

Учетный № _____

от 1	Д. №
1-ИД	оп. №
1	Ф. №

УИП ам сев

названия организации и подразделения

ДЕЛО №

ТОМ №

Похитково Б.л.

Отгет по теме: Комитет

действительный ядерное рассеяние

II-мезон с обломом заряде при помощи

радиоактивных маркеров

заголовок дела

" " 19 52 г.

" " 19 ___ г.

крайние даты документов

1952

г.

(год ведения дела)

Ф. №	<i>1</i>
оп. №	<i>1-ИД</i>
Д. №	<i>170 263</i>

на 18 листах

хранить _____ /Ст. № _____ /
по перечню

661. 6/7. 562
Трашва

"УТВЕРЖДАЮ"

Начальник Гидротехнической
лаборатории АН СССР
доктор физико-матем. наук

/М.Г.Щедряков/

" марта 1952 года.

О Т Ч Е Т

ПОПЫТКА ДЕТЕКТИРОВАТЬ ЯДЕРНОЕ РАССЯЯНИЕ π -МЕЗОНОВ
С ОБМЕНОМ ЗАРЯДА ПРИ ПОМОЩИ РАДИОАКТИВНЫХ ИНДИКАТОРОВ.

Руководитель: проф. Понтекорво Б.

Исполнители: проф. Понтекорво Б.
инж. Мужин А.И.

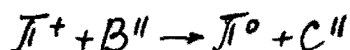
1952 г.

ВВЕДЕНИЕ.

Взаимодействие быстрых π -мезонов с ядрами впервые исследовалось при изучении космических лучей, причем были получены противоречивые результаты. Камерини и др.^{1/} нашли, что длина свободного пробега мезонов в фотозульсии примерно равна "геометрической", в то время как Пиччиони^{2/} получил с помощью счетчиков среднюю длину свободного пробега для ядерного взаимодействия, по крайней мере, в 10 раз большую геометрической. Это противоречие было устранено лишь после того, как были проделаны работы с искусственными π -мезонами, полученными при помощи ускорителей. Действительно, результаты работ по определению сечения взаимодействия быстрых π -мезонов, выполненных с фотопластинками Бернардини и др.^{3/}, Мещеряковым и др.^{4/}, и другие работы^{5-6/} определенно показали, что π -мезоны в интервале энергий 30-110 Мэв взаимодействуют с ядрами с сечением, примерно равным "геометрическому".

Исходя из этого, естественно ожидать, что ядерные взаимодействия с сечением того же порядка можно детектировать при помощи радиоактивных индикаторов. В самом деле, оценка показывает, что с потоком мезонов $\sim 10^4/\text{см}^2\text{сек}$, который достижим на синхротроне в нашей лаборатории, при благоприятных условиях можно обнаружить образование радиоэлементов с таким небольшим сечением, как 10^{-27}см^2 .

В этом отчете будет, главным образом, сообщено о попытке детектировать реакцию



при помощи измерения радиоактивности C'' .

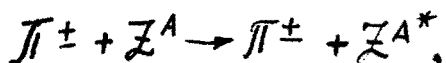
ОБСУЖДЕНИЕ МЕТОДА.

При взаимодействии быстрых π -мезонов с ядрами вещества происходит несколько процессов. Полезна следующая их классификация:

- 1/ Образование звезд /поглощение мезонов/;
- 2/ Неупругое рассеяние мезона ядром с большой потерей энергии, т.е. с потерей энергии, достаточной для эмиссии одного или более нуклонов;
- 3/ Рассеяние с небольшой потерей энергии, т.е. с потерей энергии, недостаточной для эмиссии нуклона;
- 4/ Рассеяние мезона с обменом заряда.

При использовании метода радиоактивных индикаторов процессы /1/ и /2/ представляет незначительный интерес из-за большого числа радиоэлементов, которые могут получиться в результате звездообразования, поскольку те же самые радиоэлементы могут образовываться также благодаря значительному фону нуклонов /главным образом, нейтронов/, неизбежному в наших условиях.

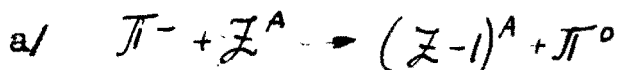
Процесс /3/ можно обнаружить при помощи реакции:



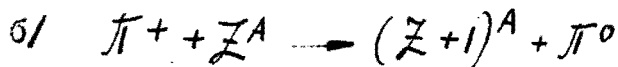
употребляя в качестве радиоактивного индикатора изомеры Z^{A*} стабильного ядра.

