

1 - 6259

Л.С. Золин

ЭЛЕКТРОННАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ  
РАССЕЯНИЯ ПРОТОНОВ НА ПРОТОНАХ  
НА ВНУТРЕННЕМ ПУЧКЕ УСКОРИТЕЛЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОВОЙ  
СТРУЙНОЙ МИШЕНИ И ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗЫ  
АМПЛИТУДЫ УПРУГОГО РР-РАССЕЯНИЯ  
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 8 - 70 ГЭВ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Л.С. Золин

ЭЛЕКТРОННАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ  
РАССЕЯНИЯ ПРОТОНОВ НА ПРОТОНАХ  
НА ВНУТРЕННЕМ ПУЧКЕ УСКОРИТЕЛЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОВОЙ  
СТРУЙНОЙ МИШЕНИ И ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗЫ  
АМПЛИТУДЫ УПРУГОГО РР-РАССЕЯНИЯ  
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 8 - 70 ГЭВ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

Д.М. Казаринов

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

Ю.Ц. Оганесян

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики.  
г. Москва

Автореферат разослан " " 1972 г.

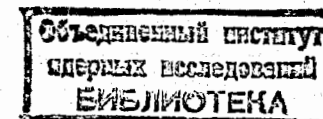
Защита диссертации состоится " " 1972 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований (Дубна, Моск. обл.)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ.

Ученый секретарь Совета,  
кандидат физико-математических наук

С.В. Мухин



Полные сечения взаимодействия элементарных частиц и вещественная часть амплитуды рассеяния вперед — две измеряемые на опыте величины, связь между которыми определяется дисперсионными соотношениями  $/I/$ , установленными на основе фундаментальных принципов аксиоматической квантовой теории поля. Экспериментальная проверка выполнимости дисперсионных соотношений позволяет подтвердить справедливость существующей картины теории поля. Знание величины вещественной части амплитуды рассеяния — необходимое условие подобной проверки. Измерению отношения вещественной и мнимой частей амплитуды упругого  $pp$ -рассеяния в области энергий 8–70 ГэВ и вопросам соответствующей экспериментальной методики посвящена реферруемая диссертация.

Диссертация содержит пять глав и заключение.

В первой главе рассмотрены методы изучения упругого рассеяния вперед. В подходе к изучению этого процесса в настоящее время определились два направления. Одно из них явилось следствием совершенствования электронных методов измерения полных сечений и сводится к измерению дифференциальных сечений упругого рассеяния в области предельно малых углов путем регистрации угла вылета рассеянной частицы. Соответствующие измерения выполняются с помощью магнитных спектрометров с искровыми камерами и сцинтилляционными годоскопами  $/2,3,4/$ , работающими на линии с ЭВМ. Достоинством этого направления является возможность измерения рассеяния любого сорта частиц, для которых созданы достаточно интенсивные выведенные пучки. Негативным является тот факт, что на современных ускорителях высоких энергий создание выведенных пучков и сложных годоскопических комплексов занимает период порядка нескольких лет, что задерживает получение соответствующей физической информации. Однако более существенно (ввиду ограниченной угловой разрешающей способности экспериментальных установок  $\sim 0.2$  мрад) ухудшение перспектив этого направления с увеличением энергии, поскольку угол рассеяния в лабораторной системе при фиксированном значении переданного импульса уменьшается пропорционально импульсу рассеянной частицы.

Другое методическое направление было развито в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Основой метода в данном случае является регистрация частицы отдачи, наиболее важная методическая

особенность - использование очень тонких ( $\sim 1$  мкм) мишеней на внутреннем пучке ускорителя. Малые потери энергии частицы в подобных мишенях дают возможность обеспечить режим многократного ( $\sim 10^4$ ) прохождения протонов внутреннего пучка ускорителя через мишень. Тем самым выполняются два важных условия: а) предельно-малая толщина мишени сводит к минимуму эффект рассеяния в ее веществе, б) большое число событий ядерного взаимодействия в мишени обеспечивает высокую статистическую точность эксперимента. Первые надежные данные о величине вещественной части амплитуды упругого  $pp$ - и  $p\alpha$ -рассеяния в области свыше 1 Гэв были получены в экспериментах, выполненных на синхрофазотроне ОИЯИ в период с 1962 по 1966 г.г. с использованием указанной экспериментальной методики. Большим достоинством последней является относительная простота экспериментального оборудования, монтируемого на камере ускорителя (рис.1), основными элементами которого является мишень, вакуумный ионопровод и детектирующая система, в качестве которой могут быть использованы ядерные фотозмульсии или электронные детекторы короткопробежных частиц. Важными преимуществами методики являются: а) сохранение высокой разрешающей способности с увеличением энергии первичных протонов, поскольку угол вылета частицы отдачи при фиксированном переданном импульсе меняется очень слабо (как  $\beta_{с.ц.м.}$ ), т.е. практически отсутствует ограничение по энергии сверху на использование метода; б) мишень малой плотности оказывает очень слабое возмущающее действие на внутренний пучок ускорителя, что даёт возможность исследовать одновременно широкий диапазон энергий - от критической энергии ускорителя до максимальной, при этом практически вся интенсивность ускоренного пучка может быть использована параллельно работающими потребителями; в) поскольку метод не связан с проведением трудоёмких работ по формированию специальных пучков, соответствующие эксперименты могут быть начаты практически сразу же после запуска ускорителя.

