



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3790/2-80

11/8-80

P1-80-376

А.А.Кузнецов, Б.А.Морозов, В.А.Никитин,
П.В.Номоконов, Ю.К.Пилипенко, В.А.Смирнов,
Э.Маламуд,¹ Р.Ямада,¹ Э.Дженкинс,² Д.Гросс,³
А.Сандач⁴

ИЗМЕРЕНИЕ
ОТНОШЕНИЯ ¹МЕЖДУ РЕАЛЬНОЙ И МНИМОЙ
ЧАСТЯМИ АМПЛИТУД

pp - И - pd -РАССЕЯНИЯ НА МАЛЫЕ УГЛЫ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ОТ 50 ДО 400 ГЭВ

Направлено в ЯФ

¹ Национальная ускорительная Лаборатория
им. Ферми /Батавия, США/.

² Аризонский университет /Таксон, США/.

³ Рочестерский университет /Рочестер, США/.

⁴ Институт ядерных исследований /Варшава, ПНР/.

1980

I. ВВЕДЕНИЕ

В предыдущих совместных экспериментах, выполненных специалистами ОИЯИ и США на ускорителе ФНАЛ /Батавия, США/, были измерены энергетические зависимости отношения между реальной и мнимой частями амплитуд упругого pp -рассеяния $(\rho_{pp})^{1,2/}$ и параметра наклона дифракционного конуса (b) упругого pp - и pd -рассеяния ^{/3,4/} в области энергий от 8 до 400 ГэВ.

Величина ρ_{pp} при более высоких энергиях измерена в ЦЕРНе на ISR ^{/5/}.

Измерения упругого pd -рассеяния при энергиях ниже 70 ГэВ были выполнены на ускорителе ИФВЭ ^{/6,7/}. Они позволили параметризовать формфактор дейтрона $S(t)$ и определить величины ρ_{pd} и $\rho_{pd}^{8/}$.

Ниже приводятся результаты измерения упругого pd -рассеяния при более высоких энергиях и в области меньших значений переданного импульса (t).

II. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ОПИСАНИЕ АППАРАТУРЫ

На рис.1 приведена принципиальная схема эксперимента и показано размещение основного оборудования в зале внутренних мишеней ФНАЛ. Циркулирующий внутри камеры главного кольца ускорителя пучок протонов во время цикла ускорения многократно пересекает газовую струйную мишень и взаимодействует с атомами водорода или дейтерия.

Частицы отдачи регистрируются набором полупроводниковых детекторов, расположенных на расстоянии 7,5 м от мишени. Набор детекторов размещается в боксе, который посредством ионопровода соединяется с камерой ускорителя. Ионопровод с боксом подвижен, и угол, который он образует с осью первичного пучка, может меняться.

Угловое разрешение спектрометра определяется размерами детекторов и газовой струи-мишени, расстоянием между ними и составляет $\pm 0,8$ мрад. Эта величина в три раза меньше, чем в предыдущих экспериментах ^{/1-4/}.

Изучаемая область переданных импульсов для случая водорода равняется $0,0005 \leq |t| \leq 0,03$ /ГэВ/с², что соответствует интервалу углов частиц отдачи $11 < \theta < 90$ мрад /угол θ отсчитывается от нормали к первичному пучку/ и пробегу в полупро-

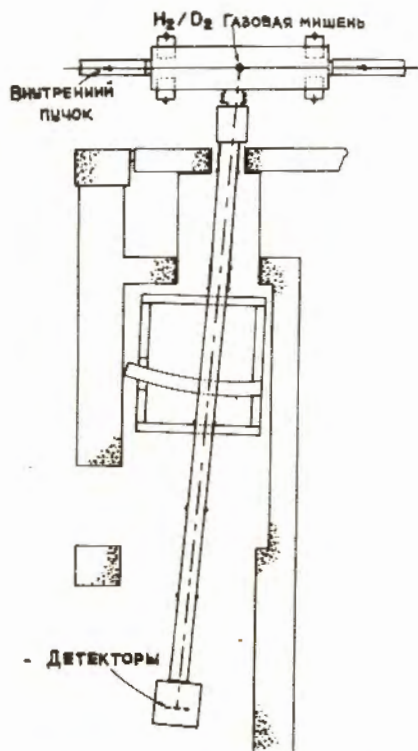


Рис.1. Схема экспериментальной установки. Газовая струя-мишень H_2, D_2 направлена вертикально /перпендикулярно плоскости рисунка/. Детекторы находятся в подвижном ионопроводе на расстоянии 7,5 м от мишени.

водниковых кремниевых детекторах $2 < R < 1600$ мкм. Для случая дейтерия аналогичные параметры равняются соответственно: $0,0008 \leq |t| \leq 0,08$ /ГэВ/с², $8 < \theta < 75$ мрад и $3 < R < 1500$ мкм.

Струйная газовая мишень имеет следующие типичные значения рабочих параметров: ширина распределения плотности газа на полувысоте - 6 мм; за время ускорения /~3 с/ струя-мишень форми-

руется три-четыре раза, при этом длительность импульса струи составляет 100 мс; плотность газа в струе - $2 \cdot 10^{-8}$ г/см³.

При этой плотности струи для минимальной передачи импульса поправка к дифференциальному сечению ($d\sigma/dt$) из-за многократного рассеяния частиц отдачи не превышает - 3%.

Пучок циркулирующих в главном кольце ускорителя протонов имеет следующие параметры: интенсивность - $1,8 \cdot 10^{13}$ протонов в импульсе, размеры пучка - 2 мм, частота повторения - 1 цикл за 7 с. В соответствии с импульсным режимом работы струйной газовой мишени набор экспериментальных данных осуществляется на растущем магнитном поле ускорителя для нескольких значений энергии в интервале от 50 до 400 ГэВ.

Значение магнитного поля измеряется и записывается каждые 30 мс, что соответствует интервалу энергии ускоренного пучка 4 ГэВ.

Частицы отдачи /протоны или дейтроны/ регистрируются с помощью набора полупроводниковых детекторов, собранных попарно в телескопы. Типичный размер детекторов составляет $4 \cdot 30$ мм². Передние детекторы имеют толщину от 15 до 250 мкм, а задние - от 200 до 1500 мкм.

В большинстве случаев частица останавливается в заднем детекторе телескопа, и она тогда может быть идентифицирована /см. ниже/. При наименьших значениях $|t|$ частицы останавливаются в первом детекторе и эффект упругого рассеяния выделяется без идентификации.

Два телескопа, помимо указанных выше, имеют фиксированное положение и используются в качестве мониторов.

Принципиальная схема электроники показана на рис.2. Импульсы от детекторов проходят через предусилители и усилители.