Попытка детектировать эту реакцию была сделана путем облучения индия положительными мезонами. Определялась интенсивность 4,5 часового периода In^{115*} . Основная трудность, которая встретилась здесь, - фон, производимый реакцией $In^{115}(n,n)In^{115*}$. Благодаря этому фону не только результат был отрицательным, но также полученный верхний предел для сечения образования In^{115*} π -мезонами оказался слишком высок, чтобы представлять интерес.

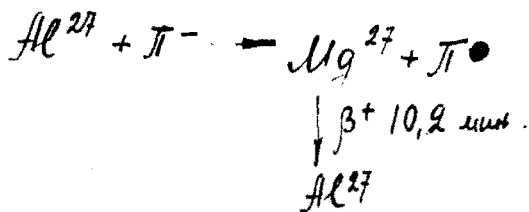
Что касается процесса /4/, то, по самой природе обменного рассеяния, разумно предположить, что значительная часть энергии рассеивающегося π -мезона будет уноситься нейтральным мезоном. Следовательно, сравнительно большая часть явлений рассеяния с обменом заряда не будет сопровождаться звездами и будет соответствовать простому процессу:



или



Из этих двух процессов /а/ соревнуется с /n, p / реакцией от нейтронов фона и, следовательно, труден для наблюдения. Это было ясно из серии опытов, проведенных с целью изучения реакции



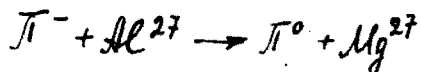
по энергиям осуществлялся при помощи двух различных медных каналов, выделявших мезоны с энергией 30 Мэв и 50 Мэв. Форма каналов определялась графически.

Выделенный таким образом мезонный пучок падает на исследуемый образец 1 и затем поглощается в медном поглотителе, помещенном между образцами 1 и 2 /рис 1/. Образцы 1 и 2 - тождественны. Толщина поглотителя в опытах с 30 Мэв π -мезонами была 9гр/см^2 , - в опытах с 50 Мэв π -мезонами -22гр/см^2 . В этих условиях облучался мезонами только образец 1, в то время как фон для обоих образцов был одинаковым. Последнее было проверено специальным опытом, когда на пути мезонов в мезонный канал помещался медный поглотитель, достаточный для полного поглощения мезонов. В этих условиях активности всех периодов образцов 1 и 2 были тождественны.

Радиоактивность образцов 1 и 2 измерялась одновременно на двух одинаковых счетчиках Гейгера-Миллера. Для того, чтобы избежать возможных ошибок из-за небольшой разницы в счетчиках, активность образцов измерялась на обоих счетчиках попеременно.

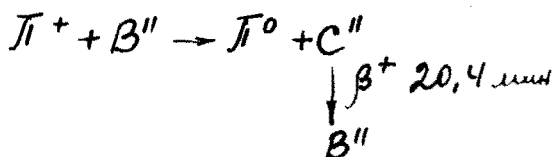
Важно отметить, что небольшое различие в счетчиках и геометрии образцов было бы не так важно, потому что мы имели возможность сравнивать активность интересующего нас периода с активностью значительно более длинного периода, образованного нейтронами. Иными словами активность длинного периода,

измеренную на образцах 1 и 2, мы могли использовать как монитор при измерении активностей интересующего нас периода на образцах 1 и 2. Например, при исследовании реакции:



период, который применялся для нормирования активности Mg^{27} /10,2 мин/, был 14,8 часа от реакции $Al^{27} / n, \alpha / Na^{24}$.

В дальнейшем мы будем говорить только об опытах по исследованию реакции:



Бор, как исследуемый образец, был выбран в связи с тем, что:

а/ β -переход $C'' \rightarrow B'' + \beta^+$ разрешен;

б/ ознакомление с таблицей радиоактивных элементов показывает, что нет периодов близких к 20 мин, которые могли быть произведены из B нейтронами;

в/ период 20 мин удобен для работы и излучение C'' можно было эффективно регистрировать;

г/ фоновая активность C'' может возникнуть только от реакции $B''(pn)C''$ /и, может быть, от реакции $C^{12}(n,2n)C''$ благодаря примеси углерода/.

Образцы из аморфного бора облучались в течение 30 мин. Толщина образцов была $\sim 0,1 \text{ г/см}^2$ и их площадь $\sim 15 \text{ см}^2$. Измерения начинались через 15-20 минут после конца облучения и продолжались в течение примерно 40 часов, для того чтобы с

большой точностью определить активность длинного периода обоих образцов. Это было необходимо для принятого нами метода нормировки.

