

345
K-47



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

В.С. Кладницкий, В.Б. Флягин

1501

ФОРМИРОВАНИЕ ПУЧКА П-МЕЗОНОВ
ДЛЯ МЕТРОВОЙ ПРОПАНОВОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

ТТЖЭ, 1965, и 1, с 24-27

Дубна 1984

В.С. Кладницкий, В.Б. Флягин

1501

2255/1 49.
ФОРМИРОВАНИЕ ПУЧКА П-МЕЗОНОВ
ДЛЯ МЕТРОВОЙ ПРОПАНОВОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

Ученый секретарь
Института физики
Академии наук СССР
В.С. КЛАДНИЦКИЙ

Дубна 1964

1. Ионно-оптическая схема магнитного канала

Отрицательные вторичные частицы, которые генерируются протонами с энергией 9,6 Гэв на мишени, расположенной в камере синхрофазотрона, заворачиваются магнитным полем ускорителя наружу и выводятся через тонкое окно в соединительном патрубке одного из вакуумных насосов машины. По условиям размещения оборудования других каналов нет возможности установить вблизи места вывода специальный магнит, чтобы направить вторичные частицы по оси канала и одновременно проанализировать их по импульсам. Поэтому было решено поместить мишень далеко в глубине квадрата магнита синхрофазотрона (рис. 1) и осуществить нужный поворот и анализ пучка лишь с помощью магнитного поля ускорителя. Предварительные расчеты показали, что таким методом можно достичь удовлетворительных результатов вплоть до импульсов 5-6 Гэв/с.

Магнитный канал, предназначенный для формирования пучка отрицательных π^- -мезонов для метровой пропановой пузырьковой камеры /1/, позволяет:

- а) выводить частицы с различными импульсами по одному и тому же направлению за счет перемещения мишени в камере ускорителя;
- б) выделить узкий интервал импульсов вторичных частиц;
- в) эффективно сфокусировать пучок в относительно неширокой центральной области пузырьковой камеры.

Принципиальная ионно-оптическая схема канала показана на рис. 2. Квадрупольная магнитная линза Q_1 дает параллельный пучок частиц, а линза Q_2 фокусирует его на коллиматор C . Заменим реальную мишень точечным источником, расположенным в том же месте. Частицы, попадающие в апертуру первой линзы, описывают в магнитном поле машины траектории, радиус которых зависит от импульса p . Чтобы определить положение эффективного источника для частиц с данным импульсом, необходимо провести в горизонтальной плоскости касательные к граничным траекториям пучка на входе в линзу и продолжить их в сторону мишени до пересечения. Для частиц с расчетным значением импульса p_0 эффективный источник находится на оптической оси системы линз, а его изображение попадает в центр коллиматора C . Эффективный источник для частиц с любым другим импульсом ($p \neq p_0$) смещен относительно оси, и поэтому его изображение сдвинуто в поперечном направлении от центра коллиматора. Сделав канал коллиматора достаточно узким, можно выделить частицы с небольшим разбросом по импульсам относительно p_0 .

Расчетная величина дисперсии на расстоянии 30 м от ускорителя составляет 10 Мэв/см. Очевидно, что экспериментальный результат зависит от величины изображения мишени в этой точке, и так как реальная мишень представляет собой протяженный источник частиц, то коэффициент увеличения оптической системы в горизонтальной плоскости K_H должен быть близок к единице. Система из двух линз с параллельным пучком между ними, показанная на рис. 2, удовлетворяет этому условию. Не лишне подчеркнуть, что основное назначение системы линз в этом канале состоит в том, чтобы сформировать четкое изображение, так как для пузырьковой камеры не требуется пучок большой интенсивности.

Щель коллиматора шириной 2 см и высотой 5 см является источником частиц для второй половины магнитного канала, которая состоит из магнита M_1 и квадрупольной линзы Q_1 . Магнит M_1 позволяет избавиться от рассеянных частиц, появившихся в пучке после прохождения коллиматора. В магните M_2 помещается пузырьковая камера. Линза Q_2 фокусирует пучок на камеру.

Квадрупольный дублет Q_3 состоит из линз МЛ-16 и МЛ-17, а два последующих объектива Q_4 и Q_5 имеют каждый по две линзы МЛ-7.

Описанию оптических особенностей квадрупольных линз, использованных в канале, посвящена отдельная работа [2].

2. Методы определения основных параметров магнитов

Для того, чтобы рассчитать оптические характеристики квадрупольных линз или дисперсию пучка в анализирующем магните, надо знать абсолютную величину и характер распределения магнитного поля в этих устройствах. Окончательная наладка канала всегда проводится непосредственно по пучку частиц, поэтому точность измерения магнитного поля порядка 1% в большинстве случаев оказывается вполне достаточной. Вместе с тем число точек, в которых надо определить индукцию B , велико, и поэтому большое значение приобретает производительность и надежность метода измерений. Для измерения индукции магнитного поля мы применяли магнитометр, действие которого основано на эффекте Холла в полупроводниках, отличающийся простотой конструкции и высокой надежностью. Метод токнесущей нити был использован для оценки среднего значения импульса p сформированного пучка и величины разброса $\frac{\Delta p}{p_0}$ частиц в пучке по импульсам.

2.1. Холловский магнитометр

Для быстрого измерения магнитного поля с точностью порядка 1% наиболее

подходящим является магнитометр, в котором непосредственно регистрируется величина тока I_x в измерительной цепи датчика, пропорциональная индукции B [3]. Электрическая схема такого прибора состоит из цепи управления (рис. 3), включенной между контактами (1) и (3), и измерительной цепи, замкнутой на внешнюю нагрузку. Этой нагрузкой является сопротивление микроамперметра A_2 , которое у обычных заводских приборов имеет порядок величины от 100 ом до 1,0-1,5 ком. Для того, чтобы в измерительной цепи выделялась максимальная полезная мощность, сопротивление нагрузки R_A должно быть согласовано с внутренним сопротивлением датчика r_x между контактами (2) и (4). Мы использовали изготовленный Институтом полупроводников АН СССР датчик из германия p -типа размером 5,0x3,0x0,33 мм, у которого $r_x = 780$ ом. Чувствительность датчика ν при номинальном токе в цепи управления $I_0 = 7,2$ ма составляла 45 мкв/гс.

Для защиты от механических повреждений и резких колебаний температуры окружающей среды датчик, закрепленный между двумя тонкими пластинками из пенопласта, был помещен в жесткий кожух, изготовленный из оргстекла. До начала работы датчик прогревался током I_0 в течение 15-20 минут для того, чтобы установился постоянный тепловой режим. Мощность, рассеиваемая в датчике, не превышала 0,025 вт.

