

M-801

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 - 8942

МОРОЗОВ Борис Александрович

ИЗМЕРЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ
УПРУГОГО РР-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ РАССЕЙЯНИЯ
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 50 : 400 ГЭВ.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАЛЬНОЙ ЧАСТИ
АМПЛИТУДЫ РАССЕЙЯНИЯ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

доктор физико-математических наук В.А.Никитин,
кандидат физико-математических
наук Л.С.Солин .

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Ю.М.Казаринов,
доктор физико-математических наук В.В.Анисович .

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной
физики (Москва)

Автореферат разослан " " _____ 1975 г.

Защита диссертации
состоится " " _____ 1975 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна,
Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ .

Ученый секретарь Совета

кандидат физ.-мат.наук

М.Ф.Лихачев

/М.Ф.Лихачев/

1 - 8942

МОРОЗОВ Борис Александрович

ИЗМЕРЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ
УПРУГОГО РР-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ РАССЕЯНИЯ
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 50 : 400 ГЭВ.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАЛЬНОЙ ЧАСТИ
АМПЛИТУДЫ РАССЕЯНИЯ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Экспериментальное исследование упругого рассеяния частиц на малые углы при высоких энергиях является одним из основных направлений в физике сильных взаимодействий. На ускорителях ОИЯИ, Серпухова (У70) и FNAL (США) к настоящему времени поставлена целая серия экспериментов по изучению упругого pp-рассеяния. Экспериментальные исследования, в основном, велись в два этапа:

- 1) измерение дифференциальных сечений в области дифракционного пика и определение параметра наклона дифракционного конуса;
- 2) измерение дифференциальных сечений в интерференционной области ядерного и кулоновского взаимодействий и определение вещественной части амплитуды рассеяния вперед ($t=0$, t - квадрат четырехмерного переданного импульса).

Успешное применение в качестве мишени водородной струи, инжектируемой в кольцо ускорителя, позволило свести к минимуму методические различия экспериментов на этих двух этапах.

Основу реферируемой диссертации составляет развитие методики упругого pp-рассеяния на малые углы и результаты по определению вещественной части амплитуды рассеяния. Эксперименты были проведены на ускорителе FNAL (США) в интервале энергий 50 + 400 ГэВ.

Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов и заключения.

Первая глава носит обзорный характер. В ней кратко рассмотрены основные направления теории, использующие информацию об упругом рассеянии на малые углы, и дан обзор экспериментальных данных об энергетической зависимости реальной части амплитуды pp-рассеяния.

Измерение реальной части амплитуды рассеяния вперед и полного сечения взаимодействия является прямым способом экспериментальной проверки дисперсионных соотношений (ДС).

Проверка ДС практически означает проверку фундаментальных принципов аксиоматической теории поля, на основе которых они выводятся ^{/1/}. Измерение энергетической зависимости реальной части амплитуды рассеяния вперед интересны с точки зрения проверки теории комплексных угловых моментов, ^{/2,3/} в качественном согласии с которой находятся данные по полным сечениям адрон-адронных взаимодействий, полученные в Серпухове ^{/4/}, Батавии ^{/5/} и ЦЕРН'е (ISR) ^{/6/}. Как ДС, так и модель Редже предсказывают, при росте полных сечений р-р- взаимодействия, изменение знака $\rho = \text{Re}A / \text{Im}A$ - отношения реальной части амплитуды рассеяния к мнимой. Это изменение ожидается в области энергий ускорителя в Батавии (300 - 400 ГэВ). В результатах экспериментов, выполненных на ISR ^{/7/}, появилось указание на то, что ρ при энергиях 300 - 350 ГэВ меняет знак - становится положительным. Однако ошибки значений ρ таковы, что утверждать факт изменения знака нельзя. Измерение с высокой точностью дифференциальных сечений при малых переданных импульсах в этой области энергии и определение $\rho(E)$ являлись основной целью настоящей работы.

Во второй главе - описана методика эксперимента.

В основу эксперимента положен метод регистрации частиц отдачи. Использовалось многократное прохождение внутреннего пучка ускорителя через мишень. В качестве мишени была применена сверхзвуковая водородная струя, инжестируемая в кольцо ускорителя.

