

H-602

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 8320

НИГМАНОВ
Тургун Сабитович

ВОПРОСЫ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАДИУСА ПИОНА

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

НИГМАНОВ
Тургун Сабитович

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Э.Н.Цыганов.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

К.Д.Толстов,

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

И.М.Иванченко.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт физики высоких энергий, г.Серпухов.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1974 г.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1974 г.

на заседании Учёного совета Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Адрес: г.Дубна, Московской области, конференц-зал ЛВЭ ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ.

Учёный секретарь Совета

М.Ф.Лихачев

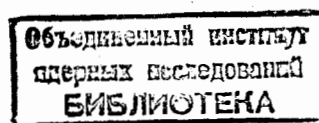
М.Ф.ЛИХАЧЕВ

ВОПРОСЫ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАДИУСА ПИОНА

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Прогресс в развитии ускорительной техники и методики физического эксперимента делает возможным в настоящее время изучение структуры нестабильных элементарных частиц. Одним из интереснейших исследований является изучение структуры пиона.

В данной диссертации рассмотрены вопросы математического обеспечения эксперимента по Π -в рассеянию при энергии 50 ГэВ, решение которых позволило определить радиус пиона.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и двух приложений.

В первой главе содержится обзор работ по структуре пиона. Электромагнитная структура пиона в теории элементарных частиц описывается электромагнитным формфактором $F_{\pi}(t)$, где t - инвариантный передаваемый 4-импульс^{/1,2/}. Поведение $F_{\pi}(t)$ предсказывается моделью векторной доминантности^{/3-7/}. Модель предполагает наличие определяющей роли векторных мезонов в формфакторе сильно взаимодействующих частиц. Согласно этой модели, формфакторная функция Π -мезона имеет максимум в области t вблизи массы ρ -мезона. Производная $F'_{\pi}(t=0)$ определяется также только величиной массы доминирующей векторной частицы. Экспериментальная проверка этой идеи при $t > 4m_{\pi}^2$ (m_{π} - масса пиона) была выполнена и получила хорошее подтверждение в исследованиях распадов ρ -и ω -мезонов^{/8/}, родившихся в Пр-соударениях, и в опытах на встречных электрон-позитронных пучках^{/9-15/}. Было установлено, что в области передаваемых импульсов t меньше 1 (ГэВ/с)² сечение процесса аннигиляции, пропорциональное $|F_{\pi}|^2$, имеет резонансный характер. Положение максимума распределения событий соответствует массе ρ -мезона. На основе анализа этих результатов Сакурай сделал вывод, что радиус Π -мезона не должен существенно от-

личаться от величины 0,62 ферми^{6,7/}. Ограничениям на величину радиуса пиона посвящены и другие теоретические работы^{16-22/}, использующие метод дисперсионных соотношений. Опытная проверка предсказаний о величине радиуса пиона явилась целью многих экспериментов.

Простейшим для теоретической интерпретации процессом, в котором определяется радиус пиона, является реакция упругого рассеяния пиона на электроне (позитроне). Для изучения $F_{\pi}(t)$ в опытах упругого рассеяния необходимо пользоваться пучками пионов высоких энергий (выше 40 ГэВ). При меньших энергиях точность измерений существенно ограничивается аппаратурными погрешностями. Например, в опыте по упругому π -е рассеянию, выполненном при энергии первичных пионов ~ 20 ГэВ, получена верхняя граница радиуса π -мезона - меньше 3,3 ферми^{23/}. При энергиях меньше 20 ГэВ получены ещё более грубые оценки^{24-26/}.

Современные ускорители (Серпухов, СССР и Батавия, США), имеющие пучки пионов высоких энергий, позволяют осуществить более точные опыты по прямому измерению формфактора π -мезона при $t < 0$ ^{27/}.

Измерения $F_{\pi}(t)$ при $t < 0$ можно также выполнить в опытах по неупругому электрон-протонному рассеянию^{28-32/}. В этих опытах по изучению электророжения π -мезона необходимо из ряда возможных диаграмм выделить одну, которая описывает процесс упругого рассеяния электрона на виртуальном пионе. Это связано с определенными трудностями, которые возникают и в других аналогичных опытах, например, в экспериментах по обратному электророжению пионов^{33-35/}.