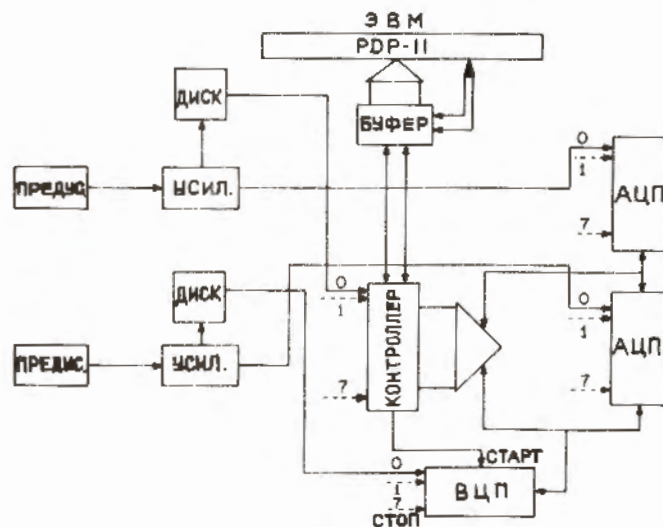


Рис.2. Схема электроники.

Сигналы от передних детекторов (ΔE) дискриминируются и используются как триггеры амплитудно-цифровых преобразователей /АЦП/. Во время сбора информации от одного определенного телескопа доступ ко всем другим телескопам запрещен. Следовательно, все каналы имеют одинаковый процент мертвого времени / $\leq 3\%$ /.

АЦП для передних и задних детекторов дополняются блоком время-цифрового преобразования /ВЦП/, который измеряет интервал времени между сигналами от передних и задних детекторов. Коды с выхода АЦП и ВЦП, а также номер телескопа записываются в один из двух быстрых 64-разрядных буферных модулей памяти. Когда одна буферная память полностью заполняется, содержимое ее считывает-

ся ЭВМ PDP-11. В это время другая буферная память готова к приему новой информации, то есть сбор данных проводится непрерывно. Сбор данных осуществляется на магнитный диск с последующей переписью на магнитную ленту.

ЭВМ осуществляет частичную экспресс-обработку данных в реальном масштабе времени. В частности, на дисплее можно наблюдать распределение событий по телескопам, энергетические спектры частиц, полученные любым детектором, идентификацию частиц, распределение сброса пучка ускорителя на мишень во времени и др.

Типичная статистика по 8 телескопам составляет ~1000 событий за один импульс струи.

Линейность электроники проверяется посредством посылки тестового импульса на контрольный вход предусилителя с последующим измерением и записью амплитуды выходного импульса.

Интегральная нелинейность АЦП составляет 0,2%, а дифференциальная - 1,5%.

III. АНАЛИЗ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Анализ данных

Полученная в эксперименте информация с переднего (ΔE) и заднего ($E - \Delta E$) детекторов отображается на 256×256 -канальной гистограмме. Масса остановившихся в заднем детекторе частиц определяется по формуле

$$m = m_p \left\{ \frac{\alpha}{\alpha_F} [(T_F + T_B)^\beta - T_B^\beta] \right\}^{1/(\beta-1)},$$

где $\alpha = 0,0133$; $\beta = 1,73$; α_F - толщина переднего детектора в мм; $T_F(T_B)$ - энергия, потерянная частицей в переднем/заднем/детекторе в МэВ. Частицы идентифицируются путем обрезания величины m/m_p для дейтронов $1,5 < m/m_p < 2,5$ и для протонов $0,5 < m/m_p < 1,5$.

Распределение частиц отдачи по импульсу показано на рис. 3. Оно хорошо описывается суммой функции Гаусса /пик упругого рассеяния/ и гладкой функции типа падающей экспоненты /фон/.

Количество упругих событий получается подсчетом числа частиц в пике в области $\pm 4\sigma$ и последующим вычитанием фона. Типичный вклад фона составляет ~1%. В области наименьших значений $|t|$ для случая дейтронов фон достигает ~3%.

Для проверки правильности описания фона использовались различные типы гладких функций /линейная, квадратичная/. Все они дают близкие результаты. Низкий уровень фона обуславливается хорошей защитой и достаточно большой длиной ионопровода. На-

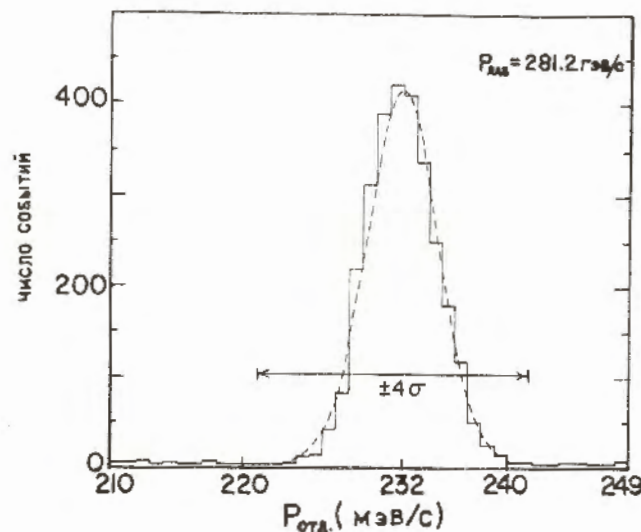


Рис. 3. Характерное импульсное распределение дейтронов отдачи.

блюдаемая ширина упругого пика согласуется с величиной полной угловой разрешения, которая равна $\pm 0,8$ мрад., и складывается из размеров струи ± 6 мм/ и размеров детекторов ± 4 мм/. Благодаря высокому

угловому разрешению спектрометра примесь неупругих событий не превышает 0,2%.

Количество упругих событий, регистрируемых каждым детектором (ΔN) в телесном угле $\Delta \Omega$, преобразуется в дифференциальное сечение ($d\sigma/dt$):

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\Delta N}{\Delta \Omega} \frac{\pi}{2m\sqrt{|t|}} \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{fix} / \left(\frac{\Delta N}{\Delta \Omega} \right)_{fix},$$

где

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{fix} \text{ и } \left(\frac{\Delta N}{\Delta \Omega} \right)_{fix} \text{ относится к монитору, а } (\Delta N/\Delta \Omega)$$

и $(\Delta N/\Delta \Omega)_{fix}$ означает число упругих событий после введения поправок на геометрию и разрешение. При наименьших значениях $|t|$ величина геометрической поправки составляет ~1,5%, а поправка на разрешение - ~7%.

В данном эксперименте получают относительные дифференциальные сечения. Они приводятся к абсолютной шкале путем сопоставления величины $d\sigma/dt(t=0)$ /полученной экстраполяцией/ с оптической точкой, вычисленной по известному полному сечению с помощью оптической теоремы.

2. Систематические ошибки

А. Угловое положение детекторов

Энергетический спектр, измеренный передним детектором телескопа, содержит пик, соответствующий упругому рассеянию. Положение пика в спектре вычисляется по кинематике, оно зависит от угла, под которым расположен детектор. Энергетическая калибровка детекторов осуществляется с помощью Th^{234} -источника α -частиц с энергией линий 5,446; 5,684; 6,04; 6,277; 6,774 и 8,786 МэВ. Абсолютное значение угла определяется путем сравнения вычисленного и измеренного положения упругого пика. Неопределенность в определении углов составляет $\leq 0,15$ мрад.