Схема установки приведена на рис.1.

Первичный пучок ускорителя взаимодействует с протонами водородной струи, которая инжестируется в кольцо ускорителя два раза за время ускорения пучка от 50 до 400 ГэВ. Частицы отдачи проходят по конопроводу и регистрируются полупроводниковыми детекторами.

При фиксированной энергии первичного пучка в энергетическом

спектре частиц отдачи наблюдается пик, соответствующий упругому рассеянию (рис.2.) Число частиц в пике пропорционально дифференциальному сечению в лабораторной системе координат. В угловом интервале $\Delta\theta \pm 3^\circ$ фоновая часть спектра слабо зависит от угла измерения. Это даёт возможность определить фон, сдвигая детекторы на малый угол, при котором область упругого пика лежит ниже порогов регистрации.

Информация, полученная с кремниевых полупроводниковых детекторов, принимается и анализируется многоканальным спектрометром, работающим на линии с вычислительной машиной.

Аппаратура эксперимента во многом подобна аппаратуре ранее проведенного нами эксперимента на серпуховском ускорителе. ^{/8,9,10/} Различия, в основном, состоят в следующем:

1) в кулоновской области измерений, где сечение взаимодействия резко увеличивается с уменьшением угла рассеяния, точность в определении параметра ρ во многом зависит от точности определения углового положения детекторов по отношению к центру тяжести струи. Так сдвиг на ± 1 мрад приводит к изменению параметра ρ на $\pm 0,05$ при статистической неопределенности $\sim \pm 0,008$. Точность положения детекторов по отношению к центру тяжести в свою очередь определяется неопределенностями геометрических измерений и распределением вещества струи в области взаимодействия (формы струи). Один из способов уменьшения данных неопределенностей состоит в сравнении энергетических спектров от упругого рассеяния с кинематикой взаимодействия. Перевод спектров в энергетическую шкалу осуществляется при помощи калибровочных констант, которые известны с точностью $7 \pm 10\%$. Примененный алгоритм определения калибровочных констант требует высокой точности (в 2-3 раза лучшей, нежели точность углового положения детекторов по отношению к струе) в определении относительного

расстояния детекторов в разных облучениях. Для этого был спроектирован и изготовлен механизм передвижения детекторов, дающий точность определения относительного расстояния в 0.06 мрад.

2) одним из недостатков эксперимента с применением так называемых дискретных детекторов (конечной ширины ~4 мм), регистрирующих только энергию частиц, является необходимость иметь для одной энергии первичного пучка несколько облучений, отличающихся различными угловыми положениями детекторов. При высокой статистической точности измерений (~1%) становятся существенными эффекты, связанные с неопределенностью выбранного относительного монитора. Эффективность монитора зависит от условий эксперимента, и её определение связано с большими трудностями.

Вторым недостатком дискретных детекторов является неоднородность как геометрических (площадь детекторов), так и физических (толщина, соотношения сигнал-шум и т.д.) характеристик, что приводит к искажению формы регистрируемых спектров.

Нами был проведен эксперимент с использованием нового типа детекторов - позиционно - чувствительных. Данный тип детектора регистрирует как энергию частицы, так и место её попадания в детектор. Позиционная точность для энергии α -частиц 5,5 МэВ была 0.1 мм, интегральная нелинейность 0,4% при длине детектора 4.5 см. Данные характеристики детектора позволили для фиксированной энергии первичного пучка иметь только одно облучение и с высокой степенью точности определить формулу струи и измерить дифференциальные сечения сразу во всей интерференционной области с малой систематической ошибкой.

3) Опыт в Серпухове показал, что загрузочная способность аппаратуры определяется, в основном, двумя факторами: /8,9/

- а) характеристиками спектрометра (число наложений, просчёты);
- б) быстродействием и ёмкостью памяти применяемой ЭВМ.