Весь измеряемый прибором интервал значений индукции (0-24 кгс) разбит на пять диапазонов, каждый от нуля соответственно до 3,7, 10, 15 и 24 кгс. С помощью переключателя Π , ось которого выведена на лицевую панель прибора, можно вводить в измерительную цепь сопротивления $R_{II} - R_V$, величина которых последовательно возрастает. На первом диапазоне, где чувствительность прибора максимальная, нагрузка датчика состоит только из сопротивления R_A . Минимальная цена одного деления шкалы микроамперметра A_2 равна 30 гс.

Датчик магнитометра прокалиброван в однородном магнитном поле по прибору, в котором используется ядерный магнитный резонанс. Направление тока I_0 в датчике при измерениях должно сохраняться таким же, как и при калибровке, иначе градуировка датчика нарушается.

Второй холловский магнитометр такой же конструкции применялся в качестве монитора для непрерывного контроля за постоянством индукции B_0 в центре магнита. Это особенно важно, когда исследуется относительное распределение поля в больших магнитах, где измерения длятся много часов. Точность относительных измерений при использовании монитора составляла 0,3-0,5%.

2.2. Измерения токнесущей нитью

В основе метода лежит аналогия между уравнениями, определяющими траекто-

рию заряженной частицы с импульсом p_0 в поперечном магнитном поле и положение натянутого проводника с током в этом же поле $/4/$. Если граничные условия для токонесущей нити и для траектории частицы совпадают, то величина импульса последней однозначно определяется из соотношения

$$p = 294 \frac{i}{I} \quad (2.1)$$

где i — ток в нити, выраженный в амперах, I — натяжение нити в граммах и p — величина импульса в Мэв/с.

Постоянное натяжение нити задается грузом, прикрепленным к ее свободному концу, переброшенному через блок. Противоположный конец нити жестко закреплен. Если предположить, что нить не проскальзывает на блоке, то разница между весом груза P и истинной величиной натяжения T обусловлена лишь трением в оси блока, которое стараются свести к минимуму.

Диаметр блока (рис. 4), изготовленного из дюралюминия, был выбран достаточно большим (80 мм), чтобы уменьшить силу, необходимую для приведения блока в движение. Концы стальной оси (2), запрессованной в тело блока, заточены на конус под углом 80° и установлены в подшипниках (3) типа часовых камней. Такая конструкция опор вращения обеспечивает высокую чувствительность блока, однако требует тщательной регулировки величины зажима оси в подшипниках, чтобы избежать перекоса плоскости вращения блока. Блок был установлен в обойме (4), которая могла вращаться вокруг вертикальной оси. Чувствительность блока характеризуется минимальной величиной разности натяжений горизонтальной и вертикальной ветвей нити, необходимой для приведения блока в движение. В нашем случае требовалась добавка $\Delta P = 0,2$ г к грузу $P = 100$ г, чтобы вывести блок из положения равновесия.

В качестве токонесущей нити применялся изолированный медный провод диаметром 0,2 мм. Для питания нити током использовалась батарея аккумуляторов напряжением 6 в. Нить включалась последовательно с регулируемым сопротивлением и миллиамперметром, который позволял измерить ток i с точностью 0,2%.

Ошибка в определении импульса частицы обусловлена не только погрешностями измерения тока в нити и влиянием трения, но и неточностью совмещения нити с заданной траекторией. Положение нити на границе магнитного поля обычно определяют относительно расчетной оси пучка. При измерениях в поворотном магните M (рис. 5) ось пучка материализовалась тонкой струной или капроновой нитью, натянутой через расчетную точку входа пучка в магнит и центр коллиматора, установленного перед магнитом. На противоположной стороне магнита ось проходила через расчетную точку выхода пучка и центр входного окна пузырьковой камеры. Блок был установлен в точке A на специальном кронштейне, перпендикулярном оси пучка,

который перемещался вверх и вниз по вертикальной штанге и закреплялся на нужной высоте. Второй конец нити был прикреплен к такому же кронштейну в точке D .

Чтобы определить импульс частиц, которые при заданном значении индукции в зазоре магнита поворачиваются на угол $\theta = 10^\circ$, ток i регулировался до тех пор, пока нить не совмещалась с осью пучка на всем своем протяжении вне магнитного поля. В точках A и D нить заранее была совмещена со струной, поперечное смещение нити от струны в промежуточных точках B и C измерялось с точностью 0,3 мм с помощью простого механического приспособления.

Если менять ступенями величину тока I в магните и одновременно регулировать ток в нити таким образом, чтобы она каждый раз совмещалась с осью пучка, определим зависимость импульса частиц, которые поворачиваются в магните на заданный угол θ , от I . Такая калибровочная кривая $p = p(I)_{\theta = const}$ для поворотного магнита M приведена на рис. 6.

Чтобы измерять дисперсию, конец нити, закрепленный в точке D , смещали на некоторое расстояние в поперечном направлении относительно оси при неизменном токе I в магните. В новом положении точки D' ток в нити регулировали до тех пор, пока при некотором значении i' она снова не совпадала с осью пучка на входе в магнит. Затем по формуле (2.1) вычислялась вариация импульса Δp , соответствующая переходу от тока i к новому значению тока i' . Дисперсия определяется величиной смещения точки D в см, которому отвечает относительное изменение импульса $\frac{\Delta p}{p} = 1\%$. На входе в пузырьковую камеру она равна 32 мм.

3. Поворотный магнит

3.1. Назначение магнита и особенности его конструкции

Магнит M (рис. 2) предназначен для отклонения на камеру пучка π -мезонов, прошедшего через коллиматор в защитной стене экспериментального зала. Частицы поворачиваются на угол 10° относительно первоначального направления их движения.

Мы использовали поворотный электромагнит с модифицированными полюсами. В стандартном магните такого типа полюс имеет форму усеченной пирамиды, заканчивающейся полюсным башмаком размером 150x100 см, в то время как размер самого

полюса в основании 190x170 см. Для того, чтобы более рационально использовать возможности магнита, было решено изменить форму полюсов^{x)}, сделав их торцовые грани вертикальными (рис. 7). При этом существенно увеличивается длина "магнитной дорожки" по направлению движения пучка частиц.

На торцах полюсного наконечника (2) модернизированного магнита укреплены косые накладки (1), выступающие за габариты полюса (4). С помощью этих накладок магнит с прямоугольными полюсами превращается в секторный; набор накладок с различными углами при вершине позволяет варьировать угол раствора сектора Φ . В нашем случае $\Phi = 10^\circ$; поэтому пучок входит в зазор магнита и выходит из него под прямым углом к лицевым граням накладок. Установка дополнительных стальных плит (3) между каждым полюсом и соответствующим башмаком позволила уменьшить стандартный зазор такого магнита, равный 200 мм, до 105 мм.