В главе второй рассматриваются вопросы, связанные с созданием мишеней, которые были использованы при проведении экспериментов по  $pp$  и  $p\alpha$ -рассеянию в Серпухове.

Из сказанного выше относительно "метода частицы отдачи" следует, что ключевым элементом, обеспечивающим успех его применения, является конструкция мишени. В экспериментах<sup>15-71</sup>, в которых в

качестве регистраторов частиц отдачи применялись ядерные эмульсии, использовались тонкие мишени из полиэтиленовой плёнки толщиной  $\sim 0.5$  мкм. Облучение эмульсий выполнялось при фиксированных значениях энергии ускоренных протонов и проводилось за короткое время (10-15 мин.), при этом большие поперечные размеры внутреннего пучка синхрофазотрона ( $\sim 30 \times 70$  мм) обеспечивали возможность сравнительно равномерного контакта пучка со всей площадью мишени. При таких условиях вопрос о "времени жизни" мишени не стоял остро: разрушение ее в течение времени экспозиции, как правило, не наблюдалось.

Развитие методики с целью увеличения объёма информации и повышения статистической точности, переход к электронным методам регистрации и к работе на жесткофокусирующем ускорителе (У-70) с более плотным внутренним пучком существенно изменяли условия работы мишени, а именно: значительно увеличивалось время экспозиции (до 10-20 часов), и необходимо было принять меры от прогорания мишени при взаимодействии её с высокоплотным внутренним пучком ускорителя. Увеличение "жизненного ресурса" мишени было достигнуто путем разработки ее конструкции, в которой несколько мишеней - плёнок, закрепленных на барабане, смещались по винтовой линии при его вращении. Это давало возможность многократно использовать плёнки, вводя в контакт с пучком их новые участки, еще не подвергавшиеся радиационному разрушению (область контакта составляла несколько мм).

Высокая интенсивность и плотность пучка ускорителя У-70 делали недопустимым попадание плёнки в центральную часть пучка, так как мишень и нити подвески перегорали. Обеспечить длительную работу мишени и заданный уровень загрузки регистрирующей аппаратуры можно было лишь, вводя мишень во взаимодействие с периферической зоной пучка. Устойчивость подобного режима работы обеспечивалась системой управления положением пучка с использованием обратной связи (гл. 3).

С механической плёночной мишенью описанной конструкции была проведена первая стадия эксперимента на внутреннем пучке У-70 - измерение параметра наклона дифракционного конуса в упругом рассеянии в интервале энергии 10-70 Гэв<sup>18,91</sup> в области значений  $0.008 \leq |t| \leq 0.12$  (Гэв/с)<sup>2</sup>.

Плёночная мишень обладает двумя существенными недостатками. Первый из них — большой фон из-за взаимодействия протонов с ядрами углерода, на который приходится ~85% весового состава мишени. Второй обусловлен многократным кулоновским рассеянием частиц отдачи. Несмотря на рекордно малую толщину плёнок (0,5 мкм), эффект рассеяния существенно ухудшает точность измерений в области кулоновской интерференции. Обе причины приводят к тому, что даже значительное увеличение статистики не позволяет существенно улучшить точность определения вещественной части амплитуды.

Дальнейшее развитие методики было связано с разработкой чистой водородной газовой мишени, которая представляет собой сверхзвуковую струю газообразного водорода, формируемую в вакуумной камере ускорителя / IО, II/. К мишени предъявлялись следующие требования: а) плотность водорода в струе должна быть  $> 10^{-8}$  г/см<sup>2</sup> — условие обеспечения необходимой статистической точности эксперимента; б) система откачки водорода должна обеспечить сохранение рабочего вакуума в камере ускорителя; в) размеры газовой струи в области взаимодействия с пучком ускорителя должны быть достаточно малы, чтобы не ухудшать угловую разрешающую способность эксперимента.

Измерения, проведённые с макетом газовой мишени на испытательном стенде / IО/, показали, что при определенном режиме формирования струи и использовании гелиевого конденсационного насоса специальной конструкции / II/ можно удовлетворить требованиям а) и б). Однако эксперименты, проведённые с первым рабочим вариантом газовой мишени на ускорителе У-70, установили, что геометрические размеры мишени должны быть уменьшены. Рабочие параметры мишени были улучшены путем использования выдвижного сопла, вводимого в камеру ускорителя в момент инжекции струи.

