

С 346.4в

ЯР, 1967, т. 6, в. 5,  
с. 1010-1014

3/III-67

К-90

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 3132



Б.А. Кулаков, Э.И. Мальцев, П.И. Филиппов,  
О.Н. Цисляк, Э.Н. Цыганов

ИЗМЕРЕНИЕ  $\pi^-$  РАССЕЯНИЯ ВБЛИЗИ  $180^\circ$   
В ПУЧКЕ  $\pi^-$ -МЕЗОНОВ С ИМПУЛЬСАМИ 4:7 Гэв/с

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1967.

P13 - 3132

Б.А. Кулаков, Э.И. Мальцев, П.И. Филиппов,  
О.Н. Цисляк, Э.Н. Цыганов

ИЗМЕРЕНИЕ  $\pi^-$ -РАССЕЯНИЯ ВБЛИЗИ  $180^\circ$   
В ПУЧКЕ  $\pi^-$ -МЕЗОНОВ С ИМПУЛЬСАМИ 4:7 Гэв/с

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

4816/1 ср

В последнее время были получены интересные результаты при изучении рассеяния  $\pi^{\pm}$ -мезонов с энергией несколько Гэв на нуклонах на большие углы /1-4/. Эти эксперименты, актуальные с точки зрения теории комплексных угловых моментов и других моделей асимптотического поведения амплитуды рассеяния, дали также значительную информацию об изобарных состояниях  $\pi$ -мезон-нуклонной системы.

В настоящей работе изложены результаты измерений сечений  $\pi^{\pm p}$ -рассеяния на угол, близкий к  $180^{\circ}$ , в интервале импульсов 4-7 Гэв/с. Измерения были сделаны с использованием электроники и бесфильмовых искровых проволочных камер на синхрофазотроне Объединенного института ядерных исследований в Дубне.

#### Параметры пучка

Эксперимент был проведен на пучках  $\pi^{-}$ -мезонов с импульсами 4,0; 5,0; 6,0 и 7,0 Гэв/с. Импульс  $\pi^{-}$ -мезонов измерялся пороговым черенковским счетчиком с ошибкой  $\pm 1,0\%$ .

Первичные  $\pi^{-}$ -мезоны рождались в камере ускорителя на мишени из латуни. Импульсный анализ пучка осуществлялся магнитом ускорителя и магнитом типа СП-40-Б-1. Первый объектив из двух линз типа МЛ-17 и одной линзы типа МЛ-16 фокусировал пучок на импульсный коллиматор. Расстояние от мишени до импульсного коллиматора было  $\approx 30$  м.

При переходе от одного импульса к другому изменялись:

- 1) положение мишени в камере ускорителя,
- 2) токи в первом объективе и магните СП-40-Б-1,
- 3) энергия первичного пучка протонов в ускорителе.

Средний телесный угол, выделяемый первым объективом, составлял  $4 \cdot 10^{-4}$ .

Интенсивность пучка, используемого в эксперименте, изменялась от  $5 \cdot 10^4$ /цикл при 4 Гэв/с до  $1 \cdot 10^4$ /цикл при 7 Гэв/с. Сброс протонов на мишень происходил в режиме магнитного "стола". Эффективное время сброса равнялось  $\approx 70$  мсек. Расчетный импульсный разброс пучка составлял  $\approx 1,3\%$ .

После импульсного коллиматора (см. рис. 1) пучок фокусировался вторым объективом из двух линз типа МЛ-15 на водородную мишень  $H_2$ . Магнит типа СП-57 служил для компенсации дисперсии пучка. В месте водородной мишени  $H_2$  пучок  $\pi^-$ -мезонов имел размеры на полувысоте:

по горизонтали 25 мм,

по вертикали 35 мм.

Угловая расходимость пучка была  $\pm 0,35^\circ$ .