Формфактор π -мезона можно также изучать, исследуя упругое рассеяние положительных и отрицательных пионов на ядре He^{36-38/}.

Однако этот метод не может претендовать пока на хорошую точность.

Во второй главе диссертации рассмотрены вопросы оценки возможностей предполагаемой экспериментальной установки по измерению электромагнитного размера π -мезона путем изучения процесса упругого π -е рассеяния при энергии первичного пиона 50 ГэВ. Оценки были выполнены с помощью моделирования опыта по упругому π -е рассеянию методом Монте-Карло, в котором были учтены кинематика процесса, дифференциальное сечение и предполагаемые параметры установки и пучка.

Дифференциальное сечение рассеяния точечного π -мезона на электроне в зависимости от переменной q^2 ($q^2 = -t$) описывается формулой

$$\frac{d\sigma_r}{dq} = K(q^{-3} - q^{-1}q_{\max}^{-2}); \quad (1)$$

где $K=520,98$ мкбарн (МэВ/с)², q - переданный электрону 4-импульс, q_{\max} - максимальный переданный 4-импульс (при данной энергии пучка $q_{\max} = 192$ МэВ/с). Сечение (1), представленное в зависимости от E_e - энергии электрона отдачи, впервые получено Баба^{39/}. С учётом формфактора $F_{\pi}(q^2)$ сечение (1) имеет вид

$$\frac{d\sigma_r}{dq} = \frac{d\sigma_r}{dq} F_{\pi}^2(q^2). \quad (2)$$

Для случая $\hbar/q > r_{\pi}$ можно использовать разложение в ряд $F(q^2)$:

$$F_{\pi}(q^2) = 1 - \frac{1}{6} \langle r_{\pi}^2 \rangle q^2 + \dots, \quad (3)$$

где $\langle r_{\pi}^2 \rangle$ - среднеквадратичный радиус пиона. В расчётах^{27/} было принято $r_{\pi} = 0,7$ ферми. При моделировании были использованы следую-

щие основные параметры предполагаемой установки: а) угловое разрешение $\sim 0,2$ мрад, импульсное - 0,5%, б) охватываемый интервал передаваемых импульсов 160-192 МэВ/с, в) размер пучка на мишени $3 \times 3 \text{ см}^2$, угловая расходимость - не более 1,5 мрад, импульсный разброс - 0,5%.

Путём моделирования опыта по упругому Π -е рассеянию было оптимизировано расположение аппаратуры, решен вопрос о необходимой статистике, а также определена зависимость ошибки извлекаемого радиуса от аппаратурных и других погрешностей. В результате выбрана геометрия, обладающая высокой эффективностью ($\sim 70\%$) регистрации событий с большими передаваемыми импульсами. Минимальная требуемая статистика была выбрана равной 3000 событий упругого Π -е рассеяния. В таблице I показаны результаты оценки вклада аппаратурных и других погрешностей в ошибку радиуса r_{Π} .

Таблица I

	$b_{\text{стат}}$ ($N=3000$)	$b_1=1\%$	$b_2=0,1\%$	$b_3=0,1\%$	$b_4=1\%$
Ошибка в r_{Π} (ферми)	0,05	0,02	0,025	0,014	0,025

Здесь $b_{\text{стат}}$ - статистическая ошибка при зарегистрированных 3000 событий, b_1 - случайная ошибка в измерении первичного и вторичного пиона (1%), b_2 - систематическая ошибка в измерении импульса первичного пиона (0,1%), b_3 - систематическая ошибка в измерении импульса вторичного пиона (0,1%), b_4 - систематическая ошибка в абсолютной нормировке измеряемого сечения ($\sim 1\%$). Из этих расчётов следует, что если реальные условия эксперимента не будут значительно отличаться от расчетных, электромагнитный радиус Π -мезона возможно будет измерить с точностью около $\pm 0,1$ ферми.

Для измерения радиуса Π -мезона была смонтирована экспериментальная установка^{/40/}, которая включала водородную мишень^{/41/}, 18 искровых^{/42/} и 2 пропорциональных^{/43,44/} камер, анализирующий магнит^{/45/} и систему запуска из сцинтилляционных и черенковских^{/46/} счетчиков. Установка работала на линии с ЭВМ HP 2116B^{/47/}.