Недавние измерения, сделанные в условиях режима работы струйной мишени с газовой смесью /водород-дейтерий или водород-гелий/, показали, что угловой разброс не зависит от типа частиц, размера или угла детекторов. Рассеянное магнитное поле ускорителя снижено до величины $\leq 0,03$ гаусса экранированием ионопровода и блока детекторов, что уменьшает ошибку в определении угла при очень малых значениях $|t|$. Вышеприведенные факторы создают ошибку в угле, а соответствующая систематическая ошибка в определении $d\sigma/dt$ для интерференционной области не превышает 1%.

Б. Площадь детекторов

Чувствительная площадь детекторов задается коллиматорами, изготовленными из тантала. Площадь коллиматоров измеряется с точностью 0,15%.

В. Ядерное рассеяние в веществе детекторов

Число ядерных взаимодействий протонов и дейтронов в веществе детектора приблизительно пропорционально пробегу частицы. Для нашей области $|t|$ этот эффект составляет $\leq 0,07\%$.

3. Таблица сечений

Результаты измерений дифференциальных сечений упругого pp- и pd-рассеяния при энергиях 52, 80, 199, 261, 303, 398 ГэВ и 49, 82, 182, 281, 379, 397 ГэВ соответственно представлены в табл.1. Ошибки, приведенные в таблице, являются статистическими. Неопределенность в абсолютной нормировке, выполненной по известному полному сечению на основе оптической теоремы, составляет $\sim 0,7\%$ для случая pp- и $\sim 0,5\%$ для случая pd-рассеяния. На

рис.4 и 5 отдельно показаны дифференциальные сечения pp- и pd-рассеяния при энергии 398 и 379 ГэВ соответственно.

4. Вычисление ρ_{pp} и ρ_{pd}

Дифференциальные сечения описываются интерференционной формулой Бете /8/:

$$\frac{d\sigma}{dt} = C |f_n + f_c|^2, \quad /1/$$

где амплитуды ядерного (f_n) и кулоновского (f_c) рассеяния выбираются в виде

$$f_n = \frac{\sigma_{tot}}{4\pi\hbar} (\rho_{pp} + i) e^{bt/2},$$

$$f_c = \frac{2\alpha\hbar}{t} G_p(t) e^{i\alpha\phi},$$

$$\alpha = 1/137.$$

Свободными параметрами являются величины ρ_{pp} и общая нормировка C . Предполагается, что реальная и мнимая части амплитуды имеют одинаковую зависимость от t , а спиновыми эффектами можно пренебречь. σ_{tot} и b вычисляются по эмпирическим формулам:

$$\sigma_{tot} = 50,866 - 5,2302 \ln S_{pp} + 0,5437 \ln^2 S_{pp}, \quad /2/$$

$$b(S) = 8,27 + 0,556 \ln S_{pp}^*, \quad /3/$$

которые представляют экспериментальные данные /3,10/.

$$G_p(t) = \frac{1}{(1 + |t|/0,71)^2} - \text{электромагнитный формфактор протона,}$$

$$\alpha\phi = 2\alpha \ln \frac{1,06\hbar}{R\sqrt{|t|}} - \text{фаза кулоновского рассеяния, а } R = \sqrt{10} \text{ мб}^{1/2}.$$

* ρ_{pp} и ρ_{pd} выражаются в единицах 1 ГэВ^2 .

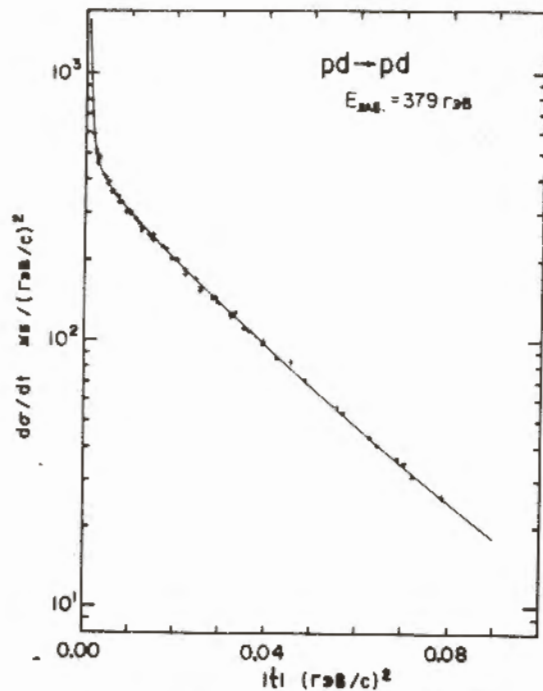
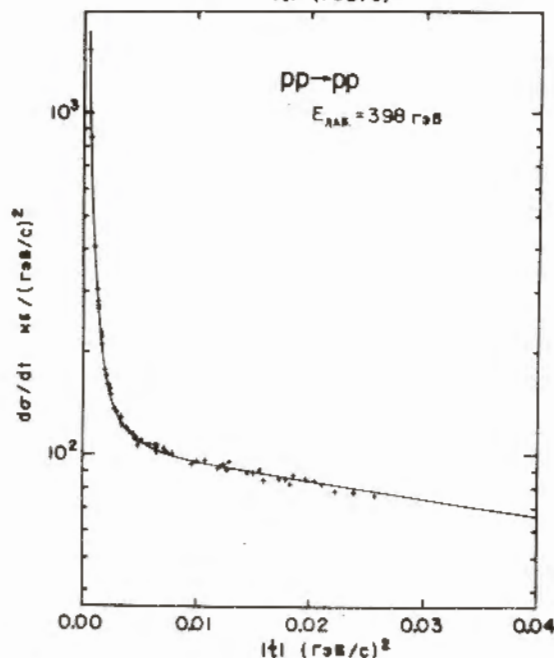


Рис. 4. Дифференциальное сечение pp -рассеяния. Параметры: нормировка - $0,3593 \pm 0,0019$ мб / ГэВ/с², $\rho = 0,012 \pm 0,008$; $\chi^2/N = 76/61$, $E_{\text{лаб.}} = 379$ ГэВ.

Результаты для ρ_{pp} приведены в таблице 2. Типичная величина χ^2 равняется 1,2 на одну точку.

На рис. 6 данные о ρ_{pp} , полученные в настоящем эксперименте, сравниваются с ранее опубликованными данными [5, 11]. Наблюдается хорошее согласие всех результатов. В настоящем эксперименте величины статистических и систематических ошибок значительно меньше,

Рис. 5. Дифференциальное сечение pd -рассеяния. Параметры: нормировка - $0,2647 \pm 0,0008$ мб / ГэВ/с², $\rho = 0,003 \pm 0,01$; $\chi^2/N = 96/79$, $E_{\text{лаб.}} = 379$ ГэВ.



чем в опубликованных ранее работах. В изучаемой энергетической области ρ_{pp} хорошо описывается эмпирической формулой

$$\rho_{pp}(s) = (-0,490 \pm 0,034) + (0,076 \pm 0,006) \ln S_{pp}. \quad /4/$$

Сплошной кривой на рис. 6 изображен результат расчета по дисперсионному соотношению

$$\text{Re}A = C + \frac{E}{4\pi^2} \int_m^\infty dE' \left[\frac{\sigma_T(E')}{E' - E} - \frac{\bar{\sigma}_T(E')}{E' + E} \right], \quad /5/$$

где σ_T и $\bar{\sigma}_T$ - протон-протонное и антипротон-протонное полные сечения. Константа вычитания C использована для нормировки теоретической кривой по данным настоящего эксперимента и работы [5].