#### Работа установки и параметры аппаратуры

1. Схема эксперимента представлена на рис. 1. Первичные  $\pi^-$ -мезоны, падающие на водородную мишень  $H_2$ , регистрировались счетчиками  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_4$ , заведенными на совпадения. Протоны отдачи, вылетевшие "вперед", регистрировались счетчиками  $S_5$ ,  $S_6$ ,  $S_7$ . Счетчик  $S_3$ , с отверстием для первичного пучка, служил для регистрации  $\pi^-$ -мезонов, рассеянных "назад". Пороговый черенковский счетчик  $P_1$ , наполненный этиленом, регистрировал  $\pi^+$ -мезоны с импульсом выше 2 Гэв/с и имел давление ниже порога регистрации упруго рассеянных протонов. Счетчик антисовпадений  $A_2$  с отверстием для протонов отдачи служил для уменьшения фона от неупругих событий. Счетчик антисовпадений  $A_3$  размещался на отклоненном в магните М-1 пучке первичных  $\pi^-$ -мезонов, которые прошли водородную мишень  $H_2$  без взаимодействия, и служил для уменьшения как фона от неупругих событий, так и фона случайных совпадений. Для уменьшения фона случайных

совпадений использовался также счетчик антисовпадений  $A_1$ , отгороженный от водородной мишени и счетчика  $S_8$  свинцовой защитой, поглощающей упруго рассеянные  $\pi^-$ -мезоны "назад". Свинцовая защита и счетчик  $A_1$  имели отверстия для первичного пучка. Две искровые камеры ИК-1 с магнитоотражающим съемом информации регистрировали трек  $\pi^-$ -мезона "назад". Импульсы протонов отдачи измерялся с помощью магнитного спектрометра, в который входили магнит типа СП-40-Б-1 и четыре бесфильмовые искровые камеры: ИК-2, ИК-3, ИК-4, ИК-5.

2. Для получения большого телесного угла ( $8 \cdot 10^{-3}$  в системе центра масс) в эксперименте использовались сравнительно большие спцинтилляционные счетчики совпадений и антисовпадений с размерами до  $750 \times 750$  мм<sup>2</sup>. В больших спцинтилляционных счетчиках свет собирался на два фотоумножителя типа ФЭУ-36, импульсы с которых суммировались на сумматоре - разномножителе С-Р (см. рис. 2). Эффективность больших счетчиков слабо зависела от места прохождения частицы и в худшем случае составляла 98%. Средняя по площади эффективность больших счетчиков была равна 98,5%.

Пороговый черенковский счетчик  $\Pi_1$  имел внутренний диаметр 200 мм. Его чувствительность к  $\pi^-$ -мезонам первичного импульса была равна 99,5%.

3. На рис. 2 дана блок-схема электроники, формирующей импульсы для запуска искровых камер. Размножители импульсов Р и сумматоры разномножители С-Р имели следующие параметры: время нарастания импульса 3-4 нсек, длительность импульса - 10 нсек, мертвое время  $\approx$  30 нсек, амплитуда импульса 0,6-0,7 в. Схемы совпадений  $S_1 + S_2 + S_4 - A_1$  (дававшая мониторинный отсчет М),  $M + S_3 + S_5 + S_6 + 2S_7 - A_1 - A_2 - A_3 - A_n$ ,  $M + S_8$ ,  $M + S_9$  были собраны из стандартных модулей  $\sqrt{5}$  и имели разрешающее время 10 нсек. В многоканальной схеме  $M + S_3 + S_4 + S_5 + 2S_7 - A_1 - A_2 - A_3 - A_n$ , дававшей отсчет N, в модуле совпадений вместо диодов Д-403 использовались высокочастотные триоды в диодном включении. Счет совпадений в схеме  $M + S_9$  служил для контроля за наличием водорода в водородной мишени (по выбыванию пучка из мишени). Счет  $M + S_8$  от совпадений монитора и счетчика  $S_8$ , имеющего тонкий пластик 1 мм и установленного на склоне профиля пучка после магнита М-1, регистрировал изменение среднего импульса в канале  $\approx$  1-2% из-за различного рода нестабильностей в момент сброса протонов на внутреннюю мишень уско-

рителя. В эксперименте использовались пересчетные схемы ПС с разрешением 100 нсек. Информация со всех ПС регистрировалась цифropечатающим устройством ЦПМ. Печать осуществлялась в период между циклами ускорителя автоматически после запуска искровых камер, либо по требованию оператора.

4. Импульс запуска со схемы  $M + S_3 + S_5 + S_6 + 2S_7 - A_1 - A_2 - A_3 - A_n$  через схему пропускания подавался на систему запуска искровых камер (рис.3).