Спектрометр захватывал интервал передаваемых импульсов (120 - 192) МэВ/с, угловая точность составляла $\pm 0,15$ мрад, точность измерения импульсов $\pm 0,5\%$. Параметры пучка были несколько отличны от планированных: импульс 50 ГэВ/с, размер 5,5 см по X и 4 см по Y при импульсном разбросе $\pm 1\%$, интенсивность 4×10^5 частиц за импульс ускорителя. Скорость набора статистики при оптимальной работе установки - около 300 событий Π -е рассеяния в час.

В третьей главе описано математическое обеспечение эксперимента на линии с ЭВМ HP 2116B. Объем оперативной памяти ЭВМ 32768 16-разрядных слов, время выполнения одной операции - 1,6 мксек^{/48/}. Вычислительная машина была обеспечена диском, двумя магнитофонами, телетайпом, печатающим устройством, дисплеем, устройствами считывания и перфорации бумажных лент, управляющей панелью. Информация об одном событии занимала 340 машинных слов.

Систему программ в эксперименте^{/49,50/} можно условно разделить на три группы. Первая группа программ осуществляла организацию работы всей системы в целом и выполняла прием и запись экспериментальных данных на магнитную ленту. Вторая группа программ производила частичную обработку принимаемого материала и представляла результаты на дисплее и на печатающем устройстве. Третья группа программ была предназначена для решения задач специального назначения. Программы обработки экспериментального материала позволили выполнить контроль работы всех элементов аппаратуры, а именно:

а) искровых и пропорциональных камер (проверка реперных отсчетов, эффективностей камер, точностей, частоты искр в событиях и т.д.);

б) сцинтилляционных счетчиков и быстрой электроники (представлением данных о работе каждого фотоумножителя, отсчетов мониторинговой схемы и других контрольных включений, частоты запусков установки по отношению к первичным пионам);

в) ливневых черенковских счетчиков (распределением событий по отсчетам амплитудного преобразователя, калибровкой по электронам, которые идентифицировались по углу вылета и анализировались по импульсу искровыми камерами).

Качество материала и работу спектрометра в целом можно было оценить по частоте восстанавливаемых событий Π -е рассеяния и по распределению суммы импульсов двух вторичных частиц, позициям точки рассеяния в трех проекциях, компланарности и другим распределениям.

Информация о работе аппаратуры и о результатах обработки событий удобным образом представлялись на дисплее и с помощью печатающего устройства. Наиболее наглядным для общего контроля камер было представление на дисплее графической топологии событий. Полная информация, выдаваемая ЭВМ в конце каждой экспозиции, содержала паспортные данные сеанса и 190 одномерных и одну двумерную гистограмму.

За время рабочей экспозиции экспериментальный материал в объеме $2,5 \times 10^6$ триггеров был записан на 110 магнитных лентах западного стандарта.

В последующей обработке материалов эксперимента геометрическими и кинематическими критериями^{/51,52/} отбора случаев Π -е рассеяния было выделено около 40000 событий. Для определения дифференциального сечения было необходимо ввести поправку на неидеальность аппаратуры и на недостатки программы поиска событий, из-за которых часть случаев могла быть утеряна.

Четвертая глава диссертации посвящена определению методом Монте-Карло абсолютной эффективности спектрометра к регистрации Π -е событий^{/53,54/}. В первой части данной главы обсуждаются те воп-

росы работы координатных детекторов, которые оказались существенными в реальных условиях опыта при определении эффективности спектрометра. Необходимая для этого информация была получена на основании анализа событий, зарегистрированных в эксперименте. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы, использованные в дальнейшем при моделировании работы координатных детекторов.

1) Эффективность искрового промежутка и вероятность регистрации магнитострикционного сигнала зависит от числа фоновых треков, прошедших через камеру. Особенно сильно эта зависимость проявляется в искровых камерах малого размера ($250 \times 250 \text{ мм}^2$),

2) Эффективность искровой камеры по отношению к одновременной регистрации двух близких треков существенно падает с уменьшением расстояния между ними в одной из проекций.