Пунктирная кривая на рис. 6 рассчитана по модели полюсов Редже в предположении только вакуумного обмена.

$$\text{Re}A = \frac{\pi}{2} \frac{\partial(\text{Im}A)}{\partial(\ln S)}. \quad /6/$$

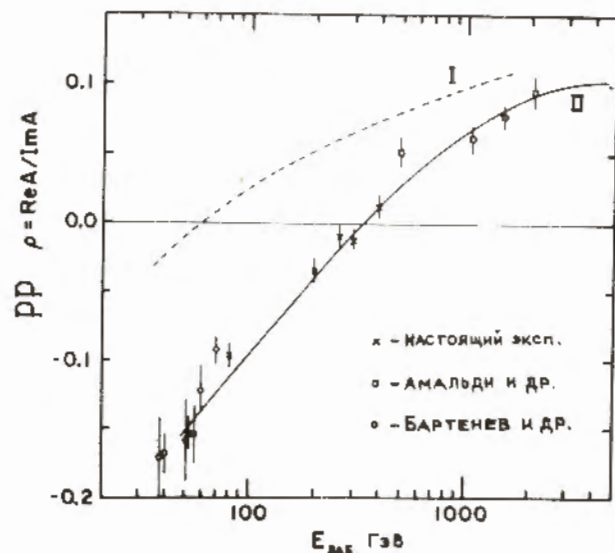


Рис. 6. ρ -параметр для pp -рассеяния. Пунктирная кривая I показывает вклад померона /6/, сплошная кривая II вычислена по дисперсионному соотношению /5/. Экспериментальные точки: o - [17], o - [5], x - настоящая работа.

Дифференциальные сечения упругого pd -рассеяния приведены в табл.1. Они также описываются формулой /1/. В этом случае ядерную амплитуду можно параметризовать в виде суммы экспонент /4,12/ :

$$f_n = \frac{\sigma_{tot}^{pd}}{4\pi\hbar} (\rho_{pd} + i) e^{bt/2} [0,34 e^{141,5t/4} + 0,58 e^{26,1t/4} + 0,08 e^{15,5t/4}], \quad /7/$$

где функции $b(S)$ и σ_{tot}^{pd} вычисляются по формулам /3,8/ /4,10,13/

$$\sigma_{tot}^{pd} = 99,73 - 9,40 \ln S_{pd} + 0,829 \ln^2 S_{pd}. \quad /8/$$

Кулоновская амплитуда имеет вид

$$f_c = \frac{2\alpha\hbar}{t} \sigma_p(t) G_d(t) e^{i\alpha\phi},$$

где $G_d(t) = e^{(25,9t + 80t^2)/2}$, $\alpha\phi = 2\alpha \ln\left(\frac{1,06\hbar}{R\sqrt{|t|}}\right)$ и $R = 2,7 \cdot \sqrt{10} \text{ мб}^{1/2}$.

В табл.2 приведены результаты измерения ρ_{pd} . Эти данные хорошо описываются эмпирической формулой

$$\rho_{pd}(S) = (-0,450 \pm 0,035) + (0,070 \pm 0,006) \ln S_{pp}. \quad /9/$$

Основной вклад в систематическую ошибку величин ρ_{pd} ($\pm 0,009$) и ρ_{pp} ($\pm 0,008$) вносит неопределенность положения детекторов /0,15 мрад/.

На рис.7 показана величина ρ_{pd} вместе с результатами, опубликованными ранее /6/. Сплошная линия на рисунке показывает наши данные о ρ_{pp} /формула 4/.

Для понимания связи между ρ_{pd} и ρ_{pp} мы используем глауберовское приближение. Дейтронную амплитуду выражаем в виде

$$f_d = f_p + f_n + i\hbar \langle r^{-2} \rangle_d f_p f_n;$$

$$\langle r^{-2} \rangle_d = I_G \approx 0,033 \text{ мб}^{-1}. \quad /10/$$

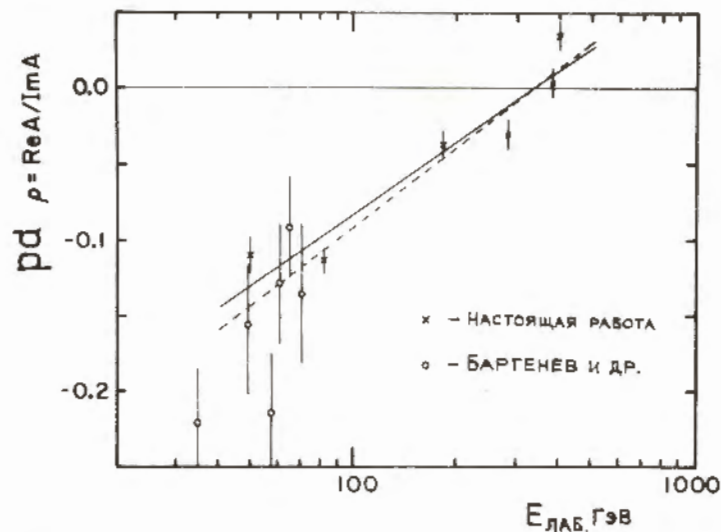


Рис.7. ρ -параметр для pd -рассеяния. Сплошная кривая $\rho(S) = -0,45 \pm 0,07 \ln S_{pp}$ - описание pd -результатов. Пунктирная линия - формула /4/ - описание pp -результатов. Экспериментальные точки: o - /6/, x - настоящая работа.

Здесь $\langle r^{-2} \rangle_d$ - обратный квадрат радиуса дейтрона, I_G - интеграл Глаубера, который обсуждается в следующем разделе.

Полагаем

$$f_p(0) = f_n(0) = \frac{\sigma_{tot}}{4\pi\hbar} (\rho_{pp} + i).$$

Опустим член порядка ρ_{pp}^2 и перепишем /10/ в виде

$$f_d = \frac{\sigma_{tot}}{2\pi\hbar} \left[\rho_{pp} (1 - \delta) + i \left(1 - \frac{\delta}{2}\right) \right], \quad /11/$$

где $\delta \equiv \langle r^{-2} \rangle \frac{\sigma_{tot}}{4\pi} \approx 0,111$ - параметр экранирования.

Из уравнения имеем

$$\rho_{pd} = \frac{\text{Re} f_d}{\text{Im} f_d} \approx \rho_{pp} \frac{(1 - \delta)}{(1 - \delta/2)} \approx 0,941 \rho_{pp}, \quad /12/$$

что достаточно хорошо согласуется с данными, приведенными в табл. 2 и 3 и на рис. 7.