На рис. 8 показана зависимость индукции B_0 в центре зазора от тока I в обмотке для обычного поворотного магнита с зазором 200 мм (кривая 1) и для модифицированного магнита с зазором 105 мм (кривая 2). Если начальную линейную часть этих кривых экстраполировать к большим значениям тока, то при токе $I = 1200$ А отклонение графика $B_0(I)$ от этой прямой для обычного магнита составляет 18%, а для модифицированного соответственно 100%. Следовательно, дальнейшее увеличение тока I в модифицированном магните не может сколь-нибудь существенно увеличить индукцию в зазоре. Максимальное полученное значение индукции $B_0 = 22600$ гс соответствует току 1300 А.

3.2. Распределение магнитного поля в зазоре

При токе $I = 300$ А, когда индукция в центре зазора магнита 11 кгс, характер распределения вертикальной составляющей магнитного поля по длине полюсного башмака (рис. 9) мало отличается от классической кривой^{15/}. Существенной особенностью является "провал" кривой $B(z)$ вблизи края полюса ($z = 90$ см) и небольшое увеличение индукции в дальнейшем, вблизи края накладки ($z = 100$ см). По мере увеличения тока I характер распределения поля по оси Oz существенно изменяется - заметно сокращается область центрального плато, где $B/B_0 = 1$. Это обстоятельство приводит к значительному уменьшению эффективной длины магнита по полю L_{eff} . Если при токе 300 А

$$L_{eff} = L_0 + 2d,$$

x) Новая конструкция полюсов разработана НИИ ЭФА по заданию ЛВЭ ОИЯИ.

где L_0 - физическая длина полюсного башмака, а d - высота зазора магнита, то уже при токе 700 А, когда $B_0 = 20$ кгс, эффективная длина магнита становится практически равной физической длине полюсного башмака. Когда полюсные насадки (1) на рис. 7/ сняты - при этом длина полюсного башмака равна длине полюса, - распределение поля существенно улучшается (рис. 10). Напрашивается вывод, что в магните, предназначенном для создания поля с индукцией 18-20 кгс, полюсной башмак не должен выступать за габариты полюса, как это часто бывает в конструкциях, рассчитанных на получение более слабых полей^{16/}.

Из рис. 11, на котором представлено распределение вертикальной составляющей магнитного поля по оси Oy (поперек полюса) при трех различных значениях z , видно, что рабочая область, в пределах которой B меняется не более чем на 2%, занимает примерно половину ширины полюсного башмака.

Карта магнитного поля, снятая в средней плоскости зазора (рис. 12), показывает, что на границе полюсного башмака "магнитная грань" - в данном случае это линия $B/B_0 = 0,60$ - совпадает с физической гранью накладки. Таким образом, распределение магнитного поля действительно соответствует секторному магниту с углом раствора $\Phi = 10^\circ$. Неоднородность магнитного поля по высоте зазора не превышает 2%.

4. Характеристики пучка π^- -мезонов

Для исследования характеристик π^- -мезонного пучка использовалась система сцинтилляционных счетчиков; положение счетчиков в канале показано на рис. 2. Первый телескоп из трех сцинтилляторов, соединенных световодами с фотоумножителями ФЭУ-19, был установлен непосредственно перед коллиматором C и служил монитором интенсивности пучка. С помощью этого телескопа определялся также и поперечный размер пучка в этом месте. Каждый из сцинтилляторов $S_1 - S_3$ имел диаметр 5 см и толщину 0,6 см. Второй телескоп позволял исследовать пространственное распределение частиц в поперечном сечении пучка после поворотного магнита M на входе в пузырьковую камеру. Большинство измерений такого рода выполнено с телескопом, составленным из счетчиков S_4 и S_5 , сигналы которых подавались на вход схемы двойных совпадений с разрешением $4 \cdot 10^{-9}$ сек. Сцинтилляторы этих счетчиков представляли собой прямоугольные пластины размером 10x10x1 см, причем сцинтиллятор S_4 был повернут длинной стороной вдоль пучка. Для исследования изображения, которое дает линза Q , в качестве S_4 использован кристалл шириной 6 мм. В счетчиках $S_4 - S_5$ применялись фотоумножители ФЭУ-36.

Мишень, изготовленная из алюминия, имела ширину 1 см, высоту 2 см и длину по направлению пучка 18 см. Азимутальное положение плунжерной мишени T в камере синхрофазотрона фиксировано, однако ее радиальное положение можно было менять в определенных пределах по желанию экспериментатора. В зависимости от величины Δr смещения мишени по радиусу от центра камеры наружу в магнитный канал попадали частицы с различными импульсами и разными углами вылета из мишени. Вариация импульсов π -мезонов в канале в зависимости от величины смещения Δr видна из следующей таблицы.

Таблица 1

Зависимость импульса и относительной интенсивности π -мезонного пучка от радиального положения мишени

Δr /см/	p -Гэв/с/	Относительная интенсивность
+ 10	6,45	0,2
+ 12	6,15	0,2
+ 15	5,85	0,3
+ 20	5,42	0,5
+ 24	5,10	1,0

Условия фокусировки частиц с различными импульсами в канале существенно неодинаковы, поэтому приведенные данные об относительной интенсивности пучков в большей мере характеризуют канал, нежели спектр π -мезонов. Использование роторной мишени, азимутальное положение которой в камере можно варьировать, позволяет уменьшить импульс вторичных частиц ниже 5 Гэв/с, а перемещение плунжерной мишени по радиусу на $\Delta r \approx 3$ см дает увеличение импульса до 7 Гэв/с.

Для экспериментов на камере был выбран пучок π -мезонов с импульсом 5,1 Гэв/с, которые вылетают из мишени под углом 0° по отношению к падающему протонному пучку. При интенсивности пучка ускоренных протонов 1×10^{10} частиц в цикле монитор регистрировал 2000 π -мезонов, что составляет 100 частиц/см². При этом интенсивность потока частиц на входе в пузырьковую камеру составляла 300 π -мезонов на площади 5х5 см. Так как эта величина намного превышает допустимую загрузку камеры, то в рабочих условиях на мишень сбрасывалась лишь небольшая часть ускоренного пучка — обычно порядка $2-5 \times 10^8$ частиц в цикле.