3) Для учета корреляций, связанных с изменениями условий работы искровых камер, такими, как измерение качества рабочей газовой смеси, напряжения высоковольтного питания искровых камер и т. д., можно разбить рабочую статистику на отдельные группы в соответствии с отношением эффективностей поиска событий двумя программами различной степени сложности. В дальнейшем при моделировании работы спектрометра было использовано 11 таких групп.

4) По данным о фоновой загрузке пропорциональных камер удается аккуратно восстановить реальную интенсивность и среднее число фоновых треков на один запуск искровых камер в каждом отдельном сеансе. Распределение числа фоновых треков близко к пуассоновскому.

Для определения эффективности спектрометра методом Монте-Карло разыгрывались акты рассеяния Π -мезонов на электронах, воспроизводились траектории частиц, участвующих в реакции. При этом учитывалось дифференциальное сечение (формула I) процесса, многократное рассеяние частиц, радиационные потери энергии электрона, геометрия установки и системы счетчиков, участвующих в запуске, реальные парамет-

ры первичного пучка. В соответствии с фоновыми условиями, имевшими место в эксперименте, разыгрывались и восстанавливались траектории фоновых треков и фоновые искры в спектрометре. Затем моделировалась работа детектирующей аппаратуры. В результате на магнитную ленту записывалась координатная информация, соответствующая реальным данным, регистрируемым в эксперименте. Затем эта информация обрабатывалась теми же самыми программами геометрического и кинематического восстановления событий, которые были использованы для обработки экспериментальных данных. Отношение числа событий, найденных на этом генерированном материале, к их полному числу дает величину эффективности спектрометра. Эта эффективность зависит как от качества работы установки, так и от качества программ, разработанных для поиска и идентификации событий. Сравнение характеристик реальных и генерированных событий позволило уточнить параметры моделирующей программы.

При генерировании событий вся экспериментальная информация была разбита на отдельные группы. Для моделирования каждой группы использовались исходные данные, полученные по этой группе реальных событий. Генерирование производилось для различных значений среднего числа фоновых треков в спектрометре — λ в диапазоне от 0 до 1,6 с шагом 0,1. В результате обработки этого материала программами поиска P -е случаев определялась эффективность установки при фиксированном значении фоновой загрузки. Значения эффективностей затем фитировались зависимостью $\epsilon(\lambda) = A + B\lambda + C\lambda^2$, и для каждого сеанса из данной группы определялась эффективность спектрометра по индивидуальному значению λ в этом сеансе. Для определения средней эффективности спектрометра в эксперименте данные по всем сеансам были взвешены в соответствии со статистикой мониторинжных отсчетов в каждом сеансе. Полученная таким образом эффективность спектрометра оказалась равной 0,94.

По нашим оценкам, систематическая ошибка в определении этой величины составляет около 0,15(1- ϵ), т.е. равна 0,009.

Зависимость эффективности спектрометра от среднего числа фоновых треков для одной из типичных групп статистики приведена на рисунке I. Сплошной линией указаны фитированные данные для наиболее эффективной программы поиска событий, пунктирной — для менее эффективной программы. Из рисунка видно, что эффективность спектрометра падает с увеличением фоновой загрузки. Однако даже при отсутствии фоновой загрузки эффективность не достигает 100%, что связано с потерей событий из-за мертвого времени съемных датчиков в искровых камерах третьего блока^{/42/}.

Нами было исследовано также поведение эффективности спектрометра в зависимости от переданного импульса q^2 .

Распределение по передаваемому импульсу свыше 40 000 событий P -е рассеяния, выделенных в данном опыте, было исправлено также и на другие эффекты, учитывающие погрешности аппаратуры, условия проведения опыта, на фоновые процессы и пр. Всего было рассмотрено 26 поправок^{/55,56/}, из них 14 представлены как зависящие от q^2 и 12 — как независимые. В результате этих расчетов было вычислено экспериментальное дифференциальное сечение $d\sigma_T/dq$.

Дифференциальное сечение для точечного пиона $d\sigma_T/dq$ было вычислено в работе^{/57/} с учетом реальных условий нашего эксперимента.