Высоковольтные импульсы для искровых камер формировались с помощью тиратронов ТГИ-1-130/10 (рабочие тиратроны) и ТГИ-1-50/5 (считывающие тиратроны для аналоговых камер). Параметры высоковольтных импульсов на электродах камер были следующими: амплитуда -  $5,5 \div 6,0$  кв, передний фронт -  $60 \div 70$  нсек., длительность импульса - 1,0 мсек. При работе камер использовалось электрическое очищающее поле  $50 \div 60$  в. Время памяти камер  $\approx 1,5$  мсек. Задержка от момента прохождения частицы до подачи высоковольтного импульса на электроды камер была равна 350 нсек (150 нсек - кабели и электроника, 200 нсек - система запуска и тиратроны). Камеры наполнялись неон-гелиевой смесью (75% Ne и 25% He).

Работа искровых камер магнитного спектрометра (ИК-2, ИК-3, ИК-4, ИК-5) в общих чертах описана в работе<sup>/8/</sup>. Импульсы с ферритовых матриц аналоговых камер, включенных попарно (ИК-3 - ИК-4; ИК-5 - ИК-6) для измерения углов траектории частицы до и после магнита, подавались на блок амплитудного преобразователя БАП. В БАП происходило преобразование амплитуда-время-счет. Максимальное возможное число отсчетов БАП было равно 256. Полное время преобразования занимало 160 мсек. Импульсы с обеих пар аналоговых камер анализировались в БАП последовательно во времени. Результат фиксировался с помощью двух пересчетных схем с последующей печатью на ЦПМ. Схема управления запуском аналоговых камер дана на рис. 4. Ключ 1 в этой схеме блокировался после первого запускающего импульса и разблокировался через 2 сек. Цифры у основания стрелок на рис. 4 указывают время соответствующих импульсов относительно времени импульса со схемы пропускания. В остальном схема не требует пояснений.

Основные принципы и первые результаты работы камер ИК-1 с магнито-стрикционным съемом информации описаны в работе<sup>/7/</sup>. Камеры были включены для измерения координат частиц. Блок-схема электроники магнито-стрикционных камер представлена на рис. 5.

5. Точность измерения угла поворота траектории частицы спектрометром с аналоговыми искровыми камерами была определена экспериментально без магнитного поля и оказалась равной  $\pm 3$  мрад. Углы поворота ( $\alpha$ ) магнита спектрометра и соответствующие разрешения по импульсу  $\frac{\Delta p}{p}$ , определяемые только точностью измерения камер, даны в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

P, Гэв/с	4	5	6	7
$\alpha$ , мрад	178	131	131	97
$\pm \frac{\Delta p}{p}$ , %	1,7	2,3	2,3	3,1

Разрешение, измеренное экспериментально с включенным магнитом в первичном пучке  $\pi^-$ -мезонов (размер пучка в анализирующем магните 60 мм), оказалось равным:

Т а б л и ц а 2

P, Гэв/с	4	5	6	7
$\pm \frac{\Delta p}{p}$ , %	2,2	3,1	3,1	4,1

Эти данные согласуются с импульсным разбросом в первичном пучке  $\frac{\Delta p}{p} = 1,3\%$ , полученным расчетным путем при проектировании пучка  $\pi^-$ -мезонов. На рис. 6 приведен импульсный спектр первичных  $\pi^-$ -мезонов при 4 Гэв/с.

При проведении эксперимента область в магните СП-40-Б-1, в которой проходили траектории протонов, вылетевших "вперед", имела размеры  $\approx 350 \times 350$  см<sup>2</sup>. При этом начинала сказываться неоднородность магнитного поля в направлении, перпендикулярном оси пучка протонов, что приводило к значительному ухудшению разрешения по импульсу. Влияние неоднородности поля было определено экспериментально по распределению упругих событий на 4 Гэв/с. Окончательное разрешение по импульсу приведено в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Р, Гэв/с	4	5	6	7
$\pm \frac{\Delta p}{p}, \%$	4,5	5,1	5,1	5,8

Координатная точность искровых камер ИК-1 с магнитоотрицательным съемом информации составляла  $\approx 0,8$  мм при расстоянии между камерами 340 мм. Это позволяло измерять угол вылета рассеянного  $\pi^-$ -мезона с точностью  $\pm 2,5$  мрад.