На рис. 13 показано распределение частиц по горизонтали в поперечном сечении пучка непосредственно перед магнитом M_2 . В случае, когда квадрупольный дублет Q_3 обеспечивает оптимальную фокусировку пучка, полная ширина распределения на полувысоте равна 5,4 см. При отключении линзы Q_3 распределение имеет на полувысоте ширину 16 см, что, в соответствии с градуировочной кривой магнита M_2 (рис. 6), полученной методом токнесущей нити^{х)}, дает $\frac{\Delta p}{p} = \pm 2,5\%$. Однако истинная ширина распределения по импульсам меньше указанной, так как надо учесть угловую расходимость пучка, конечную ширину щели коллиматора C и многократное рассеяние частиц в воздухе. По нашим оценкам, все эти факторы увеличивают ширину пучка примерно на 4 см, и, таким образом, истинный разброс по импульсам в пучке $\frac{\Delta p}{p} = \pm 2\%$. Вертикальный размер пучка на входе в камеру 5-7 см.

5. Исследование поля камерного магнита

Магнитопровод магнита M_2 (рис. 14), предназначенного для установки пропановой пузырьковой камеры ПК-200, состоит из верхней /1/ и нижней балок /7/ и двух продольных стоек /6/. В нижней балке имеется прямоугольное окно для полюса магнита /5/. Полюс опирается на ферму /9/. Положение полюса относительно средней плоскости зазора между катушками магнита /3/ и /4/ можно регулировать, поднимая и опуская ферму, которая крепится к нижней плоскости балки /7/ на шпильках. В нашем случае расстояние от средней плоскости магнита до поверхности полюса составляет 425 мм. Нижняя катушка магнита лежит на балке /7/, верхняя подвешена на шпильках к верхней балке. Камера опускается на полюс магнита через окно верхней катушки и устанавливается так, что медианная плоскость рабочего объема камеры оказывается на 40 мм выше средней плоскости магнита. Для того, чтобы уменьшить поток рассеяния в верхней половине магнита и тем самым несколько компенсировать отсутствие второго полюса, используются шиммы /2/ в виде массивных прямоугольных брусков мягкого железа, укрепленные над верхней катушкой.

Общий вес электромагнита составляет 165 т, его габаритные размеры 3,4х3,2х2,34 м. Верхняя и нижняя катушки магнита неодинаковы: при общем числе витков в обмотке 132, в верхней катушке имеется 80 витков, а в нижней — 52 витка. Магнит питается от двух мотор-генераторов постоянного тока, включенных на нагрузку параллельно. Максимальная величина тока в обмотке магнита составляет 13 300 А. На охлаждение обмотки магнита расходуется около 100 м³ воды в час; перепад температур воды в системе охлаждения не превышает 20^oС.

^{х)} Линза Q_3 работает в импульсном режиме, и это весьма затрудняет градуировку магнита M_2 совместно с Q_3 .

Зависимость индукции в центре средней плоскости магнита от величины тока возбуждения $B_0(I)$ показана на рис. 15. При токе 13 200 А магнитное поле в этой точке равно $16\ 850 \pm 85$ гс, индукция непосредственно у поверхности полюса ~ 18000 гс. В магните такой конструкции насыщение единственного полюса мало сказывается на характере зависимости $B_0(I)$, поэтому можно ожидать значительного увеличения индукции по мере дальнейшего роста тока. Тепловой режим магнита позволяет увеличить ток, но для используемых в настоящее время генераторов величина 13,3 ка представляет верхний предел суммарного тока в постоянном режиме.

Магнитное поле измерено непосредственно в рабочем объеме камеры, установленной в магните, с помощью описанного выше холловского магнитометра. На рис. 16 представлена система координат, относительно которой отсчитывалось положение датчика магнитометра. Ось Ox соответствует продольной оси камеры, начало системы координат совпадает с центром камеры, плоскость yOz перпендикулярна направлению пучка.

Вариация поля по высоте камеры ($h = 40$ см) в плоскости yOz , т.е. в вертикальной поперечной плоскости симметрии камеры, составляет 8,8%. Распределение поля в правой и левой половине камеры практически симметрично относительно продольной оси Ox (рис. 17), однако симметрии относительно поперечной оси Oy нет. Из рис. 18, на котором представлена зависимость $B_z(x)$, снятая в медианной плоскости камеры, видно, что на входе в камеру частицы встречают несколько большее поле, чем на выходе из нее. Однако и в медианной плоскости и в любой другой горизонтальной плоскости максимальное относительное изменение магнитного поля всего лишь порядка 1%.

Авторы работы выражают свою признательность сотрудникам экспериментальных мастерских Лаборатории ядерных проблем, сотрудникам электротехнического отдела Лаборатории высоких энергий и эксплуатационному персоналу синхрофазотрона за большой и ценный вклад в монтаж и наладку магнитного канала.

Авторы глубоко благодарны В.П. Джелепову за постоянное внимание и ценные советы и пользуются возможностью поблагодарить В.И. Векслера, И.В. Чувило, Н.И. Павлова за содействие в создании канала, а также Ю.А. Будагова и В.Г. Иванова за полезное обсуждение основных параметров мезонного пучка.

Л и т е р а т у р а

1. А.В. Богомолов, Ю.А. Будагов, А.Т. Василенко, В.П. Джелепов, Н.И. Дьяков, В.Г. Иванов, В.С. Кладницкий, В.И. Лепилов, Ю.Ф. Ломакин, В.И. Москалев, В.Б. Флягин, Т.И. Шетет, П.В. Шляпников. Препринт ОИЯИ 1278, Дубна, 1963.

2. В.С. Кладницкий. Препринт ОИЯИ 1477, Дубна, 1963.
3. Д.П. Василевская, Ю.Н. Денисов. ПТЭ, № 3, 144 (1959).
4. М.С. Козодаев, А.А. Тяпкин, ПТЭ, № 1, 21 (1956).
5. Э.Сегре. Экспериментальная ядерная физика, т.3. ИЛ, Москва, 1963.
6. A. Septier, CERN 59-1, Geneva, 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 декабря 1963 г.

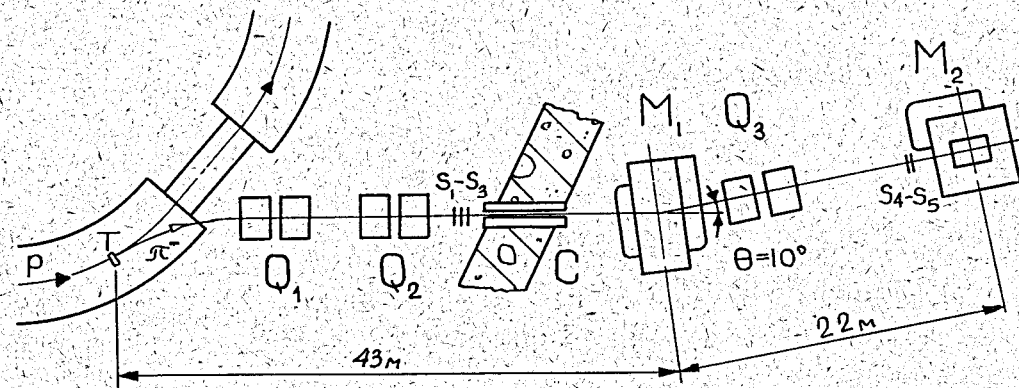


Рис. 1. План расположения оборудования канала.