Видно, что обе функции, ρ_{pp} и ρ_{pn} , принимают нулевое значение при энергии 335 ГэВ. Из наших данных, выраженных формулами /4/ и /9/, находим $\rho_1(pn)/\rho_1(pp) = 0,92 \pm 0,11$, что хорошо согласуется с выводом /12/. Таким образом, предположение об эквивалентности протона и нейтрона в упругом рассеянии подтверждается результатами настоящего эксперимента вплоть до энергии 400 ГэВ.

5. Вычисление ρ_{pn}

В глауберовском приближении /11,14-18/ дифференциальное сечение упругого pn -рассеяния можно записать в виде

$$\frac{d\sigma}{dt} = \pi |S(\frac{t}{4}) (A_c + A_p + A_n) + A_G|^2, \quad /13/$$

где введены следующие обозначения:

$$A_c = 2 \frac{\alpha \hbar}{t} e^{b_{pp} t/2} e^{i\eta},$$

$$A_p = e^{iX_{cp}} \frac{\sigma_{pp}}{4\pi \hbar} (\rho_{pp} + i) e^{b_{pp} t/2},$$

$$A_n = e^{iX_{cn}} \frac{\sigma_{pn}}{4\pi \hbar} (\rho_{pn} + i) e^{b_{pn} t/2},$$

$$A_G = e^{iX_{cnp}} \frac{\hbar \sigma_{pp} \sigma_{pn}}{(4\pi \hbar)^2} (\rho_{pp} + i)(\rho_{pn} + i) e^{(b_{pp} + b_{pn})t/2} I_G$$

$S(\frac{t}{4})$ - формфактор дейтрона. η , X_{cp} , X_{cn} , X_{cnp} - фазы соответствующих амплитуд.

Так как не существует какой-либо информации о t -зависимости величин ρ_{pp} и ρ_{pn} , мы предполагали их не зависящими от t . I_G - глауберовский интеграл:

$$I_G = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) e^{b_{pp} t/2} e^{b_{pn} t/2} dt.$$

При вычислении фаз использовались формулы, приведенные в работе /12/.

$$X_{cp} = 0,10, \quad X_{cn} = 0,11, \quad X_{cnp} = 0,10,$$

$$\eta = (2/137,03) \{ \ln [2P_{\text{лаб.}} / \sqrt{|t|}] - 0,577 \}.$$

Полные сечения $\sigma_{pp} = \sigma_{pn}$, параметры наклона $b_{pn} = b_{pp}$ и ρ_{pp} вычисляются по формулам /2,3,4/.

Сферический дейтронный формфактор $S_0(t/4)$ представляется суммой экспонент

$$S(\frac{t}{4}) \approx S_0(\frac{t}{4}) \approx A_1 e^{B_1 t/4} + A_2 e^{B_2 t/4} + (1 - A_1 - A_2) e^{B_3 t/4}$$

с коэффициентами, которые были уже даны в формуле /7/. Расчеты показывают, что включение в /13/ квадрупольного формфактора заметно сказывается только при больших значениях $|t|$, а при максимальных значениях, которые достигаются в настоящем эксперименте, его вклад составляет -1,6%.

Дифференциальное сечение упругого pn -рассеяния описывается формулой /13/. Свободными параметрами являются ρ_{pn} и I_G . Результаты их вычисления представлены в табл. 3 и показаны на рис. 8 и 9. Величина ρ_{pn} имеет большие статистические ошибки. Систематическая ошибка значений ρ_{pn} /она не показана на рис. 8/ сравнима со статистической ошибкой и обусловлена неопределенностью в вы-

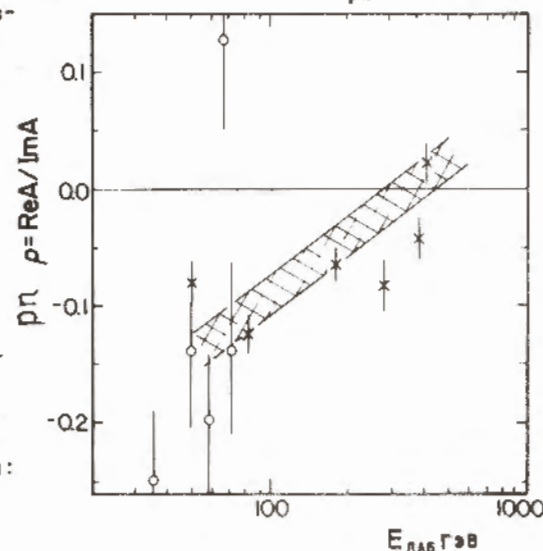


Рис. 8. ρ -параметр pn -рассеяния. Линии вычислены по формуле /4/, описывающей pp -данные. Экспериментальные точки: \circ - /8/, \times - настоящая работа.

боре формфактора дейтрона $S(\frac{t}{4})$. Для наглядного сопоставления ρ_{pd} с ρ_{pp} на рис.8 приведен коридор ошибок для величины ρ_{pp} .

Поправка на экранирование показана на рис.9. Параметр ρ_{pd} несильно зависит от выбора b_{pd} , например, использование эмпирического выражения $b_{pd} = 5,57 + 1,15 \ln S_{pp}$ вместо $b_{pd} = b_{pp}$ смещает значения ρ_{pd} вверх на одно стандартное отклонение.

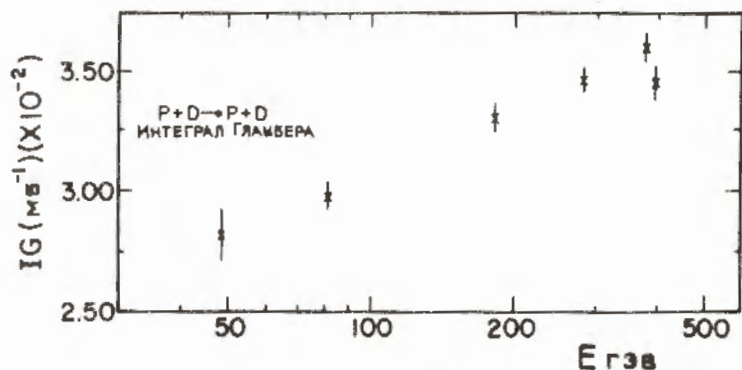


Рис.9. Интеграл Глаубера $I_G(E)$.

В выражении /13/ для дифференциального сечения опущен вклад кулоновской амплитуды в член, описывающий двойное рассеяние. Эта проблема рассмотрена в работе /12/, где показано, что точная формула Глаубера, включающая все члены двойного рассеяния, отличается от приближенного выражения /13/ на ~2%.

Разность значений ρ_{pd} , полученная по двум указанным формулам, составляет ~0,03.

Другая сложность заключалась в том, что в области наших энергий неупругие промежуточные состояния могут также вносить вклад в член двойного рассеяния. Вклады событий от упругих и неупругих взаимодействий имеют, вообще говоря, неодинаковую t -зависимость. Для оценки влияния этой проблемы на наш результат мы определяем ρ_{pd} другим методом, использующим глауберовскую формулу для описания упругого pd -рассеяния вперед. Воспользовавшись выражением /10/ и оптической теоремой, можно записать

$$\rho_{pd} = \frac{1}{\sigma_{pd}} \left\{ (\sigma_{pd} \rho_{pd} - \sigma_{pp} \rho_{pp}) \left(1 + \frac{\langle r^{-2} \rangle_d}{4\pi} \sigma_{pp} \right) + (\sigma_{pd} - \sigma_{pp}) \frac{\langle r^{-2} \rangle_d}{4\pi} \sigma_{pp} \rho_{pp} \right\}. \quad /14/$$

Все величины, входящие в правую часть /14/, определены нами выше /раздел 4, табл.2,3/.