6. Несмотря на наличие в камерах ИК-1 нерабочей площади (цилиндр из пенопласта диаметром 70 мм) в области прохождения первичного пучка, общая фоновая загрузка этих камер была значительной. Так, при работе на пучке 4 Гэв/с число фоновых искр при запуске камер от частицы, прошедшей через нерабочую область, составляло около 60%. Однако при запуске от частиц, прошедших в рабочем объеме камер, эта величина уменьшалась в 3,0 раза. Эта доля неверных отсчетов ("сбой") камер ИК-1 была измерена при разных интенсивностях пучков и в эксперименте изменялась от 6% до 20%. Для искровых камер магнитного спектрометра, не находившихся вблизи первичного пучка, эта доля составляла от 2% до 3%.

Эффективность искровых камер зависела от качества применяемой неон-гелиевой смеси. Общая эффективность искровых камер магнитного спектрометра изменялась в процессе эксперимента от 0,80 до 0,93, общая эффективность камер ИК-1 изменялась от 0,95 до 0,97.

7. В эксперименте использовалась жидководородная мишень  $H_2$  длиной 500 мм. Толщина боковых стенок водородной мишени была равна  $0,3 \text{ г/см}^2$ , стенок по пучку -  $0,15 \text{ г/см}^2$ .

Аппаратура, использовавшаяся в эксперименте, и ее работа более подробно будут описаны в отдельной статье.

#### Обработка данных

Дифференциальное сечение исследуемой реакции вычислялось по формуле:

$$\frac{d\sigma}{d\omega} = \frac{N}{M n \Delta\omega},$$



где  $N$  - число упругих событий,  
 $M$  - число отсчетов монитора,  
 $n$  - число ядер водорода в мишени на см<sup>2</sup>,  
 $\Delta\omega$  - эффективный телесный угол установки.

1. Число упругих событий находилось следующим образом: из всех запусков установки отбирались те, в которых сработали аналоговые камеры, а трек в камерах ИК-1 указывал на событие "из мишени". Распределение отобранных таким образом событий по импульсу дано на рис. 7. Упругие события должны попадать в интервал  $P \pm 2\Delta p$ , где  $P = P_0 + 0,4$  Гэв/с. Здесь  $P_0$  - импульс первичных  $\pi^-$ -мезонов,  $2\Delta p$  - удвоенная полуширина распределения событий по импульсу, взятая из табл. 3. Границы упругого пика, определенные таким образом, указаны на рис. 7 вертикальными линиями.

В число, полученное вышеуказанным способом, вводились поправки:

- а) на неупругие события,
- б) на случайные совпадения отсчетов аналоговых камер в "упругий интервал" с событием в камерах ИК-1 "из мишени",
- в) на неэффективность камер,
- г) на "сбой" в камерах.

Для 4 Гэв/с вклад неупругих событий был  $\approx 3\%$ , для других импульсов этим вкладом можно было пренебречь.

Полное число запусков установки менялось от 0,35 на  $10^6$  отсчетов монитора при 5 Гэв/с до  $1,0/10^6$  при 7 Гэв/с. При наборе статистики на 4 Гэв/с из-за менее совершенной геометрии, чем на рис. 1, число запусков было значительным ( $1,0/10^6$ ). В геометрии, соответствующей рис. 1, число запусков на 4 Гэв/с было равно  $0,13/10^6$ . Основным источником ложных запусков являлось, по-видимому, совпадение упругих и неупругих взаимодействий  $\pi^-$ -мезонов в свинце вне мишени с фоновым запуском счетчика  $S_3$ . Фон случайных совпадений был равен 7,8 и 9% для 4,5 и 6 Гэв/с соответственно и 15 % для 7 Гэв/с. Для расчета случайных совпадений были использованы данные измерений с пустой мишенью на 4 и 6 Гэв/с (в этих измерениях исключались неупругие события из мишени).

Полная эффективность срабатывания всех искровых камер менялась от 0,76 до 0,88, а эффективность получения при этом правильного отсчета при учете "сбоев" составляла  $0,76 \div 0,92$ .

2. В мониторный отсчет вносилась поправка на примесь в пучке  $\pi^-$ -мезонов других частиц. Основной вклад давала примесь  $\mu^-$  и  $e^-$ , которая изменялась от 7% при 4 Гэв/с до 5% при 7 Гэв/с.