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ МЕЗОННОГО ПУЧКА.

Абсолютный поток мезонов в месте расположения исследуемого образца определялся при помощи фотопластинок $g-5$. Фотопластины облучались около 15 сек причем такая экспозиция была выбрана только с целью удобства счета мезонных следов. В течение экспозиции в качестве монитора использовался счетчик BF_3 . Этот же счетчик служил монитором при облучении мезонами исследуемого образца бора. Скорость счета в опытах с фотопластинками и с бором была приблизительно одинаковой и почти не менялась в течение всего времени облучения. В силу этого по данным фотопластинок мы могли определить средний поток мезонов в том месте, где находился образец 1. При помощи фотопластинок можно было также найти число протонов, падающих в том же самом месте на cm^2 в секунду. Интенсивность пучков 30 Мэв и 50 Мэв мезонов была примерно $10^4/cm^2$ сек и не изменялась значительно от опыта к опыту.

РЕЗУЛЬТАТЫ.

Во всей серии опытов с борной мишенью активности образцов 1 и 2 были одинаковы в течение всего времени измерения. Иными словами, активность, производимая мезонами в образце 1,

не была заметна во всех наших опытах. Следовательно, для анализа кривой распада облученного бора мы могли использовать сумму активностей обоих образцов для более точного определения суммирующихся периодов полураспада. Наблюдались три периода: 1/ $23 \pm \frac{1}{2}$ часа, 2/ $2,8 \pm 0,1$ часа, 3/ 20 - минут. Ясно, что период /3/ обуславливается распадом C'' , образованным в реакции $B''(p,n)C''$. Два других периода, повидимому, возникали из загрязнений от нейтронных реакций. Основная неопределенность в определении интенсивности периода /3/ возникает благодаря неопределенности периода /2/.

При оценке абсолютного числа распадов C'' были сделаны поправки на поглощение в алюминиевой стенке счетчика и на самопоглощение в борном образце.

Геометрическая эффективность счетчика определялась при помощи тонкого эталона U_3O_8 ($6,3 \text{ мк/см}^2$).

Результаты нескольких опытов с π^+ -мезонами с энергиями 30 Мэв и 50 Мэв даны в таблице 1.

Таблица 1.

Энергия мезонов.	Приведенная разница активностей 20 мин. периода образцов 1 и 2 /число импульсов в 1 мин на 1 гр. бора /.	Верхний предел сечения для реакции $B'' + \pi^+ \rightarrow C'' + \pi^0$
30 Мэв	0 ± 4	$2 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$
50 Мэв	$-1,7 \pm 6$	$3 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$

Для определения верхних пределов сечения изучавшейся реакции нужно оценить число распадов C'' , вызванное мезонами, которое мы могли бы заметить в наших условиях. Предполагалось, что такая разница в активности образцов 1 и 2 была бы заметна, если бы она была, по крайней мере, равна статистическим ошибкам измерений, приведенным в таб.1, в таком случае сечение реакции $B'' + \pi^+ \rightarrow C'' + \pi^0$ для мезонов с энергиями 30 Мэв и 50 Мэв было бы равно $1,7 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ и $2,5 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$, соответственно. Разумно сделать вывод, что верхние пределы сечения для упомянутой выше реакции будут $2 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ и $3 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ для π^+ мезонов с энергиями 30 Мэв и 50 Мэв.

О Б С У М Д Е Н И Е.

Сечения рассеяния быстрых мезонов на нуклонах теоретически исследовали В.Б. Берестецкий и И.А. Померанчук^{9/} и Маршак^{10/}.

Для псевдоскалярных мезонов с псевдовекторной связью^{х/} основные результаты этих работ можно суммировать так:

1/ Сечение рассеяния с обменом заряда примерно равно сечению рассеяния без обмена заряда.

2/ В области энергии мезонов от нескольких Мэв до 100Мэв сечение рассеяния приблизительно пропорционально квадрату энергии рассеивающихся мезонов.

Сопоставление наших результатов по обменному рассеянию π^+ -мезонов на ядрах бора с рассеянием мезонов на нуклонах не может быть сделано непосредственно. Однако, мы можем про-

х/ Это, кажется, соответствует имеющимся в настоящее время экспериментальным данным.

