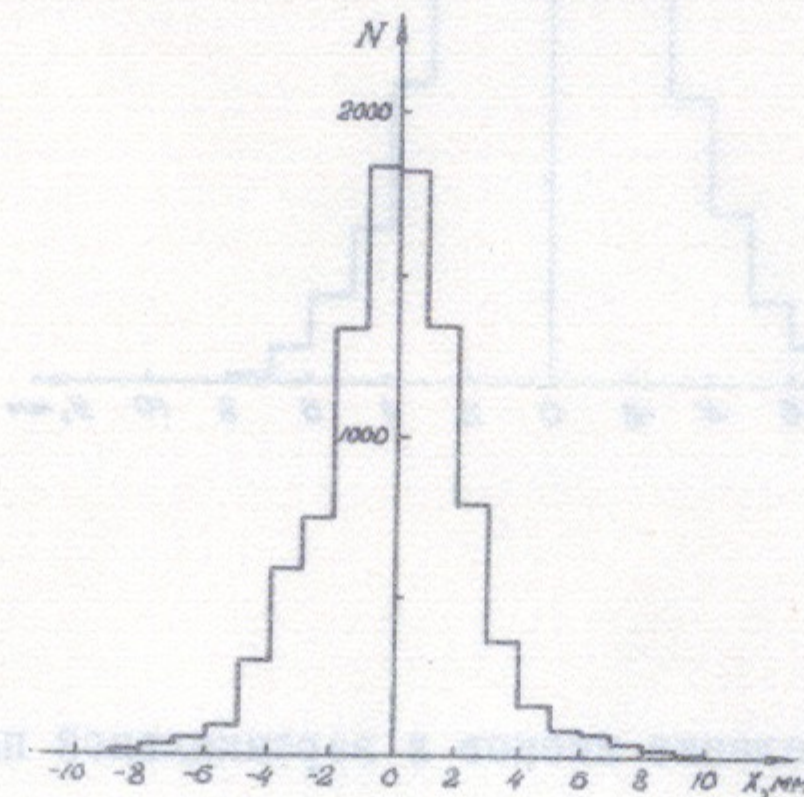


Рис.14. Распределение пионов в горизонтальной плоскости.

нала равен 2700 мкстер. Для оценки интенсивности пионов в канале аппроксимировались результаты экспериментальной работы /4/. Ожидаемое число частиц в канале составляет примерно $10^8 \pi^-$ /за цикл. Расчетные размеры, профили пучка для обеих плоскостей и распределение частиц по импульсу показаны на рис.14,15 и 16.

Оборудование каналов состоит из 4 квадрупольных линз типа 20К100 и двух поворотных магнитов типа СП-032. Для регистрации пучка и контроля за ним предполагается использовать пропорциональные камеры.