В отличие от эксперимента в Серпухове, нами был создан и применен многоканальный спектрометр с индивидуальным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) в каждом канале (рис.1). Максимальное мёртвое время АЦП было 6 мксек. Опрос выходных регистров АЦП осуществлялся циклически с частотой 2 МГц. Для регистрации просчётных событий были применены быстродействующие (20 МГц) счётчики потерь. Информация передавалась в вычислительную машину РДР-II, имеющую память ёмкостью 24 К. Минимальное время приема информации составляло 20 мксек. Все это позволило исключить наложения, снизить уровень просчётов. Уровень просчётов при загрузке 20 - 30 кГц не превышал 1%.

4) Для оперативного контроля за параметрами струи и пучка ускорителя в ЭВМ передавалась информация об интенсивности и положении пучка и термодинамических характеристик струи. Опрос соответствующих датчиков производился с периодом 48 мсек.

Аппаратура показала высокую надёжность при эксплуатации, что позволило закончить эксперимент менее чем за 10 месяцев (500 часов работы на ускорителе).

Описанная методика отличается простотой и обеспечивает быстрый набор статистики. При интенсивности ускорителя 10^{12} протонов в цикле и плотности мишени 10^{-7} г/см² мы имеем 15 упругих событий за цикл ускорения, зарегистрированных одним детектором площадью 1 см².

В третьей главе описана процедура анализа измеренных дифференциальных сечений при $-0.001 \text{ (ГэВ/с)}^2 < t < -0.02 \text{ (ГэВ/с)}^2$

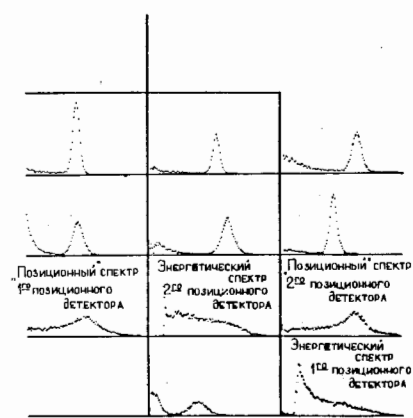
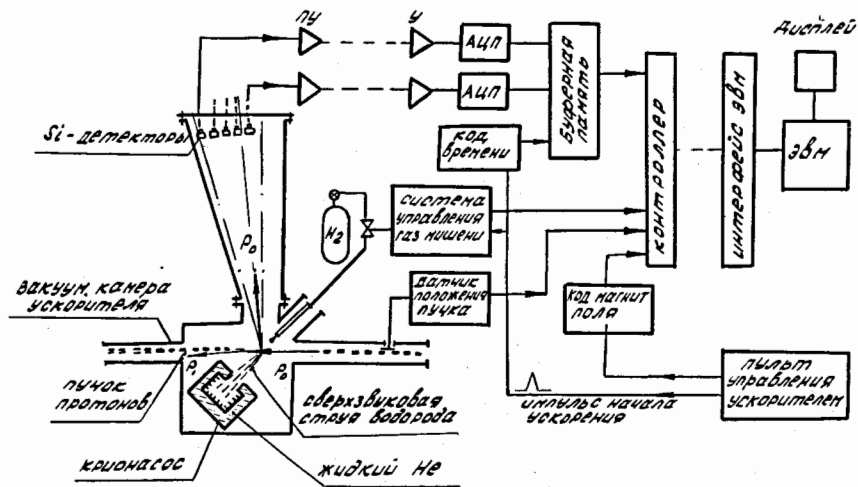


Рис.2. Энергетические спектры частиц отдачи.