вести сравнение с экспериментальными данными по сечению упругого рассеяния мезонов с энергией 30 Мэв на углероде^{11/}. По данным этой работы, упругое ядерное рассеяние мезонов состоит из двух компонент: первая компонента представляет собой направленное вперед дифракционное рассеяние, и вторая компонента представляет собой более или менее изотропное рассеяние, которое имеет сечение $5-9 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стерад}$. Следовательно, сечение упругого рассеяния /за исключением дифракционного/ составляет приблизительно $70-100 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$. Это почти на два порядка больше, чем верхний предел сечения, полученный нами для реакции



с энергией π^+ -мезонов 30 Мэв и 50 Мэв. Правда, эта реакция составляет только часть полного рассеяния с обменом заряда, тем не менее, в связи с характером обменного рассеяния, разумно считать, что процессы $B''(\pi^+, \pi^0)C''$ и полного рассеяния с обменом заряда имеют сечения одного порядка величины. Отсюда мы считаем возможным сделать вывод, что обменное рассеяние быстрых мезонов сложными ядрами существенно меньше не только полного сечения упругого рассеяния, но и сечения упругого рассеяния, которое не включает дифракционное рассеяние.

Можно сравнить некоторые результаты, полученные различными авторами^{3-5/} при исследовании ядерных взаимодействий быстрых мезонов с ядрами элементов, входящими в состав фото-

эмульсии, с результатами, изложенными в этом отчете. Во всех только что упомянутых работах наблюдалось явление "исчезновения" мезона, которое можно интерпретировать как:

- а/ ядерное расщепление с испусканием только нейтронов;
- б/ рассеяние с обменом заряда.

Это явление "исчезновения" в нескольких, перекрывающихся между собой, интервалах энергии от 30 до 110 Мэв составляет примерно 10 % от полного сечения взаимодействия быстрых мезонов.

Если предположить, что обменное рассеяние быстрых π^+ -мезонов на ядрах бора составляет примерно такую же часть от полного сечения взаимодействия, как и в фотоэмульсиях, то можно заключить, что обменное рассеяние составляет не более нескольких процентов от числа "исчезновений", наблюдаемых в фотопластинках.

Необходимо отметить, что обменное рассеяние быстрых мезонов экспериментально еще не наблюдалось, хотя по этому вопросу и встречаются в литературе противоречивые утверждения.

Из малости отношения сечения обменного рассеяния на сложных ядрах к сечению упругого рассеяния /за исключением дифракционного/, на первый взгляд кажется возможным сделать заключение^{х/}, что на нуклонах сечение обменного рассеяния быстрых

х/ Если предполагать, что изотропное упругое рассеяние, наблюдавшееся на ядрах углерода, обусловлено рассеянием на отдельных нуклонах.

мезонов также мало по сравнению с рассеянием без обмена заряда. Однако такого заключения сделать невозможно, поскольку часть сферически изотропного упругого рассеяния, наблюдавшегося Л. Ледерманом и др.^{11/} может возникать на поверхности ядра. Это потенциальное рассеяние возможно, когда длина волны $\lambda / 1,7 \cdot 10^{-13}$ см для π -мезонов с энергией 50 Мэв/ больше толщины слоя, на которой меняется ядерный потенциал $\sim \frac{\hbar}{mc} = 1,4 \cdot 10^{-13}$ см/. Только для того, чтобы получить хоть какую-нибудь информацию об элементарном обменном рассеянии, проведем сравнение между верхним пределом сечения обменного рассеяния на ядрах бора, полученным в этой работе, с сечением рассеяния на водороде $\sigma = 13,3 \cdot 10^{-27}$ см²/ отрицательных π -мезонов с энергией 85 Мэв^{6/}. Принимая элементарное сечение рассеяния с обменом заряда равным примерно половине полного сечения рассеяния на протоне, согласно теории, упоминавшейся в начале этого раздела, и предполагая, что мезоны рассеиваются на шести нейтронах ядра B'' , мы получили бы для обменного рассеяния на ядрах B'' сечение $\sim 40 \cdot 10^{-27}$ см². Даже вводя поправку на разницу в энергиях мезонного пучка, что, согласно теории, уменьшает сечение примерно в три раза, полученный нами предел значительно меньше полученной таким образом оценки. Отмеченное выше наводит на подозрение, что элементарное рассеяние с обменом заряда меньше элементарного рассеяния без обмена заряда.