Формфакторы пиона $F_{\pi}^2(q^2)$ были получены путем деления измеренного нами сечения $d\sigma_T/dq$ на вычисленное $d\sigma_T/dq$. Таким образом были определены формфакторы $|F_{\pi}|^2$ для передаваемых импульсов от 0,0138 до 0,0353 (ГэВ/с)² /56/. Формфакторы аппроксимированы кривой вида

$$|F_{\pi}|^2 = \frac{N}{(1 + Aq^2)^2}, \quad (4)$$

которая совпадает с формулой, следующей из простой ρ -доминантной модели. В процессе фитирования формфакторов получен следующий результат:

$$\langle r_{\pi}^2 \rangle = (0,61 \pm 0,15) F^2 \quad (5)$$

Приведенная ошибка является полной, доминирующий вклад в нее вносит систематическая погрешность. Статистическая ошибка равна $0,03F^2$.

Сравнение результата (5) со значением радиуса, ожидаемым по модели векторной доминантности, дает

$$\langle r_{\pi}^2 \rangle / \langle r_{\text{DOM}}^2 \rangle = 1,54 \pm 0,34 \quad (6)$$

Таким образом, среднеквадратичный радиус π -мезона, определенный в эксперименте по упругому π -е рассеянию при энергии первичного пиона 50 ГэВ, в пределах полутора стандартных отклонений согласуется с величиной, ожидаемой по модели доминантности ρ -мезона в формфакторе пиона.

На рисунке 2 вместе с результатами измерений F_{π} в реакциях по электроррождению пионов помещены две точки из двадцати двух, полученные в нашем опыте при переданных импульсах 0,0190 и 0,0353 (ГэВ/с)². Из рисунка 2 можно сделать вывод, что наши результаты в пределах ошибки согласуются с поведением формфактора π -мезона, следующим из реакций электроррождения пионов при сравнительно больших передаваемых импульсах /29-32/.

Пояснения к процедуре вычисления формфакторов, их аппроксимация и обсуждение результатов составляют содержание пятой главы диссертации.

Основные результаты, полученные в диссертации, можно кратко сформулировать следующим образом.

1) На этапе проектирования опыта было выполнено моделирование процесса упругого π -е рассеяния, с помощью которого были решены три следующих вопроса: а) оптимизация расположения аппаратуры; б) вопрос о необходимой статистике π -е событий; в) зависимость ошибки радиуса от аппаратурных и других погрешностей предполагаемой установки. В результате расчетов сложилось определенное представ-

ление о требуемой аппаратуре и минимальной статистике, необходимой для того, чтобы измерить радиус с точностью 0,1 ферми.

2) При подготовке и проведении рабочей экспозиции установки были разработаны и использованы "он-лайн"-программы для ЭВМ HP2116B. Программы предусматривали выполнение контроля работы следующих элементов установки: а) искровых и пропорциональных камер, б) сцинтилляционных счетчиков и быстрой электроники, в) черенковских счетчиков полного поглощения. Программа поиска событий π -е рассеяния, работавшая во время между циклами ускорителя, давала ценную информацию о работе как отдельных узлов установки, так и о ходе эксперимента в целом.

3) На этапе обработки полученного материала методом Монте-Карло определена абсолютная эффективность спектрометра к регистрации π -е событий. Были определены характеристики детекторов, восстановлены истинные фоновые условия опыта, смоделирован рассматриваемый процесс с учетом работы искровых и пропорциональных камер и многих других эффектов. Эффективность спектрометра оказалась равной 94%.