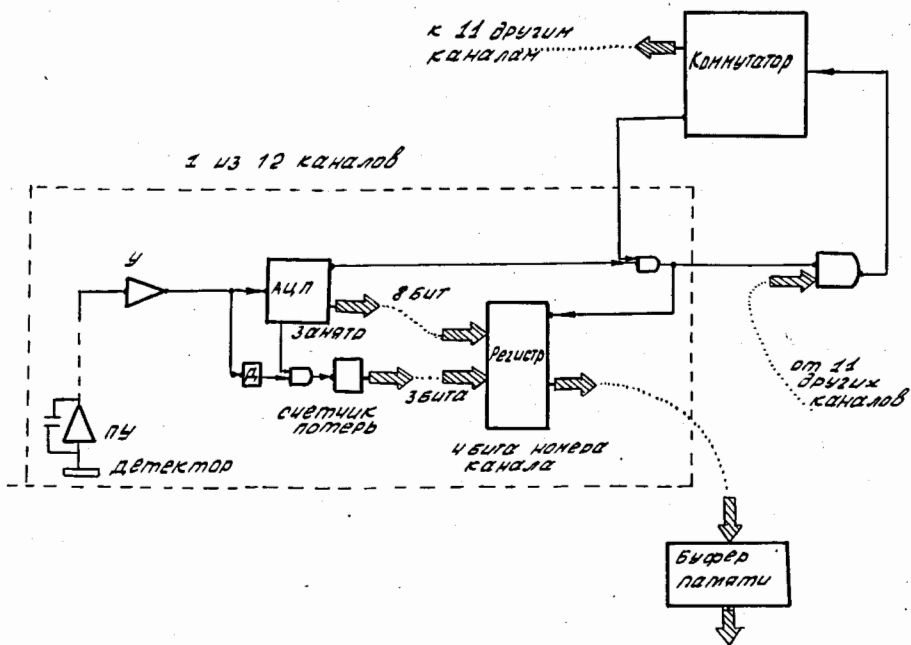


Рис.1. Схема установки и электронная логика эксперимента.

в интервале энергий от 50 + 400 ГэВ. Приводится основной результат эксперимента - зависимость параметра $\rho \equiv Re A / Im A |_{t=0}$ от энергии. Обсуждается степень согласия с теоретическими предсказаниями.

Дифференциальные сечения анализировались с учётом следующих коррекций:

1. Вклад неупругих столкновений (реакция типа $pp \rightarrow pX$).

Величина вклада неупругих событий зависит как от t , так и от энергии первичного протона. Учитывался вклад пяти изобар Δ (I236), N (I400), N (I520), N (I688) и N (2I90). Максимальная поправка в измеряемое дифференциальное сечение упругого столкновения была ~ 2%.

2) Учёт эффективности регистрации каждого канала

Использовалась информация, полученная от счётчиков просчётов. Величина просчётов не превышала 1 - 3%.

3) Учёт магнитного поля ускорителя

Для энергии протона отдачи 100 кэВ угловое отклонение составляло - 1,5 мрад, что сравнимо с точностью геометрических измерений.

4) Коррекции на энергетические потери в золотом слое детекторов

Коррекция не превышала + 3 кэВ.

5) Учёт энергетического разрешения детекторов

Поправка в значениях дифференциальных сечений не превышала 1%.

6) При анализе данных, полученных от позиционно-чувствительных

детекторов учитывалась эффективность регистрации по его длине

Поправка на эффективность не зависит от энергии первичных протонов. Максимальная её величина не превышала 7%.

7) На основании полученной зависимости распределения плотности

водорода в мишени, проводилась коррекция площадей пиков упругого рассеяния, часть из которых не попадала в регистрируемый энергетический интервал.

8) Коррекции, обусловленные неопределённостью геометрических измерений и энергетической калибровки спектрометрических каналов.

На основе интерпретации всех спектров частиц отдачи находилась средняя функция распределения водорода в струе для каждого эксперимента. При сопоставлении углового положения детекторов, определяемого с помощью калибровочных констант, с кинематикой упругого рассеяния определялись как параметры, характеризующие аппаратуру (калибровочные константы, "сдвиг мишени" коэффициенты нормализации), так и физические параметры, входящие в формулу Бете^{/I2/} (отношение реальной части амплитуды рассеяния, параметр наклона дифракционного конуса и т.д.). Калибровочные параметры вычислялись с точностью 0,7%. Зависимость отношений реальной части амплитуды рассеяния к мнимой от энергии находилась двумя способами.

В первом способе $\rho(E)$ определялось при аппроксимации кривой дифференциальных сечений $\frac{d\sigma}{dt}(t)$ интерференционной формулой Бете^{/I2/}. Значения параметра наклона дифракционного конуса, входящие в формулу Бете, были определены нами в работе^{/I4/}.