При отработке на стенде режима формирования струи и конфигурации сопла нами было применено для индикации размеров струи и её плотности сканирование газовой струи электронным лучом.

Основные характеристики газовой мишени, использованной для измерения упругого  $pp$  и  $pd$ -рассеяния в интервале энергий 10–70 ГэВ, были следующие: плотность водорода в сверхзвуковой струе  $\rho \sim 5 \cdot 10^{-8}$  г/см<sup>2</sup>, размеры струи в области взаимодействия с пучком

(ширина на полувысоте распределения  $\rho(x)$ ) ~ 20 мм, время существования струи 200 мсек, продолжительность работы до реабсорбции (возгонка водорода, захваченного крионасосами) ~ 1 час, скорость набора событий упругого рассеяния в одном детекторном канале ~  $10^4$  I/час.

Использование газовой струйной мишени позволило свести рассеяние частиц отдачи в веществе мишени к пренебрежимо малой величине и существенно улучшить отношение эффект/фон в регистрируемых спектрах (рис. 2).

В третьей главе описана регистрирующая аппаратура. Для регистрации частиц отдачи была применена многоканальная детектирующая система, в которой использовались полупроводниковые детекторы двух типов: поверхностно-барьерные и детекторы, компенсированные литием. Для обеспечения наилучшего отношения эффект/фон толщина детектора согласовывалась с энергией регистрируемых протонов. Наихудшие фоновые условия наблюдались в детекторах, регистрирующих протоны отдачи с малой энергией (0,2–1 МэВ). Возрастание фона в этой области обусловлено, в основном, частицами рассеянного излучения. Заметное снижение фона такой природы удавалось получить путем включения двух детекторов на антисовпадения (первый детектор в антисовпадетельной паре регистрировал протоны отдачи, второй вырабатывал сигналы запрета для длиннопробежных частиц) / I2/.

Увеличение объёма информации в опытах по упругому  $pp$ -рассеянию можно получить, если одновременно исследовать и угловую и энергетическую зависимость дифференциальных сечений, т.е. регистрировать три параметра: энергию первичных протонов, угол и энергию частиц отдачи. С этой целью нами была разработана / I3/ многопараметровая установка (МПСУ), работающая на линии с ЭВМ БЭСМ-3М. Установка позволяет регистрировать амплитудные спектры по 8(I6) каналам и независимо в 64 временных интервалах. Таким образом дифференциальное сечение может одновременно измеряться в 8(I6) угловых точках и в 64 энергетических интервалах. Связь с ЭВМ обеспечивает контроль, тестовую обработку информации и её накопление.

Блок-схема регистрирующей аппаратуры приведена на рис. 2. Через предусилитель и спектрометрический усилитель детектор в каждом канале связан с двумя кодирующими устройствами — кодировщиком

номера канала  $I^4$  / и аналого-цифровым конвертором, кодирующим амплитуду сигнала. Код номера детектора ( $N^2$ ) и амплитудный код ( $A$ ) составляют информацию ( $A+N^2$ ) об одном зарегистрированном событии, при этом в 45-разрядное машинное слово можно занести подобную информацию о четырех событиях. Нами была принята следующая система формирования массивов кодов, относящихся к данному циклу ускорения. Весь массив кодов разбивается на 64 группы по числу временных интервалов. Каждая группа 45-разрядных кодов типа ( $A+N^2$ ) заканчивается кодом типа ( $B+M+И$ ), который несет номер временного интервала, показания мониторинговых телескопов и индекс эксперимента. В соответствии с описанным способом построения массивов передаваемой информации была разработана логическая схема устройства промежуточной памяти (УПП).

Помимо группировки кодов УПП выполняет функцию разравнивающего устройства. Эффективная ёмкость УПП - 8 событий, съём информации ведётся группами по 4 события с периодом опроса со стороны ЭВМ 120 мксек. При этих условиях потери счёта по вине УПП при нагрузках  $\sim 10^4$  имп/сек пренебрежимо малы и целиком определяются амплитудным кодировщиком, который работал в режиме с постоянным мёртвым временем  $\sim 30$  мксек. Поскольку при поступлении импульса по любому из каналов приём информации блокировался на мёртвое время кодировщика одновременно по всем каналам, то интегральное мёртвое время, определяющее потери счёта, было одинаковым для всех регистрируемых спектров.

Приём информации, поступающей с линии связи с ЭВМ, осуществлялся программой контроля и первичной обработки информации, которая обеспечивала возможность контроля амплитудных спектров для отдельных датчиков в заданных временных интервалах, построение временных спектров на основе данных мониторинговых телескопов, контроль отношения эффект/фон и т.п.

При работе с плёночной мишенью, когда было важно обеспечить равномерную загрузку в заданных пределах всех временных интервалов, использовалось управление пучком ускорителя с помощью системы обратной связи: от интенсиметра, связанного с одним из сцинтилляционных телескопов, на пульт управления ускорителя поступал сигнал, пропорциональный скорости счёта, и изменением частоты ускоряющего напряжения регулировалось радиальное положение пучка.