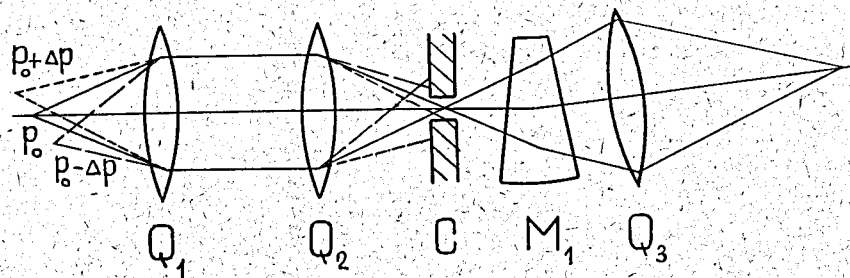


Рис. 2. Принципиальная ионно-оптическая схема магнитного канала.

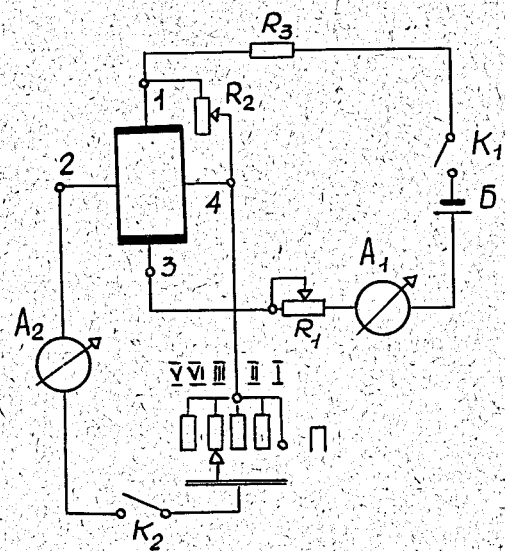


Рис. 3. Схема магнитометра, основанного на эффекте Холла.

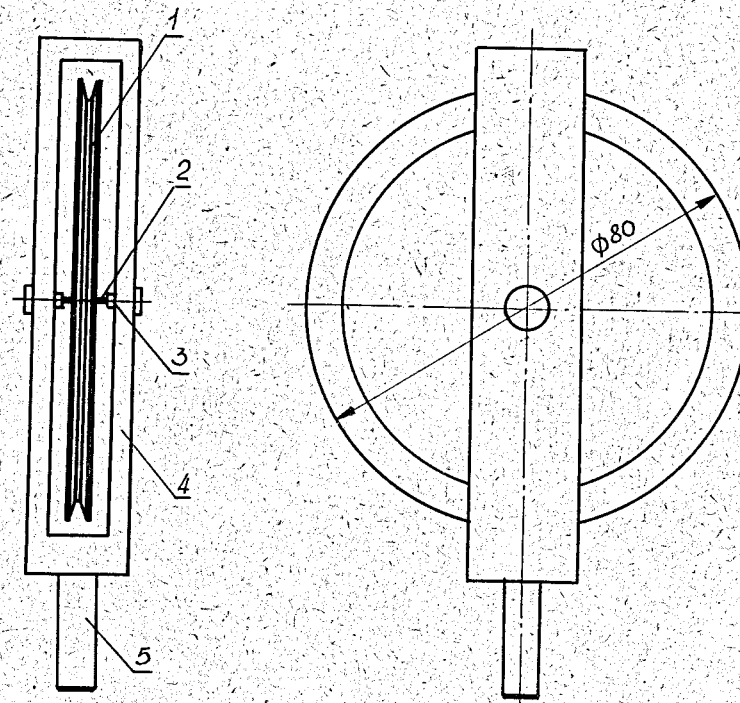


Рис. 4. Блок для натяжения токонесущей нити: 1 - блок; 2 - ось блока; 3 - опорный подшипник; 4 - обойма блока; 5 - вертикальная ось.

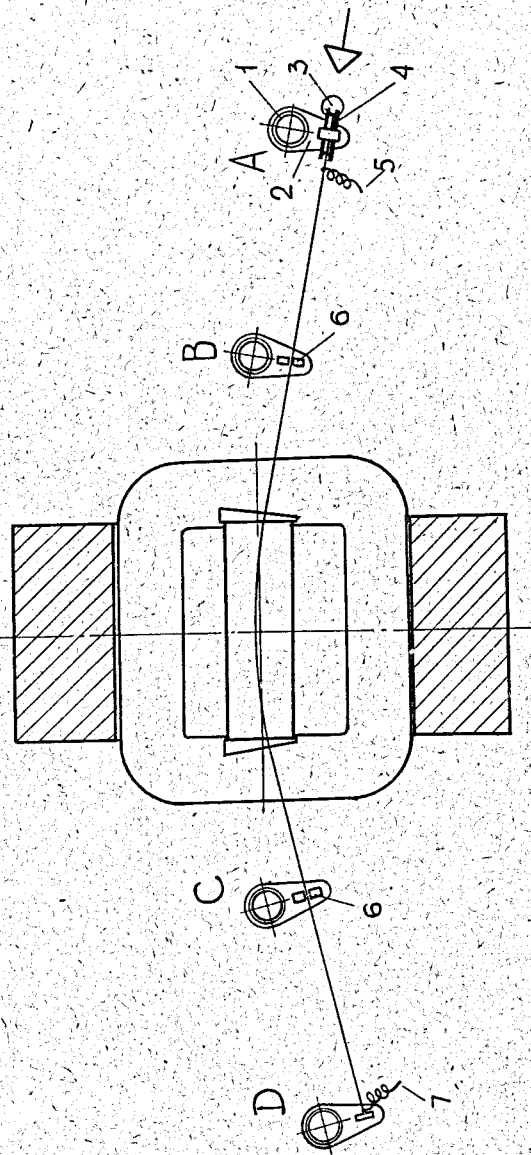


Рис. 5. Использование токонесущей нити для исследования характеристик поворотного магнита:
 1 - вертикальная стойка; 2 - поперечный кронштейн; 3 - груз; 4 - блок; 5 - токоподвод;
 6 - приспособление для отсчета поперечного смещения нити; 7 - токоподвод.