3. Поправка к плотности жидкого водорода, равной  $0,071 \text{ г/см}^3$ , из-за испарения водорода в мишени была меньше 0,5%.

4. Для каждого импульса на ЭВИМ рассчитывался эффективный телесный угол установки. При расчете телесного угла методом Монте-Карло учитывались: форма и угловое распределение пучка на водородной мишени  $\text{H}_2$ , распределение по импульсу первичных  $\pi^-$ -мезонов, распад  $\pi^-$ -мезонов, ядерное взаимодействие первичных и вторичных частиц в водородной мишени и стенках счетчиков.

Аппаратура была установлена таким образом, чтобы максимум телесного угла приходился на импульс между 5 и 6 Гэв/с. Поэтому телесный угол мало менялся при переходе от одного импульса к другому и составлял  $8 \cdot 10^{-3}$  стер. в с.п.м. Средний угол рассеяния в с.п.м. был равен  $\approx 5,3 \cdot 10^{-3}$  рад. Учет ядерного взаимодействия давал поправочный коэффициент 1,25.

5. Таким образом, полный поправочный коэффициент, на который умножалось экспериментально полученное отношение  $\frac{N}{M}$ , был равен 2,0. Основную ошибку в определении величины этого коэффициента вносила неточность в определении случайных совпадений, что приводило к дополнительной ошибке в сечении  $\pm 10\%$ .

### Результаты

На разных импульсах через установку было пропущено следующее число  $\pi^-$ -мезонов: 4 Гэв/с -  $7,30 \cdot 10^8$ , 5 Гэв/с -  $3,32 \cdot 10^8$ , 6 Гэв/с -  $2,46 \cdot 10^8$ , 7 Гэв/с -  $6,70 \cdot 10^7$ .

Полученные в эксперименте сечения представлены в табл. 4 и на рис. 8, на котором также приведены данные из работ <sup>1,3/</sup> при импульсах выше 3 Гэв/с.

Т а б л и ц а 4

Р, Гэв/с	4	5	6	7
$\frac{d\sigma}{d\omega}$ мкбарн/стер.	$14,9 \pm 1,6$	$4,1 \pm 1,0$	$4,6 \pm 1,2$	$4,6 \pm 2,4$

Ошибки, указанные в табл. 4, являются статистическими. Сечение при 4 Гэв/с хорошо согласуется с данными, полученными в работе<sup>/3/</sup>. Разница в сечении при 5 Гэв/с, если принять 8 мкбарн средним сечением в интервале  $5,0 \pm 0,1$  Гэв/с в работе<sup>/3/</sup>, нам неясна (мы предполагаем, согласно работе<sup>/1/</sup>, что в  $\pi^- p$ -рассеянии нет узкого пика в угловом распределении). Данные на 6 и 7 Гэв/с получены впервые. Ход сечения в области импульсов 4-7 Гэв/с в общих чертах не противоречит предсказаниям теории комплексных угловых моментов.

В заключение авторы выражают благодарность А.С. Гаврилову, И.А. Голутвину, Ю.В. Заневскому, С.С. Кириллову, А.Д. Кириллову, М.Ф. Лихачеву и А.Л. Любимову за помощь, оказанную при подготовке и проведении эксперимента, коллективу криогенного отдела за обслуживание водородной мишени и бесперебойное обеспечение жидким водородом.

#### Л и т е р а т у р а

1. J.Orear, R.Rubinstein, D.B.Scarl, D.H.White, A.D.Krisch, W.R.Frisken, A.L.Read, H.Ruderman. Large angle pion-proton elastic scattering at high energies. Направлено в Phys. Rev.
2. H.Brody, R.Lanza, R.Marshall, W.Selove, M.Shochet, R.Van Berg. Measurement of  $\pi^\pm p$  Backward Scattering at 4 to 8 Gev/c. Направлено в Phys. Rev. Letters.
3. S.W.Kornanyos, A.D.Krisch, J.R.O'Fallon, K.Ruddick. Phys. Rev. Lett., vol. 16, N 16, p.709 (1966).
4. А.С. Вовенко, Б.Н. Гуськов, Т. Добровольский, М.Ф. Лихачев, А.Л.Любимов, Ю.А. Матуленко, В.С. Ставинский. Препринт ОИЯИ, Р1-3008, Дубна, 1966.
5. И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский, ПТЭ, № 5, стр. 14 (1964).
6. И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский, Б.А. Кулаков, Э.Н. Цыганов. ПТЭ, №5, стр. 66 (1966).
7. А.С. Гаврилов, И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский, С.С. Кириллов, Б.А. Кулаков, Л.Г. Макаров, Э.Н. Цыганов. Препринт ОИЯИ, 2398, Дубна, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 января 1967 г.