В главе четвертой рассмотрены вопросы обработки экспериментальных данных.

Анализ экспериментальных результатов по упругому рр-рассеянию проводился по интерференционной формуле для бесспиновых амплитуд  $I^5$  /:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = M \{ |A_c|^2 + |A_{nr}|^2 + |A_{nt}|^2 + 2 \cdot A_c \cdot (A_{nr} + 2n A_{nt} \ln \frac{\Phi}{\theta}) \} (I),$$

где  $A_{nt} = (d\sigma/d\Omega)_{opt}^{1/2} \cdot F(t)$ ,  $A_{nr} = d \cdot A_{nr}$  - мнимая и действительная части амплитуды рассеяния;  $A_c = 2n / \kappa \theta^2 \cdot \exp(-i\delta) \cdot F_c(t)$  - кулоновская амплитуда для угла рассеяния  $\theta$ ;  $F(t) = F_c(t) = \exp(\beta t)$  - ядерный и электромагнитный формфакторы нуклона;  $n = 1/(137 \cdot \beta_{lab})$ ,  $\beta_{lab}$  - скорость падающего протона в л.с.; для сдвига фаз кулоновской и ядерной амплитуды Бете  $I^5$  / получил значение  $\delta = 2n \ln(\Phi/\theta) = 2n \ln(\frac{1}{\kappa a})$ ;  $\kappa$  и  $a$  - волновой вектор в с.ц.м. и радиус области сильного взаимодействия;  $M$  - нормирующий множитель. Параметр  $\beta$ , характеризующий наклон дифракционного конуса, был с хорошей точностью измерен нами ранее  $I^8,9$  /.

Аппроксимация дифференциальных сечений  $d\sigma/d\Omega$ , измеренных в интервале  $0,001 \leq t \leq 0,02$  (Гэв/с)<sup>2</sup>, выражением (I), использовалась в данном случае для определения параметра  $\alpha$  - отношения реальной и мнимой частей амплитуды рр-рассеяния, т.е. фазы амплитуды  $\psi_{pp} = \arccotg \alpha$ .

Зависимость дифференциальных сечений от  $t$  была измерена при восьми значениях импульса ускоренных протонов в диапазоне от 9,39 до 69,83 Гэв/с (рис. 4). Значения дифференциальных сечений определялись по площадям пиков упругого рассеяния в спектрах, зарегистрированных полупроводниковыми детекторами (рис.2). Фон, обусловленный, в основном, взаимодействием пучка ускорителя с водородом, рассеянным в камере ускорителя, не превышал, как правило, 10% от площади пиков.

Наиболее значительные трудности при обработке спектров были связаны с необходимостью учета распределения плотности водорода в струе. Вычисление экспериментальных значений сечений сводилось к последовательному выполнению следующих процедур.

1. Нормировка спектров по данным мониторов и вычитание фона.
2. Коррекция спектров на разрешение детекторов.
3. Определение положения центра тяжести пиков в импульсной



шкале, сопоставление с кинематическим расчётом и коррекция энергетической калибровки спектрометрических каналов из условия согласования с кинематикой упругого рассеяния.

4. Определение на основе формы спектров распределения плотности водорода в мишени  $\rho(x)$ .

5. Реконструкция на основании полученной зависимости  $\rho(x)$  "обрезанных" пиков упругого рассеяния, часть которых не попадала в регистрируемый энергетический интервал. Из-за больших угловых размеров мишени ( $\sim 0,5^\circ$ ) доля таких пиков была значительна ( $\sim 30\%$ ).

6. Определение площадей пиков с учётом угловой зависимости дифференциального сечения в пределах углового раствора мишени.

Основные источники систематических ошибок указаны в табл. I

Таблица I. Систематические ошибки в определении параметра  $\alpha$

Источник ошибки	Ошибка $\Delta \alpha$
Неопределенность площади детекторов ( $\Delta S/S = 1\%$ )	0,023
Неопределенность относительного положения детекторов ( 0,5 мм )	0,012
Сбои в кодировании информации	0,010
Среднеквадратичная систематическая ошибка	0,028

В пятой главе приводятся результаты эксперимента и обсуждаются их соответствие теоретическим предсказаниям /16, 17/.

Основной результат эксперимента - зависимость параметра  $\alpha = (Re A_{pp} / Im A_{pp})|_{t=0}$  от энергии - приведен в таблице 2 (ошибки  $\Delta \alpha$  - статистические). В интервале импульсов от 9,39 до 69,83 Гэв/с имеет место монотонное изменение фазы амплитуды упругого pp-рассеяния - абсолютная величина  $\alpha$  уменьшается от значения 0,35 до 0,09. На рис. 5 результаты нашей работы показаны совместно с данными других работ в области  $> 5$  Гэв/с и с результатами теоретических расчётов /17, 18, 19/.