Однако это заключение не может быть строгим, так как для его вывода привлекалось слишком много предположений. В частности, в изложенном выше сравнении не учитывался принцип Паули, который в сложных ядрах может серьезно уменьшить сечение рассеяния на нуклон. Независимо от наших результатов, которые, конечно, не доказывают малости сечения π^{\pm}, π^0 на нуклоне, мы хотим здесь заметить, что такая малость не была бы в противоречии с предположением зарядной инвариантности^{12/}. Действительно, предположение инвариантности непосредственно приводит к следующему соотношению, которое было указано нам Н.А. Смородинским:

$$\frac{1}{2} \sigma(\pi^+n, \pi^0p) + \sigma(\pi^0n, \pi^0n) = \frac{1}{2} [\sigma(\pi^-n, \pi^-n) + \sigma(\pi^+n, \pi^+n)]$$

где принятые обозначения очевидны. Ясно, что малость элементарного сечения π, π^0 автоматически следовала бы, например, в том случае, если бы $\sigma_{\pi^0p}, \sigma_{\pi^+p}, \sigma_{\pi^-p}$ были приблизительно равны.

ВЫВОДЫ.

1. Попытка детектирования обменного рассеяния быстрых π -мезонов на нескольких элементах методом радиоактивных индикаторов дала отрицательный результат.

2. Верхний предел сечения реакции



для мезонов с энергиями 30 и 50 Мэв равен 2 и 3 $\cdot 10^{-27}$ см², соответственно.

3. Сечение обменного рассеяния на сложных ядрах не только пренебрежимо мало по сравнению с полным сечением упругого рассеяния, но и значительно меньше сечения сферически изотропного упругого рассеяния.

4. Из сравнения наших результатов с результатами, полученными на фотопластинках, можно сделать заключение, что только очень малая часть "исчезновений" может быть отнесена к обменному рассеянию.

Надо отметить, что обменное рассеяние быстрых мезонов до сих пор еще не наблюдалось.

5. Невозможно сделать определенные выводы об относительной величине сечения рассеяния быстрых π -мезонов с обменом и без обмена заряда на нуклоне из результатов, полученных на сложном ядре, так как на последнем существует рассеяние на поверхности ядра при длине волны рассеивающегося мезона $\lambda > \frac{h}{mc}$.

6. Из сравнения абсолютных величин верхних пределов сечения обменного рассеяния на ядрах B'' с сечением рассеяния быстрых π^- -мезонов на протонах возникает некоторое подозрение, что сечение обменного рассеяния на нуклонах меньше сечения рассеяния без обмена заряда.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность проф. И.Я. Померанчуку за интересное обсуждение результатов.

ДОПОЛНЕНИЕ.

После написания этого отчета в печати появилось сообщение^{13/} о попытках наблюдать обменное рассеяние \mathbb{K}^+ -мезонов с энергией 44 Мэв на Be и D_2O . Работа была выполнена совершенно иной методикой, при помощи аппаратуры, которая могла бы регистрировать γ -лучи от распада нейтрального мезона. Верхний предел сечения обменного рассеяния, полученный этими авторами, сравним с полученными нами результатами. В сообщении было сделано заключение, что обменное рассеяние быстрых \mathbb{K}^+ -мезонов на протоне, вероятно, значительно меньше рассеяния без обмена заряда. Это не только подтверждает несколько слабый последний вывод, сделанный в настоящей работе, но и делает его более строгим.

Л И Т Е Р А Т У Р А.

1. Camerini, P.H. Fowler, W.O. Lock and H. Muirhead
Phil. Mag. 41, 413, 1950.
2. O. Piccioni, Report Como Conf., Nuovo Cimento, 1950.
3. G. Bernardini, E.T. Booth and Lederman, Phys. Rev. 83, 1075, 1951.
G. Bernardini, E.T. Booth, L. Lederman and Tinlot, Phys. Rev. 80, 924, 1950.
Phys. Rev. 82, 165, 1951.
4. М.Г. Мощерянов, Н.П. Борарев, Б.С. Герасов, Э.В. Плескаев, С.В. Жидкий
отчет о научно-исследовательских работах, выполн. на кафедре "М", 1951.
5. H. Bradner and B. Rankin, Phys. Rev. 80, 915, 1950.
6. C. Chedester, D. Isaacs, A. Sachs, J. Steinberger, Phys. Rev. 82, 958, 1951.
7. M. Camac, D.R. Corson, R. Littauer, A. Shapiro, A. Silverman,
R. Wilson and W. Woodward, Phys. Rev. 82, 745, 1951.
8. И. Взоров, Директорская работа, УИИ АН ССР, УИИ. № 542
9. В.Б. Борестецкий, И.А. Померанчук, ДАН LXXVIII 125, 803, 1951г.
10. R. E. Marshak, Rev. Mod. Phys. 23, 137, 1951.
11. H. Byfield, J. Kessler and L. Lederman, Bull. Amer. Phys. Soc.
vol. 26, № 6, сф. 22, 1951.
12. K.M. Watson and K.A. Brueckner, Phys. Rev. 83, 1, 1951.
13. R. Wilson and J. Perry, Phys. Rev. 84, 163, 1951.