Ошибка в ρ_{pd} из-за неопределенностей в члене двойного рассеяния оказывается в этом подходе весьма малой. Неопределенность в $I_G \sim 20\%$ приводит к ошибке в ρ_{pd} , составляющей $\Delta \rho_{pd} \approx 0,005$.

Результаты, полученные по формулам /13/ и /14/, оказываются близкими /см. табл.3 и 4/.

Расчеты по дисперсионным соотношениям хорошо согласуются с данными настоящего эксперимента о величине ρ_{pp} , а модель с одним помером противоречит им.

Функции ρ_{pp} и ρ_{pd} принимают нулевое значение при энергии ~335 ГэВ*. Приближение Глаубера использовано для получения величины ρ_{pd} , оказалось, что $\rho_{pd} \approx \rho_{pp}$. Поправка на экранирование растет с возрастанием энергии /см. рис.9/, но остается малой / $\leq 0,03$ мб⁻¹ /.

В заключение мы благодарим сотрудников группы внутренних мишеней ФНАЛ во главе с доктором Томом Нэшем. Выражаем искреннюю благодарность В.В.Смелянскому за помощь в эксплуатации струйной газовой мишени и профессору В.А.Матвееву за интересные обсуждения полученных результатов.

Специалисты ОИЯИ высоко ценят поддержку и гостеприимство, оказанные им во время пребывания в США дирекцией и многими сотрудниками Лаборатории имени Э.Ферми.

* Данные при энергии 49 и 397 ГэВ имеют систематическую ошибку больше, чем при других энергиях. Если данные при этих энергиях опустить при фитировании, то $\rho_{pd} = (-0,473 \mp 0,062) + (0,073 \mp 0,007) \ln S_{pp}$.

Таблица 1

Дифференциальные сечения $d\sigma/dt$ упругого pp -и pd -рассеяния

$-t$ $((\text{ГэВ}/c)^2)$	$d\sigma/dt$ $(\text{мб}/(\text{ГэВ}/c)^2)$	$\Delta(d\sigma/dt)$ $(\text{мб}/(\text{ГэВ}/c)^2)$	$-t$ $((\text{ГэВ}/c)^2)$	$d\sigma/dt$ $(\text{мб}/(\text{ГэВ}/c)^2)$	$\Delta(d\sigma/dt)$ $(\text{мб}/(\text{ГэВ}/c)^2)$
	$pp \rightarrow pp$ 52 ГэВ			$pd \rightarrow pd$ 49 ГэВ	
	Неопределенность в нормировке 0,90%			Неопределенность в нормировке 0,58%	
0,00063	765,90	17,34	0,00077	756,23	21,98
0,00065	724,49	16,61	0,00100	596,68	14,61
0,00076	553,59	7,54	0,00150	395,00	8,97
0,00100	366,71	5,50	0,00178	341,63	13,20
0,00124	263,87	5,41	0,00184	334,00	17,17
0,00131	257,86	7,28	0,00212	360,62	12,88
0,00132	244,52	3,99	0,00219	313,55	12,26
0,00133	248,51	7,11	0,00235	311,44	5,60
0,00159	203,57	5,66	0,00243	320,19	5,68
0,00161	191,74	5,44	0,00268	299,16	4,58
0,00162	191,11	3,39	0,00284	289,46	8,86
0,00193	161,20	3,82	0,00291	293,72	8,88
0,00205	152,86	2,38	0,00304	286,02	4,31
0,00214	149,05	3,25	0,00357	281,07	7,68
0,00223	150,19	5,25	0,00407	258,64	7,54
0,00225	143,14	5,12	0,00412	253,59	4,42
0,00242	129,94	2,66	0,00415	259,15	7,55
0,00248	136,74	3,88	0,00438	254,69	6,40
0,00249	134,87	2,78	0,00456	249,00	3,67
0,00280	117,62	2,58	0,00502	243,61	5,79
0,00302	115,44	2,80	0,00510	239,98	4,32
0,00339	101,05	3,19	0,00588	223,14	3,68
0,00342	101,73	3,19	0,00671	219,15	3,81
0,00344	108,44	2,47	0,00749	197,37	5,83
0,00383	98,71	3,14	0,00929	206,45	8,39
0,00386	102,74	3,21	0,01070	178,40	3,26
0,00409	94,06	2,07	0,01152	176,33	5,28
0,00435	102,48	2,72	0,01227	174,95	6,29
0,00457	92,73	1,90	0,01402	156,46	3,49
0,00466	94,36	1,98	0,01484	136,61	7,13
0,00483	89,36	3,09	0,01500	150,11	7,64
0,00486	90,75	3,12	0,01529	150,54	3,13
0,00518	88,12	1,90	0,01563	146,17	3,38

0,00561	90,78	2,15	0,01662	139,45	2,77
0,00593	83,83	1,91	0,01766	138,27	4,00
0,00633	87,52	2,00	0,01943	126,05	2,66
0,00647	82,55	2,88	0,02056	125,10	4,12
0,00651	85,63	1,96	0,02126	116,61	2,03
0,00652	84,86	2,93	0,02264	106,90	3,11
0,00708	81,54	2,23	0,02383	107,58	2,30
0,00713	82,76	2,25	0,02490	102,38	3,89
0,00739	80,21	1,61	0,02511	102,29	3,91
0,00780	82,02	2,01	0,02610	99,90	1,77
0,00803	77,13	1,58	0,02851	87,41	3,34
0,00842	77,00	2,59	0,02874	91,93	3,32
0,00889	78,85	1,48	0,02914	86,07	1,88
0,00944	77,95	2,25	0,02961	84,86	1,67
0,00946	77,32	1,69	0,03096	83,26	2,00
0,00986	77,61	1,93	0,03304	75,81	1,59
0,01033	77,87	1,75	0,03477	69,44	1,59
0,01057	74,22	2,26	0,03623	71,12	1,61
0,01061	75,22	1,51	0,03628	73,56	2,96
0,01171	74,24	1,65	0,03653	73,40	3,03
0,01218	73,68	1,78	0,03902	62,88	1,37
0,01253	70,54	1,28	0,04137	55,51	1,32
0,01340	73,47	1,56	0,04192	58,53	1,47
0,01424	68,36	1,49	0,04197	61,04	2,34
0,01474	70,66	1,58	0,04225	57,41	2,33
0,01530	70,41	1,47	0,04744	48,33	1,08
0,01555	69,13	1,33	0,04803	46,73	1,16
0,01565	68,91	1,65	0,04808	50,45	2,19
0,01700	68,05	1,38	0,05392	37,77	0,96
0,01754	63,63	1,45	0,05456	36,91	0,89
0,01797	64,95	1,40	0,05482	36,01	1,31
0,02000	62,77	1,28	0,05487	36,86	1,30
0,02068	65,33	1,41	0,06151	31,12	0,83
0,02175	63,97	1,47			
0,02334	60,02	1,19			
0,02514	58,32	1,00			
0,02753	57,49	1,22			
0,02877	58,32	1,25			
0,03060	55,21	1,07			