Сопоставление поведения вещественной части амплитуды упругого pp-рассеяния с расчётами по дисперсионным соотношениям и с предсказаниями аксиоматики говорит о том, что в изученной экспериментально области энергий ( до 70 Гэв ) нет противоречий между теорией и экспериментом.

Знание величины  $\alpha$  и значения параметра  $\delta$  наклона дифракционного конуса, определенного с высокой точностью в области значений  $t$  ( $0,008 \pm 0,12$  (Гэв/с)<sup>2</sup>), где лежит большая часть площади дифракционного пика ( 70%), позволяет дать оценку величины полного сечения упругого pp-рассеяния. Соответствующие значения  $\delta_{el}$  приведены в таблице 2 ( $\Delta \delta$  учитывает статистические и систематические ошибки).

Таблица 2. Значения отношения  $\alpha$  вещественной к мнимой части упругого pp-рассеяния и  $\delta_{el}$ .

№№ пп	$p$ (Гэв/с)	$\alpha \pm \Delta \alpha$	$\delta_{el}$ ( мбн )
1.	9,39	- 0,351 $\pm$ 0,048	
2.	19,07	- 0,258 $\pm$ 0,020	8,47 $\pm$ 0,34
3.	38,03	- 0,171 $\pm$ 0,029	7,64 $\pm$ 0,31
4.	40,03	- 0,168 $\pm$ 0,015	7,61 $\pm$ 0,30
5.	50,63	- 0,150 $\pm$ 0,030	7,34 $\pm$ 0,29
6.	55,33	- 0,154 $\pm$ 0,022	7,35 $\pm$ 0,29
7.	59,43	- 0,122 $\pm$ 0,020	7,20 $\pm$ 0,29
8.	69,83	- 0,092 $\pm$ 0,011	7,12 $\pm$ 0,28

#### Результаты и выводы.

В основу диссертации положены результаты, представленные на конференциях в Лунде /8/, Киеве /16/, Дубне /11/ и опубликованные в работах /9, 10, 13, 14, 17/.

Основные итоги выполненной работы следующие:

I. Разработана электронная методика исследования упругого pp-рассеяния в области малых углов с использованием специальных конструкций мишеней для проведения экспериментов на внутреннем пучке ускорителя с жесткой фокусировкой.

а). Конструкция механической пленочной мишени с дистанционной сменой мишеней-пленок и схема обратной связи для управления положением пучка в камере ускорителя обеспечили возможность проведения длительных экспозиций ( 10 - 15 час. ) и стабилизацию интенсивности сброса пучка на мишень на уровне оптимальном для работы регистрирующей аппаратуры.

б). Конструкция газовой водородной мишени с выдвижным соплом,

формирующим сверхзвуковую струю на близком расстоянии от пучка ускорителя, обеспечила уровень плотности водорода в струе и размеры области пересечения с пучком, необходимые для измерения дифференциальных сечений упругого рр-рассеяния с высокой статистической точностью при предельно-малых значениях квадрата переданного 4-импульса  $|t| \approx 0,0007$  (Гэв/с)<sup>2</sup>.

в). Для обеспечения подбора оптимальных условий формирования струи и конструкции сопла разработан метод измерения распределения плотности в струе разряженного газа в вакууме с помощью сканирующего электронного луча.

г). Многопараметровая спектрометрическая установка с использованием полупроводниковых детекторов, работающая на линии с ЭВМ, обеспечила измерение дифференциальных сечений упругого рр- и рd-рассеяния с высокой скоростью набора статистики и одновременно в нескольких угловых точках при изменении энергии первичных протонов в широком диапазоне значений.

2. Осуществлен эксперимент по изучению упругого рр-рассеяния на ускорителе У-70 (Серпухов).

Составлены программы обработки информации, записанной на магнитную ленту, для вычисления дифференциальных сечений и определения параметров ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) упругого рассеяния.

Измерено дифференциальное сечение упругого рр-рассеяния в области интерференции кулоновской и ядерной амплитуд ( $0,0007 \leq |t| \leq 0,05$  (Гэв/с)<sup>2</sup>) с относительной точностью (1-2)% при значениях импульса 9,4; 19,1; 38,0; 40,0; 50,6; 55,3; 59,4; 69,8 Гэв/с. Изучена зависимость вещественной части амплитуды рр-рассеяния в соответствующем интервале энергий. Анализ полученных результатов показывает, что в исследованной области энергий величина вещественной части амплитуды рассеяния согласуется с предсказаниями из дисперсионных соотношений и её зависимость от энергии (уменьшение вещественной части по абсолютной величине с ростом энергии) не дает указаний на возможность нарушения теоремы Померанчука (случай, когда  $\lim_{E \rightarrow \infty} \alpha(E, t)|_{t=0} / \ln E \rightarrow const \neq 0$ , т.е.  $|\alpha|$  логарифмически растет с энергией). Полученные значения величины  $\sigma_{el}$  полного сечения упругого рр-рассеяния показывают, что имеет место монотонное уменьшение  $\sigma_{el}$  вплоть до энергии 70 Гэв, обусловленное сужением дифракционного конуса и уменьшением величины реальной части амплитуды.