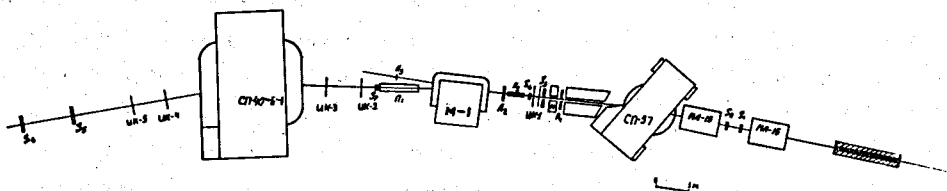


Рис. 1. Схема расположения экспериментальной установки в измерительном павильоне. Штриховкой обозначен импульсный коллиматор.

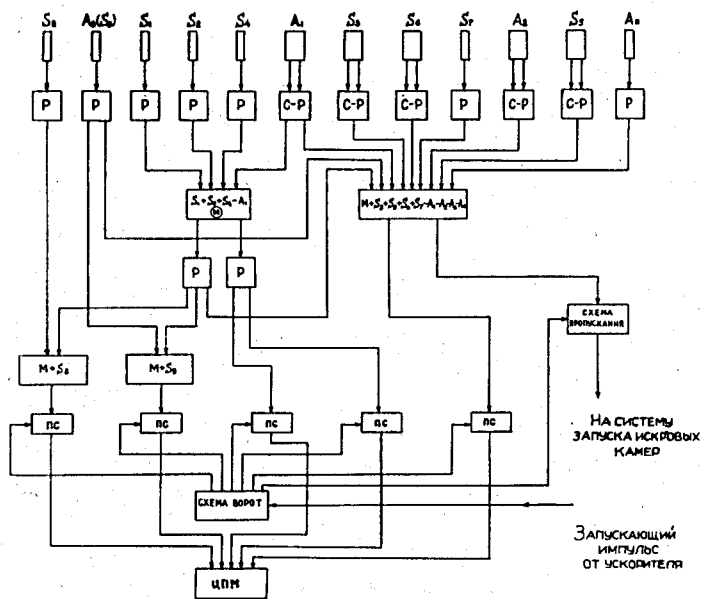


Рис. 2. Блок-схема формирования запускающего импульса для искровых камер.

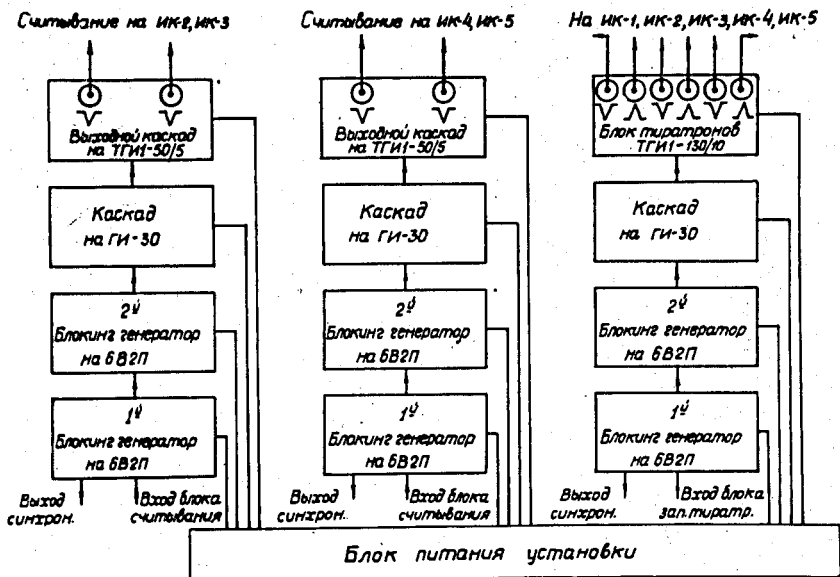


Рис. 3. Схема запуска и подачи высоковольтных импульсов на искровые камеры.