$pp \rightarrow pp$
80 ГэВ
Неопределенность
в нормировке 0,69%

0,00066	672,58	13,61
0,00067	655,77	13,43

$pd \rightarrow pd$
82 ГэВ
Неопределенность
в нормировке 0,47%

0,00092	632,28	13,34
0,00103	549,71	12,75

0,00080	494,86	8,50	0,00106	528,00	12,34
0,00104	344,26	6,46	0,00155	402,41	9,58
0,00135	223,31	5,53	0,00159	400,19	9,46
0,00137	222,65	3,51	0,00207	332,66	5,11
0,00164	177,93	4,62	0,00233	318,22	5,44
0,00166	184,49	4,72	0,00244	312,87	5,71
0,00168	173,73	3,89	0,00255	309,11	4,94
0,00200	144,74	3,05	0,00256	306,69	5,46
0,00211	138,91	2,72	0,00261	308,89	5,47
0,00220	137,74	2,60	0,00272	309,04	5,12
0,00231	130,45	2,67	0,00354	277,05	4,59
0,00250	124,13	2,58	0,00375	262,49	5,13
0,00288	110,12	2,13	0,00382	263,09	5,14
0,00311	105,17	2,22	0,00394	253,62	4,13
0,00348	101,52	2,59	0,00430	241,01	4,42
0,00351	99,61	2,56	0,00445	247,89	4,83
0,00353	97,61	2,06	0,00460	238,91	4,09
0,00392	96,98	2,22	0,00483	236,41	4,24
0,00395	95,84	2,20	0,00533	240,42	5,66
0,00419	89,58	1,69	0,00590	221,88	3,96
0,00446	89,42	1,44	0,00653	215,14	3,10
0,00468	88,13	1,64	0,00691	209,24	4,53
0,00478	86,57	1,55	0,00699	210,84	3,39
0,00495	88,47	2,42	0,00700	210,94	4,56
0,00498	88,69	2,42	0,00718	209,39	3,62
0,00575	83,00	1,20	0,00737	201,09	3,06
0,00648	80,75	1,52	0,00766	201,05	3,20
0,00663	81,45	2,16	0,00775	209,04	2,76
0,00666	80,61	1,38	0,00858	199,06	3,26
0,00667	80,76	2,15	0,00899	192,28	3,05
0,00724	76,19	1,84	0,00967	185,44	3,89
0,00729	76,80	1,84	0,00974	185,35	2,71
0,00755	76,16	1,29	0,00977	182,99	3,85
0,00797	77,09	1,54	0,01067	172,35	2,67
0,00966	72,01	1,29	0,01125	175,61	2,11
0,01007	72,47	1,42	0,01188	168,33	4,64
0,01083	72,07	1,28	0,01199	171,87	4,70
0,01197	70,67	1,24	0,01208	168,79	3,01
0,01243	70,58	1,45	0,01363	154,66	2,05
0,01279	67,51	1,09	0,01403	154,10	2,33
0,01294	71,37	1,41	0,01445	150,73	2,76
0,01452	67,81	1,26	0,01454	148,29	2,48
0,01503	68,37	1,44	0,01458	148,25	2,73
0,01594	63,07	1,30	0,01638	138,83	2,26
0,01732	64,81	1,24	0,01667	137,69	2,73
0,01788	65,23	1,29	0,01713	137,48	2,48

0,01831	64,74	I,18	0,01727	137,25	2,48
0,01858	63,08	I,18	0,01843	127,24	2,11
0,01960	63,72	I,16	0,01923	124,01	1,90
0,02038	61,29	I,10	0,01970	123,88	1,67
0,02106	60,18	I,15	0,02134	121,02	2,66
0,02215	59,32	I,16	0,02145	112,81	2,47
0,02377	58,02	I,01	0,02148	116,94	2,60
0,02559	58,74	I,14	0,02366	103,69	1,59
0,02802	56,46	I,04	0,02457	100,60	1,97
0,02928	56,34	I,43	0,02473	101,70	1,98
			0,02706	90,98	1,83
			0,02763	95,69	1,56
			0,02835	88,48	1,31
			0,03129	82,09	1,17
			0,03193	78,34	1,85
			0,03211	78,48	1,85
			0,03369	75,40	1,36
			0,03476	71,00	0,98
			0,03758	63,70	1,60
			0,03773	65,05	1,03
			0,03778	64,67	1,62
			0,03954	63,31	1,07
			0,04066	57,93	0,99
			0,04347	52,59	1,39
			0,04368	53,96	1,41
			0,04509	50,35	0,75
			0,04581	51,40	0,91
			0,04674	47,21	0,91
			0,05355	37,85	0,78
			0,05489	36,83	0,66
			0,05921	31,88	0,60
			0,06054	30,03	0,66
			0,06226	29,21	0,56
			0,06655	25,35	0,57
			0,06797	24,49	0,54
			0,06978	22,08	0,46
			0,07583	18,81	0,50

pp - pp
199 ГэВ
Неопределенность
в нормировке 0,56%

0,00066	689,53	15,50
0,00068	648,06	14,79

pd - pd
182 ГэВ
Неопределенность
в нормировке 0,33%

0,00106	506,26	11,59
0,00109	489,49	11,38

0,00080	477,58	6,36	0,00159	364,84	8,74
0,00104	319,27	4,77	0,00164	360,47	8,53
0,00129	231,56	4,69	0,00212	311,80	4,63
0,00136	216,36	6,30	0,00239	299,09	5,03
0,00137	210,40	3,45	0,00251	289,75	5,17
0,00138	215,02	6,28	0,00262	294,49	4,63
0,00165	164,55	4,76	0,00263	295,11	5,09
0,00167	165,29	4,76	0,00269	293,77	5,06
0,00169	165,03	2,99	0,00280	287,06	4,68
0,00201	139,63	3,34	0,00364	264,40	4,27
0,00212	132,94	2,06	0,00386	249,10	4,77
0,00222	130,00	2,81	0,00392	241,63	4,68
0,00231	127,61	4,51	0,00405	245,73	3,86
0,00233	119,68	4,34	0,00442	240,36	4,27
0,00251	116,06	1,94	0,00457	236,12	4,47
0,00258	118,37	2,39	0,00473	237,53	3,96
0,00290	106,40	2,31	0,00496	227,19	3,98
0,00313	107,35	2,56	0,00514	226,07	2,78
0,00350	92,76	2,93	0,00547	227,94	5,32
0,00353	92,59	2,92	0,00606	222,84	3,81
0,00356	94,06	2,14	0,00671	208,02	2,88
0,00396	98,73	3,04	0,00710	208,59	4,39
0,00422	88,99	1,90	0,00718	203,53	3,20
0,00450	86,65	2,28	0,00719	202,77	4,31
0,00472	84,33	1,67	0,00738	200,57	3,35
0,00482	83,96	1,73	0,00757	204,18	3,01
0,00499	87,60	2,99	0,00787	191,43	2,98
0,00503	81,28	2,87	0,00796	199,77	2,51
0,00535	84,84	1,77	0,00861	191,76	3,09
0,00580	78,41	1,80	0,00924	184,82	2,84
0,00613	79,47	1,76	0,00993	180,14	3,72
0,00654	81,71	1,83	0,01000	182,36	2,55
0,00669	81,21	2,76	0,01003	178,32	3,69
0,00672	77,66	1,24	0,01095	171,64	2,57
0,00673	77,08	2,67	0,01156	168,42	1,92
0,00731	81,00	2,18	0,01220	166,41	4,46
0,00736	79,36	2,15	0,01231	167,26	4,47
0,00762	76,64	1,47	0,01241	163,40	2,84
0,00805	77,77	1,88	0,01400	152,55	1,94
0,00847	77,07	1,74	0,01440	150,90	2,24
0,00869	74,95	2,46	0,01484	148,38	2,67
0,00917	76,53	1,39	0,01493	149,32	2,41
0,00975	73,19	1,56	0,01497	150,86	2,69
0,01018	73,78	1,79	0,01682	135,47	2,15
0,01066	71,94	1,58	0,01712	132,72	2,58
0,01095	73,38	1,43	0,01759	132,38	2,35