### Литература.

1. Н.Н.Боголюбов, Б.В.Медведев, М.К.Поливанов. Вопросы теории дисперсионных соотношений. ГИФМЛ (1958).
2. K.J.Foley, R.S.Gilmore, P.S.Jones, S.J.Lindenbaum, W.A.Love, S.Ozaki, E.H.Willen, R.Yamada and L.C.Yuan. Phys. Rev. Lett., 14, 74 (1965).
3. G.Belletini, C.Cocconi, A.N.Diddens, E.Lillethum, J.Pahl, J.P.Scanlon, K.J.Walters, A.W.Wetherell and P.Zanella. Phys. Lett., 19, 705 (1966).
4. A.E.Taylor, A.Ashmore, W.S.Chapman, D.F.Falla, W.H.Range, D.B.Scott, A.Astbury, E.Capacci, T.G.Walker. Phys. Lett., 14, 54 (1965).
5. Л.Ф.Кириллова, В.А.Никитин, А.А.Номофилов, В.С.Пантуев, В.А.Свиридов, И.М.Ситник, Л.А.Слепец, Л.Н.Струнов, М.Н.Хачатурян, Х.Христов, М.Г.Шафранова, Э.Корбел, Л.Роб, С.Дамьянов, А.Златева, Э.Златанов, В.Йорданов, Х.Каназирски, П.К.Марков, Т.Тодоров, Х.Чернев, Н.Далхажав, Д.Тувдендорж. Доклад на XII Международной конференции по физике высоких энергий в Дубне, 1964 г., т.1, стр.123, Атомиздат, 1966.
6. Л.Ф.Кириллова, В.А.Никитин, В.С.Пантуев, В.А.Свиридов, Л.Н.Струнов, М.Н.Хачатурян, Л.Христов, М.Шафранова, Э.Корбел, Л.Роб, С.Дамьянов, А.Златева, Э.Златанов, В.Йорданов, Х.Каназирски, П.К.Марков, Т.Тодоров, Х.Чернев, Н.Далхажав, Д.Тувдендорж. ЯФ, I, 533 (1965);
7. Н.Далхажав, П.Девински, В.Заячки, Э.Златанов, Л.С.Солин, Л.Ф.Кириллова, Э.Корбел, П.К.Марков, Нго Куанг Зуй, Нгуен Дин Ты, В.А.Никитин, Л.Роб, В.А.Свиридов, Д.Тувдендорж, Л.Христов, Х.Чернев, Чыонг Бьен, М.Г.Шафранова. а) Препринт, Р1-364I, Дубна, 1967; б) ЯФ, 8, 342, 1968.
8. Г.Г.Безногих, А.Буяк, Н.К.Жидков, В.Заячки, Л.С.Солин, К.Йовчев, Л.Ф.Кириллова, П.К.Марков, Б.Д.Морозов, В.А.Никитин, П.В.Номоконов, В.А.Свиридов, Чыонг Бьен, М.Г.Шафранова, С.Б.Нурушев, В.А.Соловьянов а) Препринт, Р1-4594, Дубна, 1969;