Во втором способе значения $\frac{d\sigma}{dt}(t)$ непосредственно не вычислялись, величина $\rho(E)$ входила как один из искомых параметров в программу, определяющую калибровочные константы и значения положения мишени в данном эксперименте.

Результаты, полученные этими способами, представлены в таблице I.

Данные анализа информации от позиционно-чувствительных детекторов приведены в таблице 2.

Т А Б Л И Ц А I

Отношение реальной части амплитуды рассеяния к мнимой.

Дискретные детекторы.

I способ

| Е лэВ | ρ | $\Delta\rho$ |
|-------|---------|--------------|
| 51.5 | - 0.157 | +/- 0.012 |
| 94.5 | - 0.098 | +/- 0.012 |
| 145.0 | - 0.065 | +/- 0.010 |
| 174,6 | - 0.039 | +/- 0.012 |
| 185.4 | - 0.038 | +/- 0.014 |
| 215.5 | - 0.020 | +/- 0.012 |
| 244.1 | - 0.013 | +/- 0.010 |
| 269.2 | + 0.022 | +/- 0.015 |
| 348.7 | + 0.025 | +/- 0.015 |
| 393.0 | + 0.039 | +/- 0.012 |

2 способ

| Е лэВ | ρ | $\Delta\rho$ |
|-------|---------|--------------|
| 54.7 | - 0.152 | +/- 0.017 |
| 96.5 | - 0.088 | +/- 0.018 |
| 148.5 | - 0.073 | +/- 0.018 |
| 182.5 | - 0.039 | +/- 0.014 |
| 212.7 | - 0.017 | +/- 0.023 |
| 244.2 | - 0.026 | +/- 0.020 |
| 273.2 | + 0.016 | +/- 0.017 |
| 349.5 | + 0.012 | +/- 0.021 |
| 394.1 | + 0.037 | +/- 0.016 |

Т А Б Л И Ц А 2

Отношение реальной части амплитуды рассеяния к мнимой.

Позиционно-чувствительные детекторы.

Результаты по экспериментам.

| Е лэВ | ρ | $\Delta\rho$ |
|-------|----------|--------------|
| 84 | - 0.1221 | +/- 0.0084 |
| 84 | - 0.1219 | +/- 0.0097 |
| 102 | - 0.1045 | +/- 0.0083 |
| 103 | - 0.1039 | +/- 0.0084 |
| 103 | - 0.1003 | +/- 0.0086 |
| 103 | - 0.0512 | +/- 0.0106 |
| 209 | - 0.0261 | +/- 0.0086 |
| 230 | - 0.0184 | +/- 0.0088 |
| 281 | + 0.0152 | +/- 0.0083 |
| 286 | + 0.0103 | +/- 0.0084 |

В ошибку $\Delta\rho$ включены: статистическая неопределенность; ошибка площадей детекторов (- 1%); ошибка параметра наклона дифракционного конуса - δ ($\Delta\delta = \pm 0.2$ (ГэВ/с) $^{-2}$); ошибка калибровочных констант (таблица 3)/15/.

Т А Б Л И Ц А 3

Ошибки в определении $\rho(E)$

| Источники ошибок | Вклад в $\Delta\rho$ |
|---|---|
| (а) Статистическая неопределенность и неопределенность площадей детекторов. | $\pm (0.005 + 0.012)$ |
| (б) Ошибка калибровочных констант | $\pm (0.008 + 0.012)$ |
| (в) Ошибка в параметре δ $\Delta\rho/\Delta\delta \approx + 0.04$ (ГэВ 2) | меньше чем ± 0.008 |
| (г) Ошибка в положении детекторов $\Delta\rho/\Delta\theta \approx - 0.04$ (мрад $^{-1}$) | возможен систематический сдвиг на ± 0.015 |
| (д) Ошибка в σ_T $\Delta\rho/\Delta\sigma_T \approx - 0.025$ (мб $^{-1}$) | не включена |
| (е) Разрешение детекторов R $\Delta\rho/\Delta R \approx - 0.014$ МэВ $^{-1}$ | не включена |

Проведено сравнение полученных результатов с предсказаниями дисперсионных соотношений. При параметризации полного сечения выражением вида $\sigma_T[\text{мб}] = 38.4 + 0.77 \ln^2 (S/122)^{1/3}$ найденное значение согласуется с вычислениями по дисперсионным соотношениям (рис.3).