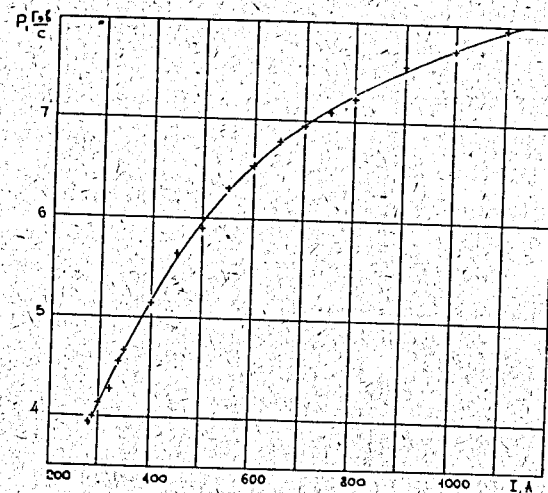


Рис. 6. Калибровочная кривая для поворотного магнита M_1 , полученная методом токонесущей нити. Угол поворота пучка $\theta = 10^\circ$.

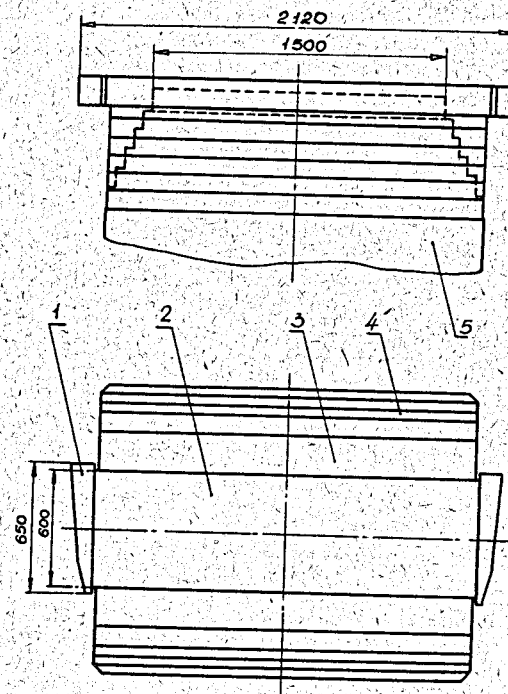


Рис. 7. Модификация полюса магнита M_1 (пунктирной линией показан контур магнита обычной конструкции).

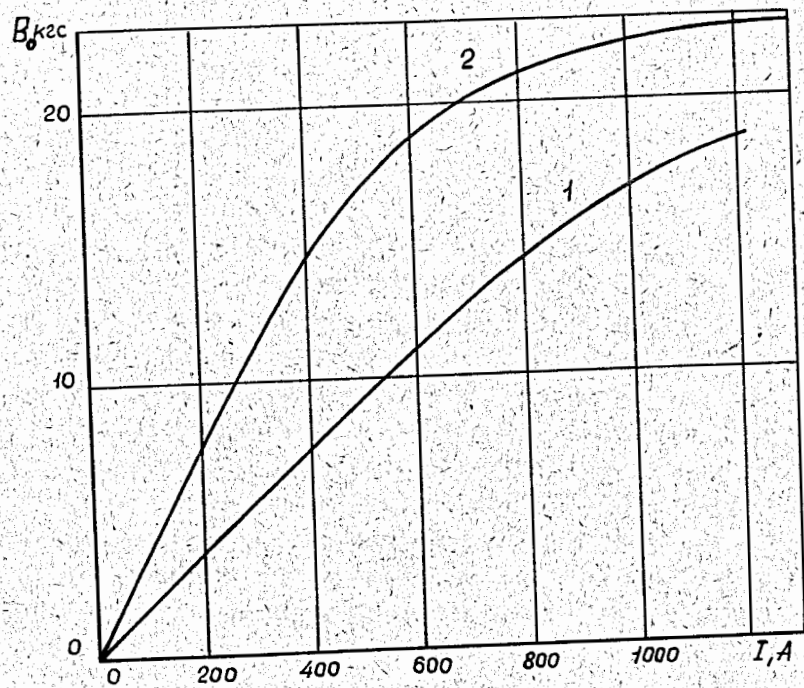


Рис. 8. Зависимость индукции в центре зазора от тока I :
 1 - для магнита обычной конструкции с зазором 200 мм;
 2 - для модифицированного магнита с зазором 105 мм.

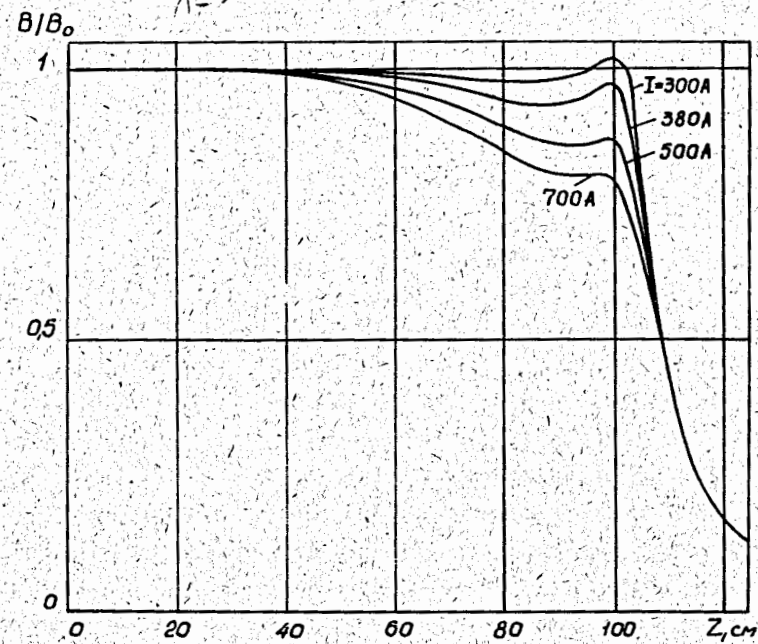


Рис. 9. Распределение магнитного поля по продольной оси полюса при различных значениях тока I .

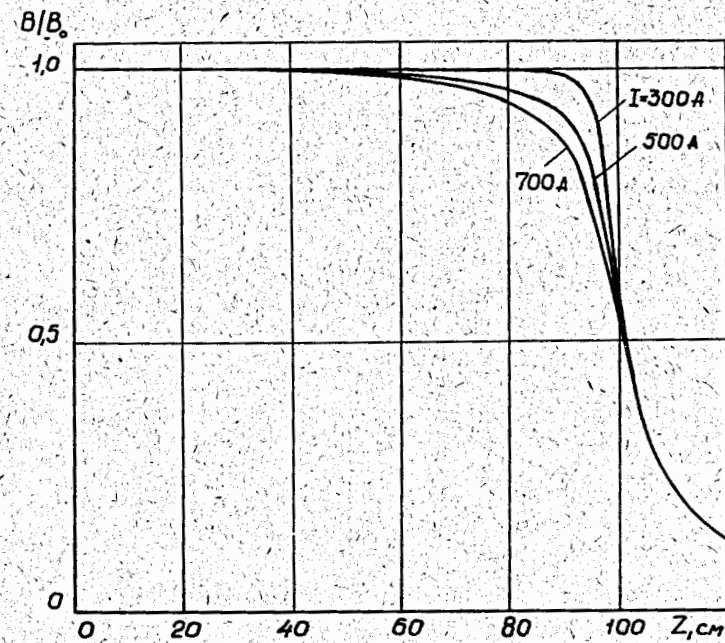


Рис. 10. Распределение магнитного поля в отсутствии полюсных накладок.