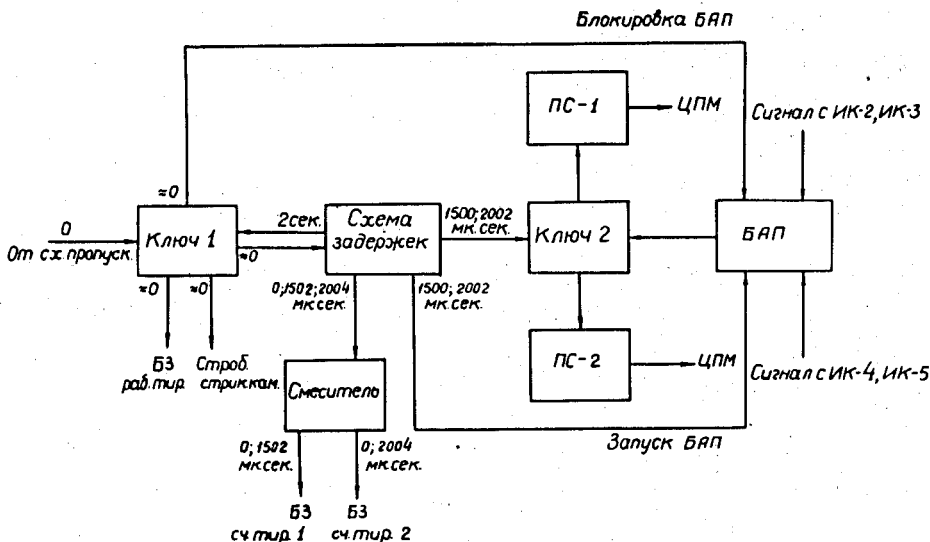


Рис. 4. Схема съема информации с аналоговых камер.

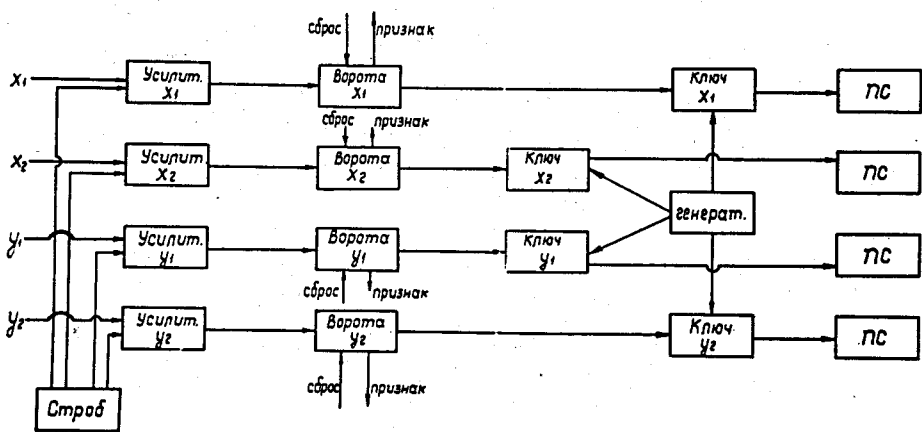


Рис. 5. Схема съема информации с магнитострикционных камер.

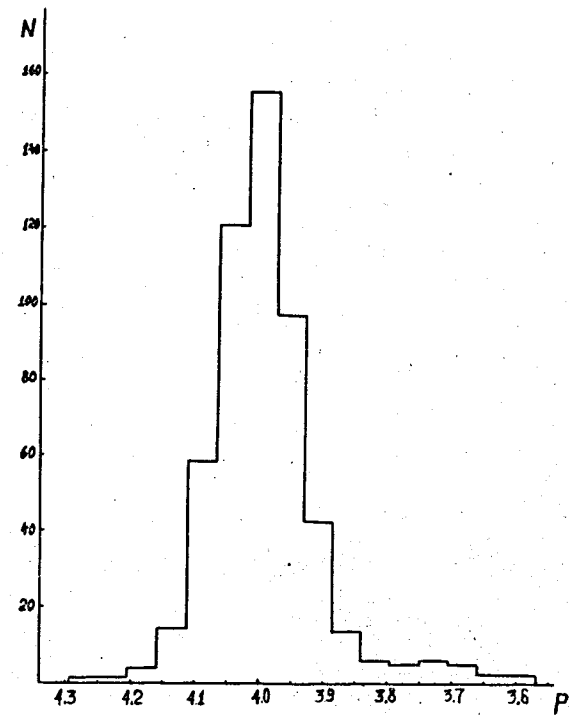


Рис. 6. Импульсное распределение первичного пучка  $\pi^-$ -мезонов с импульсом  $p = 4,0$  Гэв/с.