Учитывая вклад померона и его ветвлений в величину амплитуды рассеяния, зависимость $\rho(S)$ можно представить в следующем виде^{13/}:

$$\rho(S) \approx \frac{\pi}{2} \frac{1}{\sigma_T} \frac{\partial \sigma_T}{\partial \ln S}$$

Сравнение $\rho(S)$ с экспериментальными значениями показывает, что непомеронный вклад в амплитуду pp-рассеяния составляет не более ~13% при 100 ГэВ и ~2% при 400 ГэВ (рис.3).

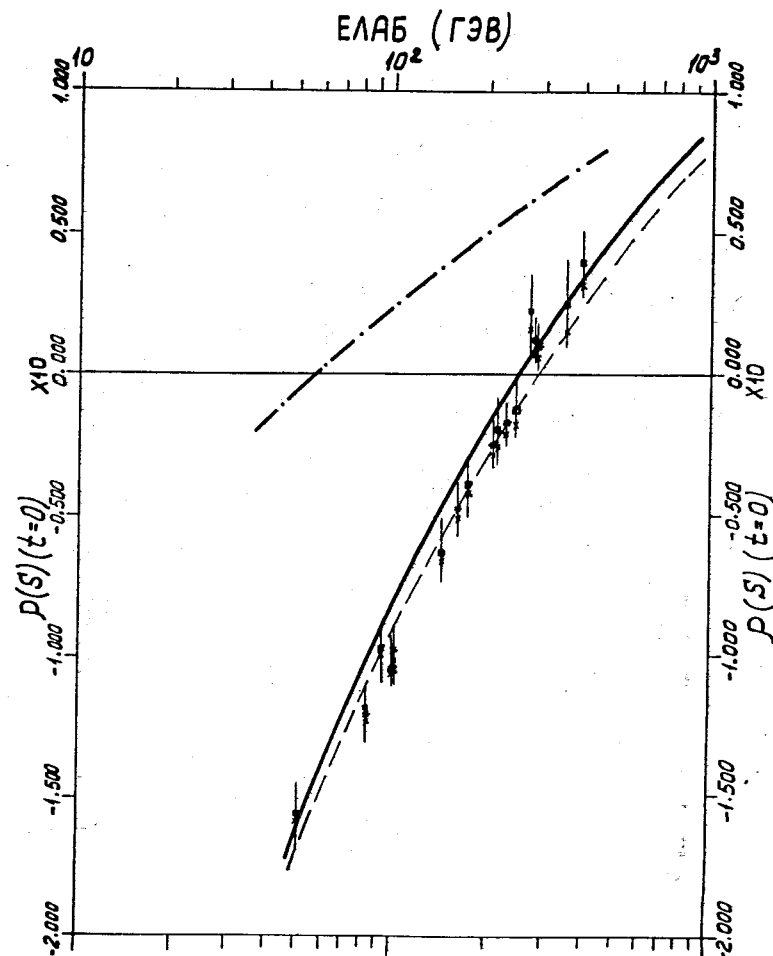


Рис.3. Энергетическая зависимость отношения реальной части амплитуды рассеяния к мнимой^{15/}.

□ - эксперименты с дискретными детекторами; * - эксперименты с позиционно-чувствительными детекторами; —, * - параметризация полного сечения $\sigma_T[\text{мб}] = 38.4 + 0.49 \ln^2 (S/122)$;

х - параметризация полного сечения $\sigma_T[\text{мб}] = 38.4 + 0.77 \ln^2 (S/122)$; " — " - вычисления по дисперсионным соотношениям с параметризацией $\sigma_T[\text{мб}] = 38.4 + 0.49 \ln^2 (S/122)$; " - - - " - вычисление по дисперсионным соотношениям с параметризацией $\sigma_T[\text{мб}] = 38.4 + 0.77 \ln^2 (S/122)$; " - . - . - " - вычисление $\rho(E)$, учитывая вклад в амплитуды рассеяния только померона и его ветвлений.