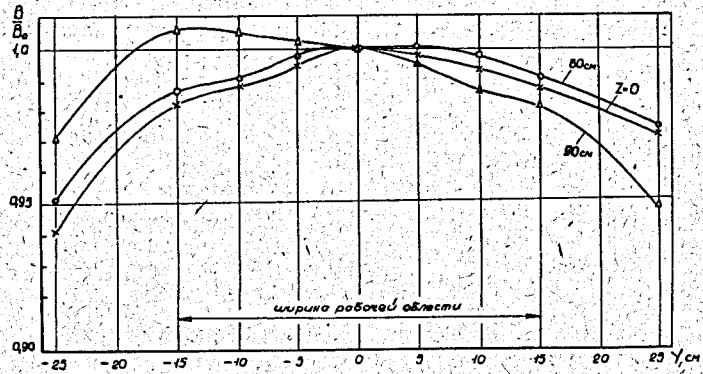


Рис. 11. Относительная вариация магнитного поля поперек полюса: значения B_0 взяты в центре магнита ($z=0$) и на расстоянии $z=60$ см и $z=90$ см от центра.

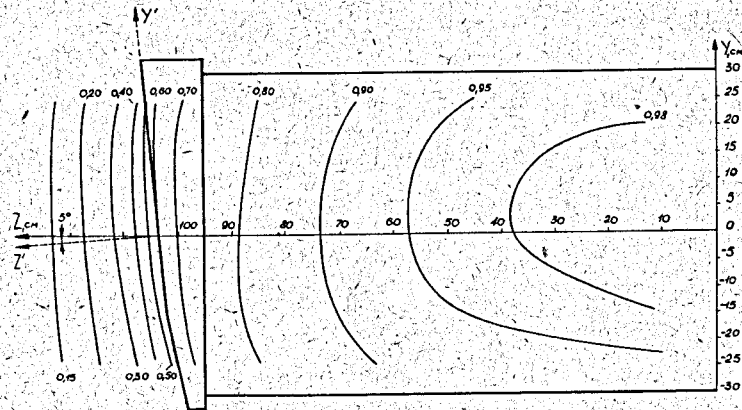


Рис. 12. Топография магнитного поля в медианной плоскости поворотного магнита.

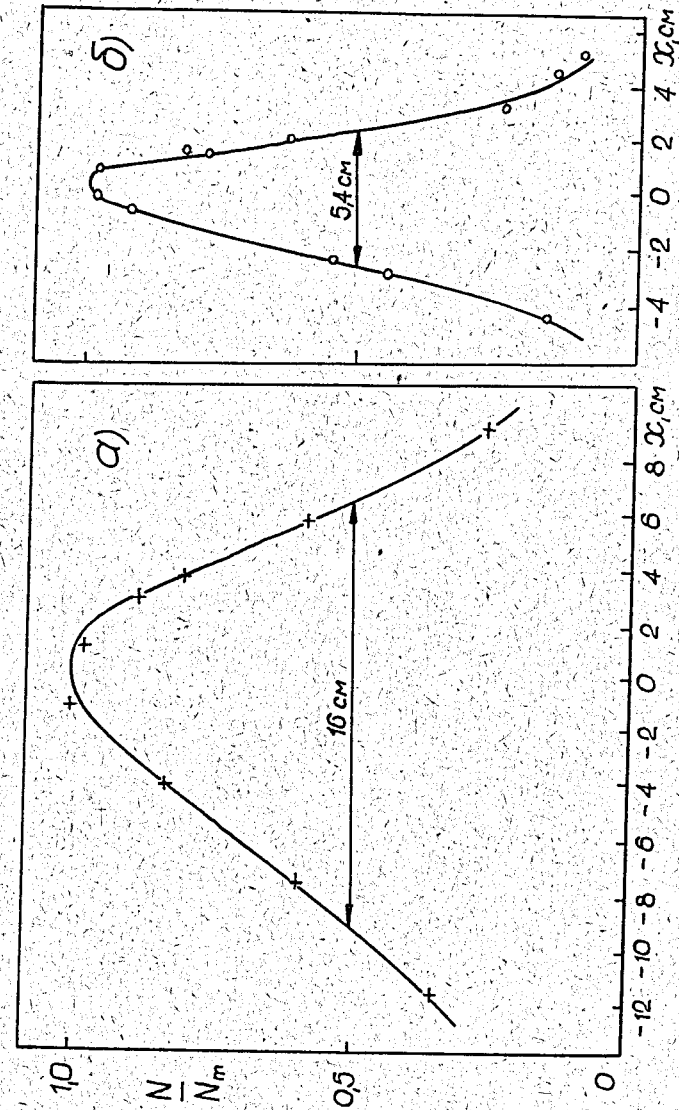


Рис. 13. Относительное распределение интенсивности пучка по горизонтали на входе в пузирьковую камеру: а) при отклоненной линзе Q_1 ; б) для случая оптимальной фокусировки пучка линзой Q_1 .

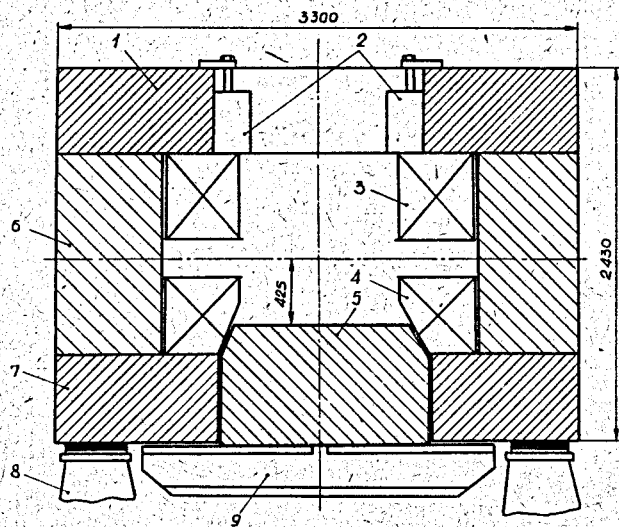


Рис. 14. Поперечное сечение магнита M_2 плоскостью, перпендикулярной направлению пучка частиц.