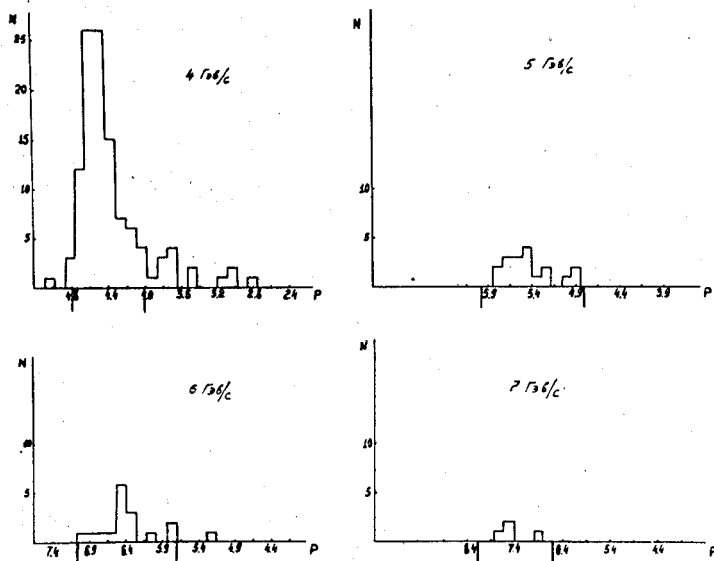


Рис. 7. Импульсное распределение событий, удовлетворяющих критериям отбора. Вертикальные линии вниз от оси абсцисс указывают "границы" упругого пика.

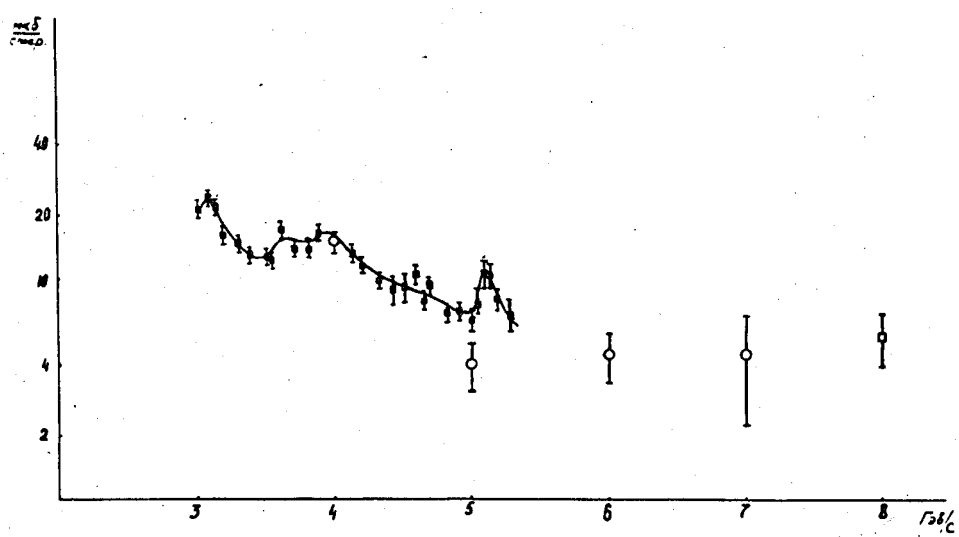


Рис. 8. Дифференциальное сечение упругого  $\pi^- p$ -рассеяния на угол  $180^\circ$  в с.д.и. Сплошные прямоугольники - данные из работы <sup>7/3/</sup>, точка на 8 ГэВ/с - из работы <sup>7/17/</sup>, кружками обозначены данные настоящего эксперимента.