4) Из 40 тысяч событий π -е рассеяния с учетом необходимых поправок впервые в эксперименте такого типа был вычислен среднеквадратичный электромагнитный радиус π -мезона, значение которого не противоречит ожидаемой теоретической величине и согласуется с результатами других экспериментов.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /27, 49, 50, 53, 54, 56/, а также доложены на Советании по программированию и математическим методам решения физических задач (Дубна, 1973) и на XVII Международной конференции по физике высоких энергий (Лондон, 1-10 июля 1974).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С.Д.Дрелл, Ф.Захариазен. Электромагнитная структура нуклонов. Перевод с английского, под редакцией В.С.Барашенкова. Москва, 1962.
2. П.С.Исаяв. Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра. Том 2 (1971), 69.
3. Дж.Сакураи. Токи и мезоны. Перевод с английского, под редакцией Л.Л.Енковского. Москва, Атомиздат, 1972.
4. Электромагнитные взаимодействия и структура элементарных частиц. Сборник статей, переведённых с английского, под редакцией А.М.Балдина. Издательство "Мир", Москва, 1969.
5. G.Gounaris and J.Sakurai. Phys.Rev.Lett., 21(1968)244.
6. C.F.Cho, J.J.Sakurai. Lettere al Nuovo Cimento, 2(1971)7.
7. J.J.Sakurai. Generalized vector dominance, UCLA/72/TEP/63.
8. M.N.Khachatryan et al. Phys.Lett., 24B (1967), 349.
9. В.Л.Ауслендер и другие ЯФ, Т9 (1969), II4;
В.Е.Балакин и другие. Phys. Lett., 41B (1972), 205.
10. D.Benaksas et al. Phys. Lett., 39B(1972)289.
11. V.Silvestrini. International Conference on High Energy Physics, Chicago - Batavia, v4(1972).
12. M.Bernardini et al. Phys. Lett., 44B(1973)393.
13. M.Bernardini et al. Phys. Lett., 46B(1973)261.
14. G.Barbiellini et al. Lettere al Nuovo Cimento, 6(1973)557.
15. R.Schwitters. Proceedings of Summer Institute on Particle, SLAC - 167, v1, July, 1973.
16. Z.Ajduk, L.Lukaszuk. TH.1505 - CERN, June, 1972.
17. D.N.Levin, S.Okubo. Phys. Rev., D6(1972)3149.
18. Б.В.Гешкенбейн. ЯФ, 2 (1969), I282.
19. I.Rasziller. Lettere al Nuovo Cimento, 2(1971), 349.
20. Дао Вонг Дык, Нгуен Ван Хью. Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра, т.2, вып.3, стр.535, Москва, Атомиздат, 1972.
21. D.N.Levin, V.S.Mathur, S.Okubo. Phys. Rev., D5(1972)912.
22. V.Baluni. Preprint EFI-TF-7(1970).
23. D.G.Cassel. Thesis, Princeton University, Tech.Report, 37, 1965.
24. F.C.Crowford. Phys. Rev., 117(1960)1119.
25. В.Г.Гришин, Э.П.Киятвенев, Му Цзынь. ЯФ, 2 (1965), 886.
26. I.Allan et al. Nuovo Cimento, 32(1964)1144.
27. Ю.Д.Бардин и другие. ОИЯИ, Е1-4786, Дубна, 1969.
28. William R.Frazer. Phys. Rev., 155(1959), 1763.
29. C.N.Brown, C.R.Canizares, W.E.Cooper, et al.
Phys. Rev., D8(1973)92.
30. C.J.Bebek, C.N.Brown, H.Herzlinger et al.
Phys. Rev., D9(1974)1229.
31. C.Driver, K.Heinloth, K.Hohne, G.Hofmann et al.
Phys. Lett., 35B(1971)77.
32. A.Sofair, J.Allison, B.Dickinson et al.
Nucl. Phys., B42(1972)369.
33. Ю.К.Акимов и другие. ЯФ, I3(1971), 748.
34. С.Ф.Бережнёв. Материалы XVI Международной конференции по физике высоких энергий. Батавия, том 2, стр.113, 1972.
35. С.Ф.Бережнёв, А.В.Дамьянов, А.В.Куликов, А.В.Купцов и другие.
ЯФ, I7 (1973), 85.
36. M.M.Sternheim, R.Hofstadter. Nuovo Cimento, 32(1965)1854.
37. R.A.Christensen. Phys. Rev., D1(1970)1469.
38. E.Nichituu, Yu.A.Shcherbakov. JINR, E2-6982, Dubna, 1973.
39. Б.Россия. Частицы больших энергий. Перевод с английского, под редакцией С.З.Бельянского, Москва, 1955, стр.30.