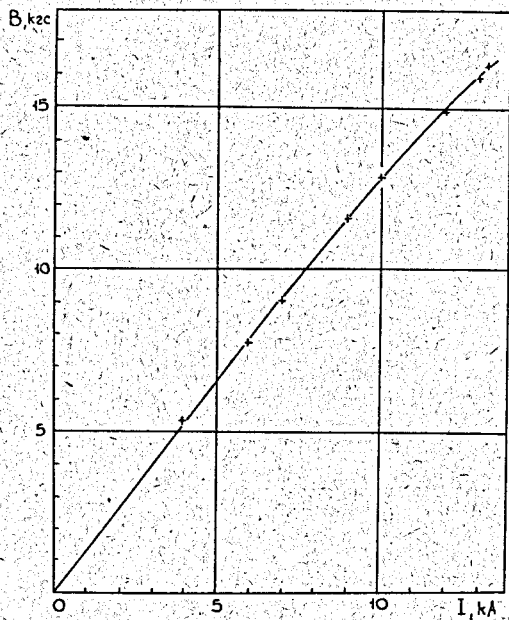


Рис. 15. Зависимость индукции B в центре средней плоскости магнита M_2 от тока I в обмотке.

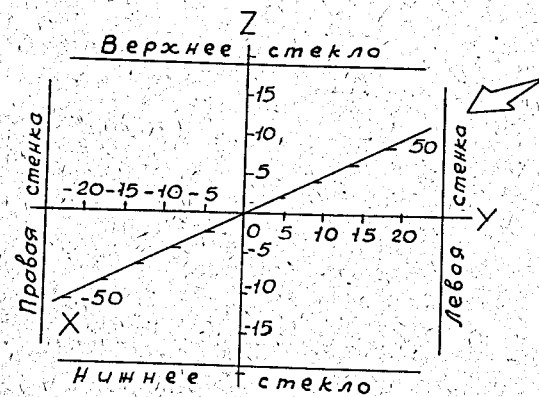


Рис. 16. Система координат, использованная при магнитных измерениях.

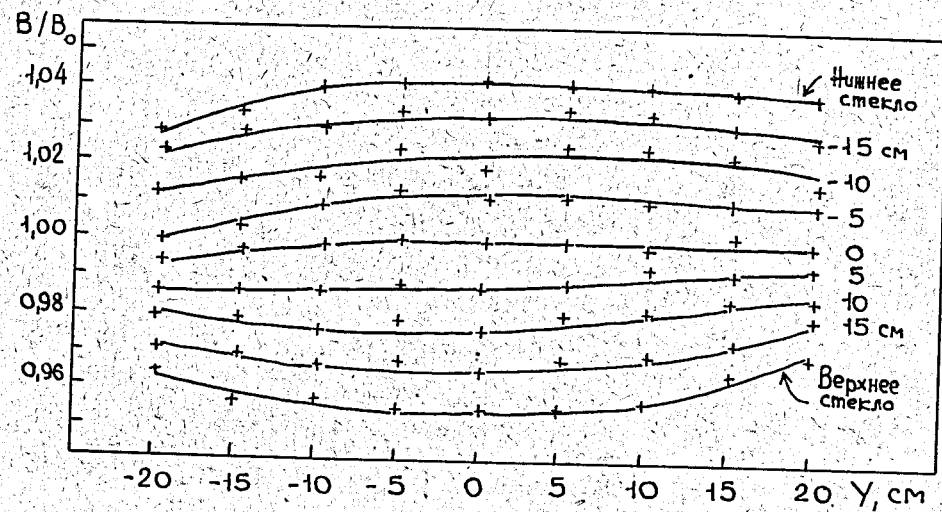


Рис. 17. Распределение магнитного поля в рабочем объеме камеры в плоскости yOz .

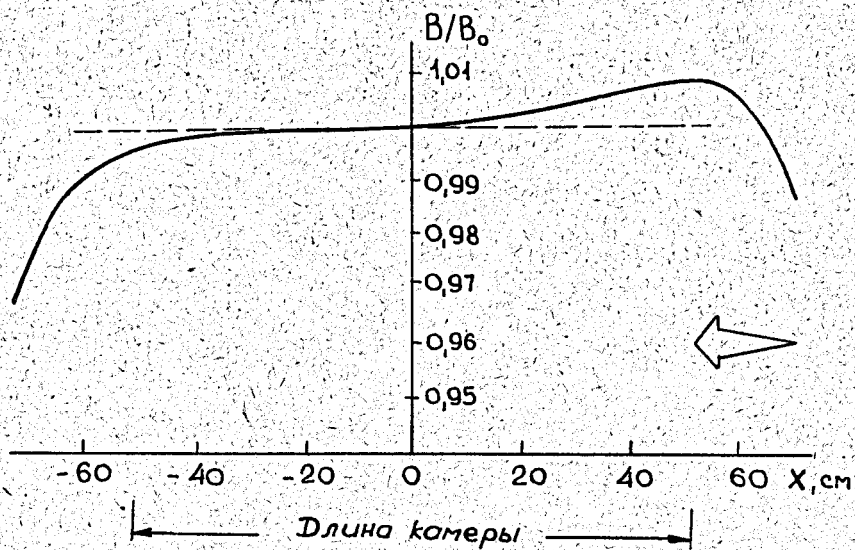


Рис. 18. Характер изменения магнитного поля вдоль оси Ox .
Стрелкой показано направление пучка частиц.

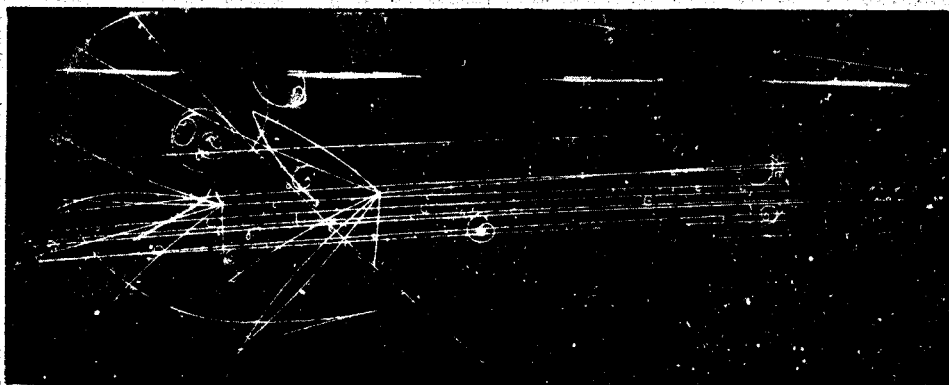


Рис. 19. Пучок π -мезонов с импульсом 5,1 Гэв/с в пропановой камере ПК-200.
Расстояние между соседними крестами на снимке составляет 50 мм.