Краткие результаты и выводы

1) Спроектирован и создан многоканальный спектрометр частиц отдачи, работающий на линии с ЭВМ.

2) Выполнен эксперимент по изучению упругого pp-рассеяния на ускорителе FNAL (Батавия) с использованием двух типов полупроводниковых детекторов-дискретных и позиционно-чувствительных.

3) Составлены программы для обработки информации и определена энергетическая зависимость отношения реальной части амплитуды рассеяния к мнимой $\rho(E)$ - в интервале энергий 50 - 400 ГэВ.

Полученные значения имеют высокую статистическую точность. Они хорошо воспроизводятся при повторении измерений с разными типами детекторов. Показано, что $\rho(E)$ становится положительным при энергии выше 280 ГэВ.

Результаты согласуются с вычислениями, сделанными по дисперсионным соотношениям.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах II, I4, I5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.Н. Боголюбов, Б.В. Медведев, М.К. Поливанов. Вопросы теории дисперсионных соотношений. ГИФМЛ (1958).
2. В.Н. Грибов, А.А. Мигдал, Я.Ф., 8, 1002, I2I3 (1968).
3. Я.И. Азимов, Е.М. Левин, М.Г. Рыскин, В.А. Хозе. Матер. зимней школы ЛИАХ по физике ядра и элементарных частиц, IX, ч.2, Ленинград, 1974.
4. Горин Ю.П. и др., Я.Ф., т. I4, 1971.
5. Gustafson H.R. e.a. Preprint UMHE 73/22
6. Amendolia S.R. e.a. Phys.Lett., B, v.44, p.119, 1973
7. Amaldi U. e.a. Preprint CERN, January, 1973; Phys.Lett., B, v.43, 1973
8. Г.Н. Забиякин, Л.С. Золин, В.А. Никитин, В.Н. Соловьев, В.Г. Тишин, Т. Шемет, В.Д. Шибяев. ОИЯИ, I3-3397, Дубна, 1967.
9. Б.А. Морозов, Л.С. Золин ОИЯИ, I3-4I6I, Дубна, 1968.
10. В.А. Бартнев, А.А. Белушкина, Н.К. Жидков, Л.С. Золин, Б.А. Морозов, П.В. Номоконов, В.А. Никитин, Ю.К. Пилипенко, В.А. Свиридов, М.Г. Шафранова. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий, Дубна, 1970, ОИЯИ, т. I, стр. I6, Дубна, 1971.
11. В.А. Бартнев, Г.Г. Безногих, А. Буяк, Н.К. Жидков, В. Заячки, Л.С. Золин, Л.Ф. Кириллова, Б.А. Морозов, В.А. Никитин, П.В. Номоконов, Ю.К. Пилипенко, А. Сандач, В.А. Свиридов, Чыонг Бьен, М.Г. Шафранова. ОИЯИ, PI-6246, Дубна, 1972.
12. H. Bethe, Ann. of Phys., 3, 190 (1958)
13. E. Leader and U. Maor, Phys.Lett., 36B, 415 (1971)
14. V. Bartenev, A. Kuznetsov, B. Morozov, V. Nikitin, Y. Pilipenko, V. Popov, L. Zolin, R.A. Carrigan Jr., E. Malamud, R. Yamada, R. J. Cool, K. Goulianos, I-Hung Chiang, A.C. Melissinos, D. Gross, S.L. Olsen, Phys.Rev.Lett., v. 31, p. 1088, 1973

15. V. Bertalanov, A. Kuznetsov, B. Morozov, V. Nikitin, Y. Pilipenko, V. Popov,
L. Zolin, R. A. Carrigan Jr., E. Malouf, R. Yamada, R. J. Cool, K. Goulianos,
I-Hung Chiang, A. C. Melissinos, D. Gross, S. L. Olsen,
NAL-PUB-75/75, EXP, Phys. Rev. Lett., v. 31, p. 1367, 1973

Рукопись поступила в издательский отдел
5 июня 1975 г.