- 6) International Conf. on Elementary Particles, Lund, 1969; G.G.Beznoghikh et al. Paper.426 and Rapporteur's Talk "Nucleon Reactions" by E.Lillenthum;
9. G.G.Beznoghikh, A.Buyak, K.I.Iovchev, L.F.Kirillova, P.K.Markov, B.A.Morozov, V.A.Nikitin, P.V.Nomokonov, M.G.Shafranov, V.A.Sviridov, Truong Bien, V.I.Zayachki, N.K.Zhidkov, L.S.Zolin, S.B.Nurushev, V.L.Solovianov. Phys. Lett., 30B, 274 (1969).
10. Л.С.Золин, В.А.Никитин, Ю.К.Пилипенко. а) ОИЯИ, П13-3425, Дубна, 1967; б) Cryogenics, p. 143, June 1968.
11. В.А.Бартенев, А.А.Белушкина, Н.К.Жидков, Л.С.Золин, Б.Д.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 г., т.1, стр. 16, Дубна, 1971.
12. Ю.К.Акимов, Л.С.Золин, А.И.Калинин, В.А.Никитин, В.С.Пантуев, Л.Роб, В.А.Свиридов, М.Н.Хачатурян. ЯФ, т.4, в.1, 88 (1966).
13. Г.И.Забиякин, Л.С.Золин, В.А.Никитин, В.Н.Соловьев, В.Г.Тишин, Т.Шетет, В.Д.Шибаяев. ОИЯИ, 13-3397, 1967.
14. Б.Д.Морозов, Л.С.Золин. ОИЯИ, 13-4161, Дубна 1968.
15. H.Bethe. Ann. of Phys., 2, 190 (1958).
16. V.D.Bartenev, G.G.Beznoghikh, A.Buyak, K.I.Iovchev, L.F.Kirillova, P.K.Markov, B.A.Morozov, V.A.Nikitin, P.V.Nomokonov, U.K.Pilipenko, A.Sandach, M.G.Shafranov, V.A.Sviridov, Truong Bien, V.I.Zayachki, N.K.Zhidkov, L.S.Zolin. Report submitted to the XVth International Conference on High Energy Phys. Session 1(a), paper 1, Kiev, 1970.
17. В.А.Бартенев, Г.Г.Безногих, А.Буяк, Н.К.Жидков, В.Заячки, Л.С.Золин, Л.Ф.Кириллова, Б.Д.Морозов, В.А.Никитин, П.В.Номоконов, Ю.К.Пилипенко, А.Сандач, В.А.Свиридов, Чыонг Бьен, М.Г.Шафранова. ОИЯИ, П1 - 6244.
18. P.Söding. Phys. Lett., 8, 285 (1964).
19. К.Г.Боресков, А.М.Лapidус, С.Т.Сухоруков, К.А.Тер-Мартirosян. ЯФ, 14, 814 (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 января 1972г.

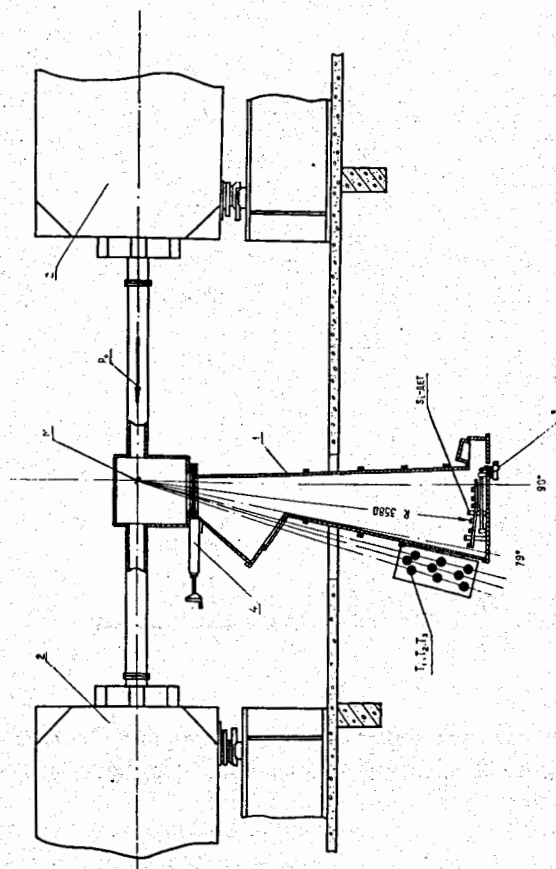


Рис. 1. Общий упрощенный вид установки: P - направление пучка первичных протонов, M - пленочная мишень, Si - дет. - подвижная каретка с полупроводниковыми детекторами, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> - сцинтилляционные телескопы, 1 - ионопровод, 2 - магнит ускорителя, 3 - механизм перемещения детекторов, 4 - шиббер, перекрывающий ионопровод (1) от камеры ускорителя.

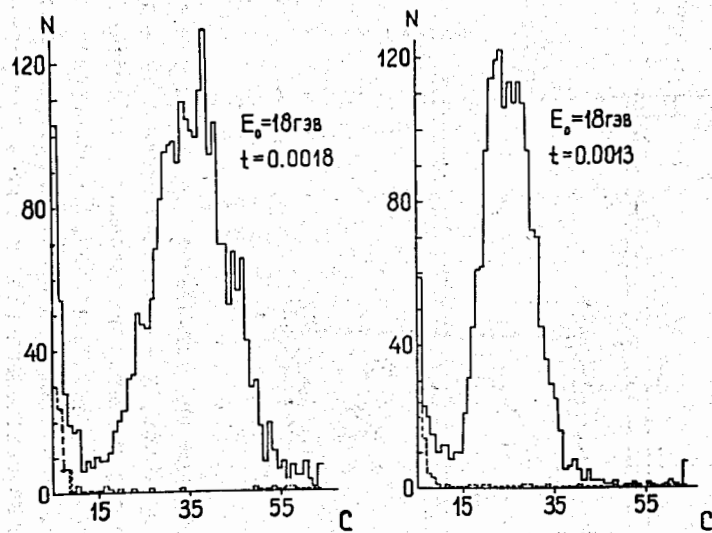
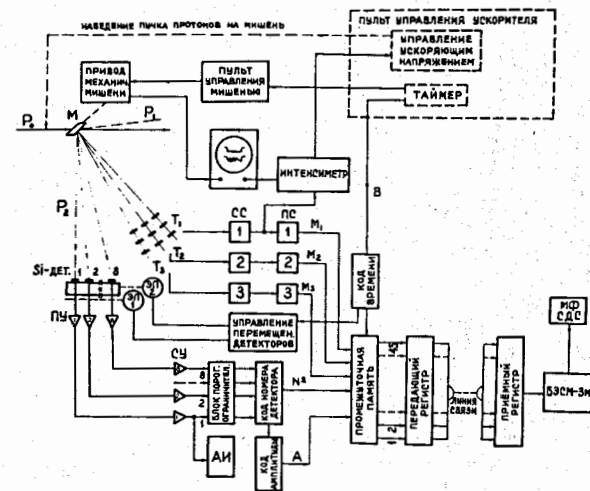