40. G.T.Adylov et al. JINR, E13-6749, Dubna, 1972.
41. Ю.Т.Борзаунов и другие. Сообщения ОИЯИ, 8-5418, Дубна, 1970.
42. G.T.Adylov et al. JINR, E13-6658, Dubna, 1972.
43. Yu.V.Zanevsky et al. Nucl. Instr. and Meth., 94(1971), 233.
44. Yu.V.Zanevsky et al. Nucl. Instr. and Meth., 100(1972), 481.
45. W.Gajewski et al. JINR, E13-6659, Dubna, 1972.
46. G.T.Adylov et al. JINR, E1-6976, Dubna, 1973.
47. Z.Guzik et al. JINR, E1-5818, Dubna, 1971.
48. A Pocket Guide to Hewlett-Packard Computers, Palo Alto, California, 94306.
49. G.T.Adylov et al. JINR, E1-6907, Dubna, 1973.
50. G.T.Adylov et al. JINR, E1-6908, Dubna, 1973.
51. Г.Т.Адьялов и другие. ОИЯИ, I-8011, Дубна, 1974.
52. Г.Т.Адьялов и другие. ОИЯИ, I-8012, Дубна, 1974.
53. Г.Т.Адьялов и другие. ОИЯИ, I-8105, Дубна, 1974.
54. Г.Т.Адьялов и другие. ОИЯИ, I-8123, Дубна, 1974.
55. Г.Т.Адьялов, А.С.Водопьянов, Т.С.Нигманов, Э.Н.Цыганов. ОИЯИ, PI-8297, Дубна, 1974.
56. G.Adylov et al. JINR, E1-8047, Dubna, 1974;
G.Adylov et al. Phys. Lett., 51B(1974)402.
57. D.Yu.Bardin, G.V.Micelmacher, N.M.Shumelko.
JINR, E2-6235, Dubna, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 октября 1974 г.

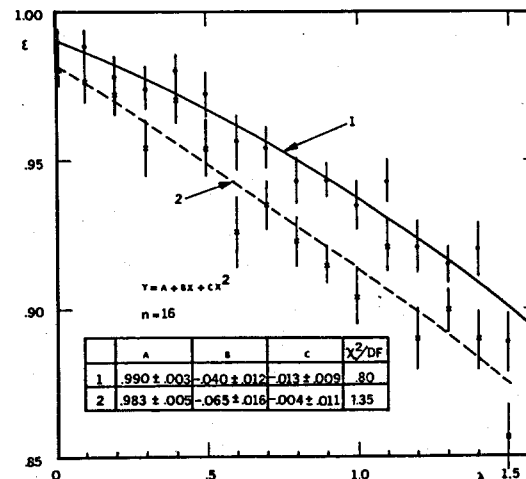


Рис. I. Зависимость эффективности спектрометра от среднего числа фоновых треков для одной из типичных групп сеансов. Сплошной линией представлены результаты фитирования данных, полученных по наиболее эффективной программе поиска событий, пунктирной линией - для данных, полученных по менее эффективной программе.

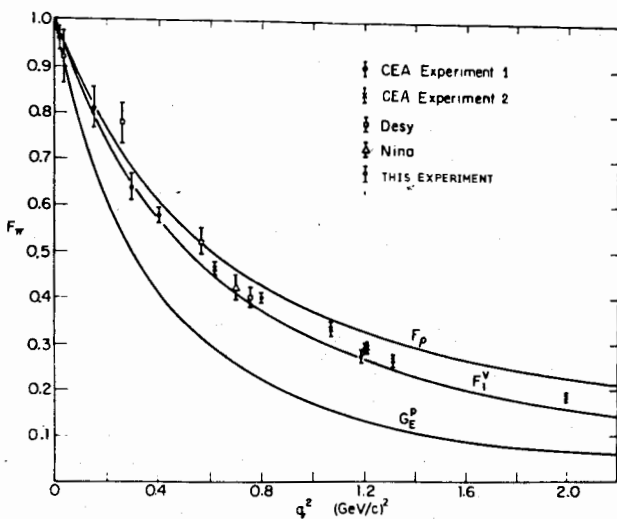


Рис.2. Сравнение наших данных с результатами измерения F_π в опытах по электророждению пионов /29-32/. На рисунке приведены две точки (из двадцати двух, полученных в эксперименте) для квадратов передаваемых импульсов, равных $0,0190 (\text{ГэВ}/c)^2$ и $0,0353 (\text{ГэВ}/c)^2$.