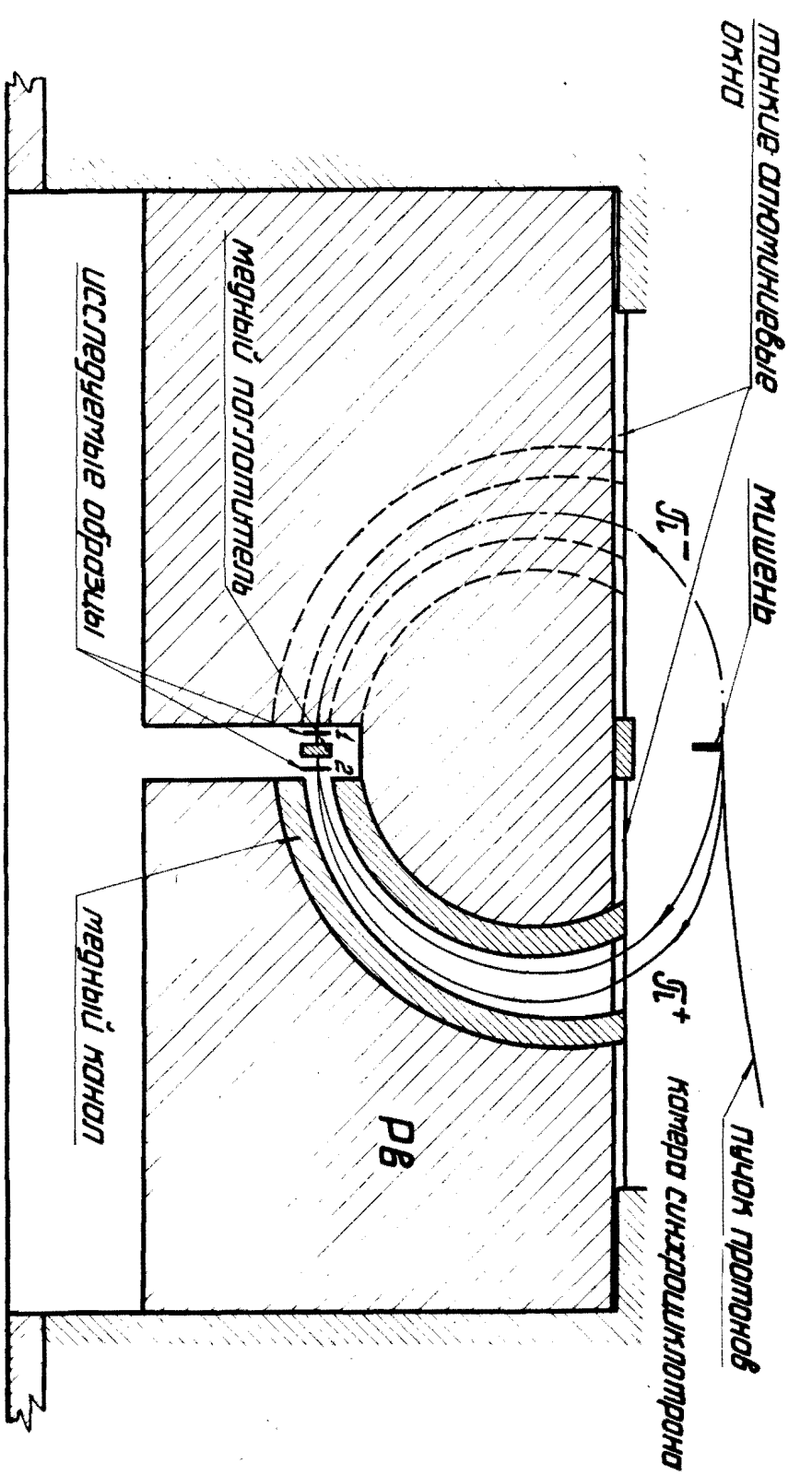


Рис. 1.