Рис. 2. Спектры протонов отдачи, зарегистрированные полупроводниковыми детекторами. Пунктиром показан вид фонового спектра (C - номер канала).



Блок-схема аппаратуры эксперимента по исследованию упругого Р-Р рассеяния на малые углы.

Рис. 3. Блок-схема электронной аппаратуры.  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  - направления первичных, рассеянных протонов и протонов отдачи,  $M$  - мишень,  $Si$  - дет. - полупроводниковые детекторы, ПУ и СУ - преусилители и спектрометрические усилители,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  - телескопы, СС - схемы совпадений, ПС - пересчетные схемы, АИ - анализатор импульсов.

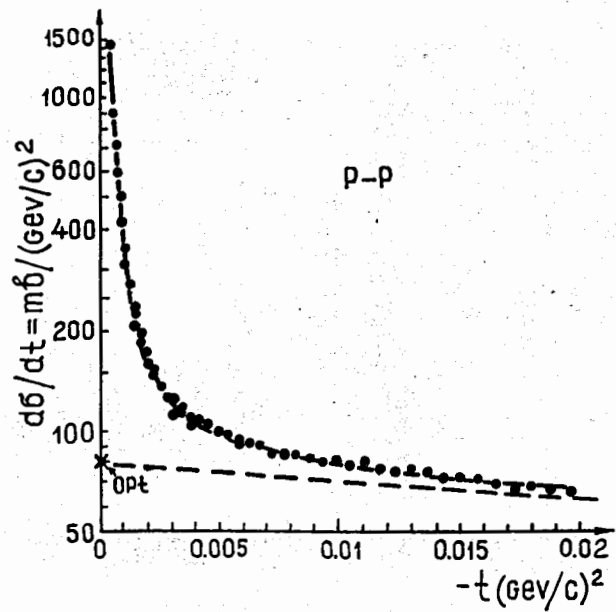


Рис. 4. Дифференциальное сечение упругого  $pp$ -рассеяния при импульсе первичных протонов 70 Гэв/с.

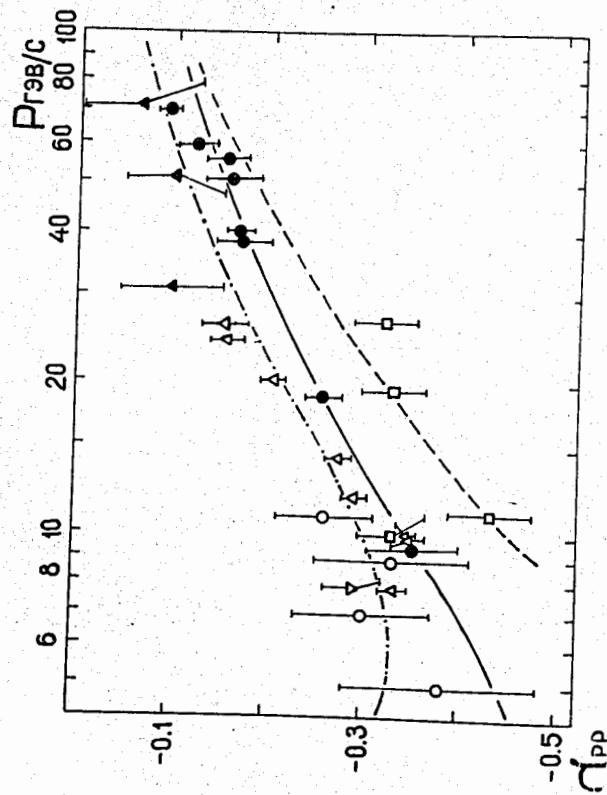


Рис. 5. Экспериментальные данные для величины  $\alpha = (ReA_{pp}/ImA_{pp})$  в области энергий свыше 5 Гэв.  $\blacktriangle$  - данный эксперимент. Теоретические кривые - из работ /17, 18, 19/ (остальные данные см. в диссертации или /17/).