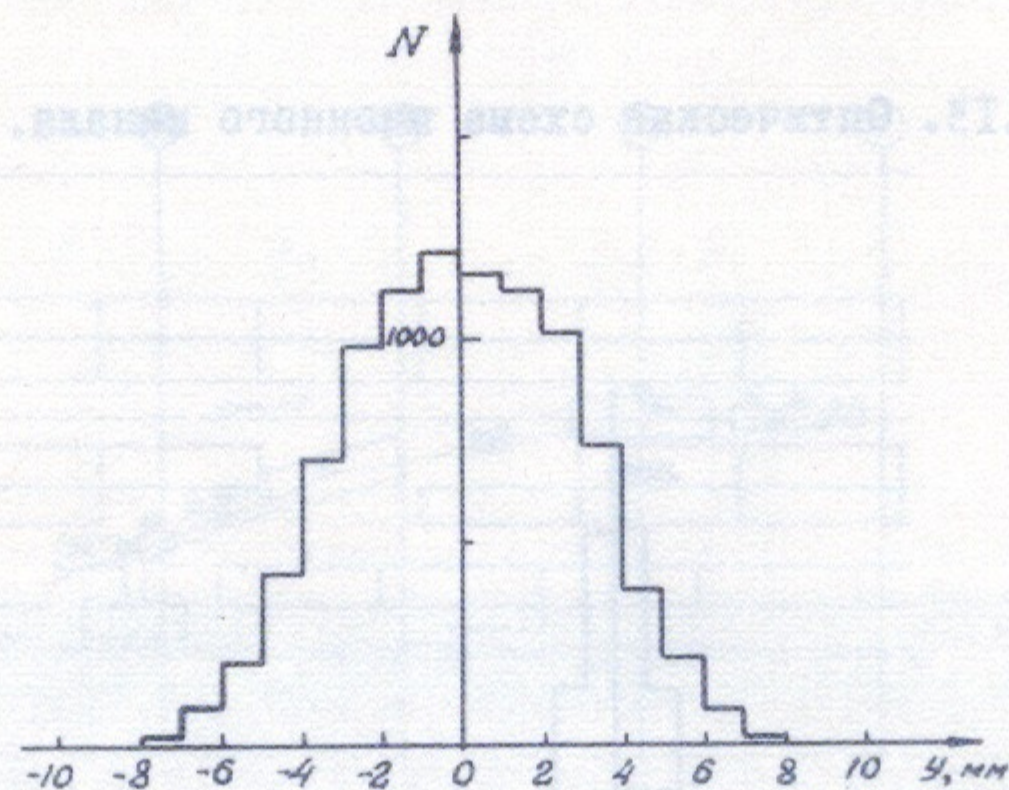


Рис.15. Распределение пионов в вертикальной плоскости.

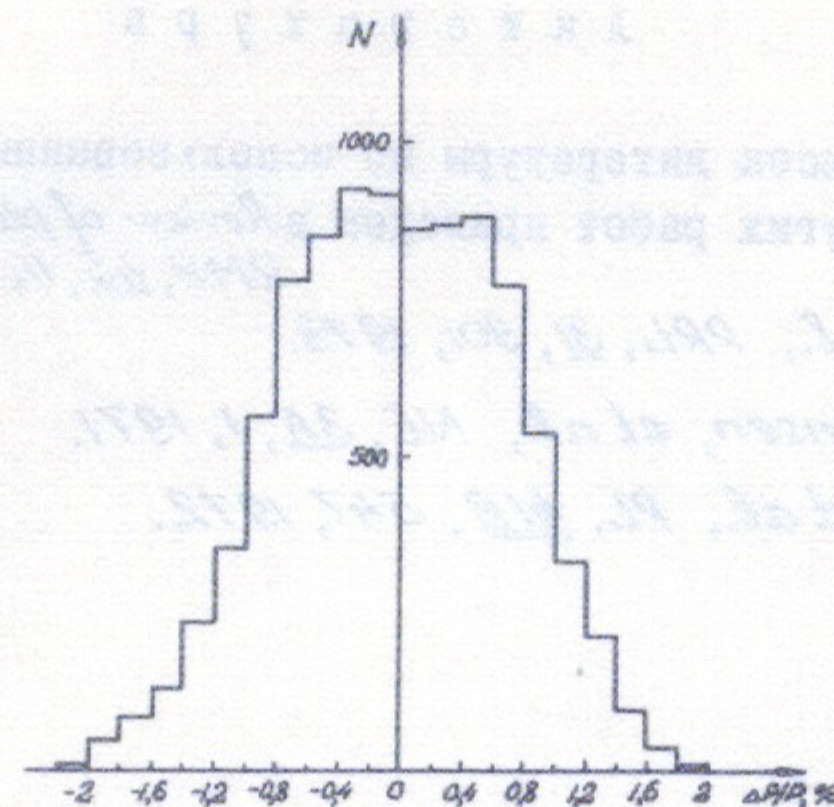


Рис.16. Распределение пионов по импульсу.

Л и т е р а т у р а

1. Подробный список литературы по использованным в тексте результатам других работ приведен в *Review of particle properties*, RMP, 45, 11, 1973.
2. Neison, et al., PRL, 31, 301, 1973.
3. E. Dahl-Jensen, et al., NC, 3A, 1, 1971.
4. M. Banner, et al., PL, 41B, 547, 1972.

Ответственный за выпуск С.Н. РОДИОНОВ
Подписано к печати 5.V-74г. МН 08278
Усл. I печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно
Заказ № 16

Отпечатано на ротапинтере в ИЯФ СО АН СССР