0,01209	70,52	1,52	0,01773	132,72	2,35
0,01256	69,38	1,63	0,01893	125,25	2,03
0,01292	69,48	1,21	0,01974	119,60	1,78
0,01309	71,33	1,43	0,02022	122,59	1,59
0,01381	68,03	1,38	0,02190	111,11	2,43
0,01467	63,73	1,35	0,02202	110,62	2,36
0,01519	67,73	1,46	0,02206	113,08	2,46
0,01578	67,30	1,38	0,02342	106,64	1,39
0,01602	63,66	1,16	0,02430	98,78	1,50
0,01613	65,73	1,56	0,02522	96,50	1,84
0,01751	64,53	1,24	0,02539	94,60	1,82
0,01808	63,15	1,41	0,02778	89,06	1,74
0,01851	63,76	1,34	0,02836	91,25	1,46
0,02060	60,71	1,21	0,02910	84,37	1,22
0,02130	62,84	1,31	0,03171	77,10	1,03
0,02241	59,55	1,33	0,03212	76,88	1,07
0,02403	59,94	1,13	0,03277	72,37	1,73
0,02589	56,54	0,92	0,03296	74,10	1,76
0,02836	54,61	1,10	0,03459	70,71	1,26
0,02964	55,47	1,15	0,03568	66,71	0,89
0,03150	52,63	0,98	0,03858	61,90	1,54
			0,03873	60,43	0,94
			0,04174	53,97	0,91
			0,04462	50,88	1,34
			0,04484	50,86	1,35
			0,04628	45,93	0,67
			0,04702	45,74	0,81
			0,04798	44,15	0,85
			0,05496	35,08	0,72
			0,05634	32,39	0,59
			0,06077	29,75	0,56
			0,06214	27,74	0,61
			0,06390	26,25	0,50
			0,06976	21,73	0,48
			0,07163	19,61	0,41
			0,07783	16,88	0,44

pp → pp
261 ГэВ
Неопределенность
в нормировке 0,57%

0,00050	1068,32	22,69
0,00067	639,20	14,15
0,00069	614,66	13,82
0,00081	463,77	8,51
0,00106	298,73	6,01
0,00131	226,33	4,45
0,00138	218,49	5,98

pd → pd
281 ГэВ
Неопределенность
в нормировке 0,38%

0,00110	495,83	13,36
0,00160	358,86	9,77
0,00165	352,58	9,67
0,00214	325,55	5,70
0,00241	298,78	5,89
0,00252	294,45	6,18
0,00264	302,38	5,51

0,00139	205,22	4,65	0,00265	290,07	5,84
0,00140	195,77	5,61	0,00270	291,93	5,84
0,00167	170,85	4,91	0,00282	290,72	5,64
0,00169	164,33	4,79	0,00366	269,21	5,06
0,00171	156,63	3,84	0,00383	253,11	5,47
0,00203	136,81	3,18	0,00395	245,89	5,38
0,00215	131,15	2,81	0,00408	246,45	4,58
0,00224	126,84	2,62	0,00445	249,12	5,12
0,00233	125,13	2,78	0,00460	245,09	5,42
0,00235	118,05	2,69	0,00476	239,57	4,63
0,00253	112,21	2,52	0,00500	240,47	4,92
0,00261	115,89	2,37	0,00517	237,71	3,32
0,00292	103,05	2,17	0,00551	226,12	6,05
0,00316	101,05	2,33	0,00610	217,09	4,37
0,00343	94,17	1,47	0,00675	214,27	3,53
0,00353	97,86	2,76	0,00685	213,20	3,24
0,00356	96,85	2,74	0,00715	208,44	5,01
0,00359	94,88	2,17	0,00723	206,86	3,83
0,00399	91,73	2,34	0,00724	205,17	4,96
0,00402	95,68	2,39	0,00743	208,64	4,11
0,00425	88,20	1,79	0,00763	206,30	3,56
0,00454	86,88	1,45	0,00793	206,54	3,78
0,00475	85,24	1,70	0,00801	198,92	2,96
0,00487	86,59	1,62	0,00887	192,80	3,59
0,00503	84,11	2,58	0,00930	189,98	3,41
0,00507	86,18	2,62	0,01000	180,30	4,31
0,00584	80,88	1,19	0,01007	176,98	2,89
0,00617	80,81	1,63	0,01010	179,84	4,29
0,00659	81,33	1,63	0,01103	171,76	3,00
0,00674	77,13	2,26	0,01164	171,93	2,33
0,00677	81,17	1,46	0,01228	173,82	5,36
0,00679	76,68	2,25	0,01240	163,14	5,13
0,00736	75,33	2,00	0,01250	161,50	3,24
0,00741	77,40	2,04	0,01409	148,70	2,21
0,00767	75,52	1,34	0,01450	148,70	2,61
0,00810	75,16	1,63	0,01494	145,88	3,05
0,00924	75,66	1,33	0,01504	145,89	2,74
0,00981	73,90	1,40	0,01507	151,33	3,12
0,01024	72,09	1,50	0,01694	134,92	2,49
0,01215	70,13	1,28	0,01724	142,31	3,23
0,01263	71,17	1,58	0,01771	134,14	2,76
0,01299	67,66	1,14	0,01785	134,57	2,75
0,01475	67,74	1,35	0,01906	124,83	2,37
0,01586	69,08	1,38	0,01988	118,68	2,06
0,01622	64,91	1,44	0,02037	123,16	1,89
0,01760	65,35	1,36	0,02206	108,24	2,71

0,01818	63,44	1,37	0,02217	113,18	2,83
0,01860	61,80	1,23	0,02221	107,31	2,69
0,01889	65,14	1,24	0,02447	102,12	1,62
0,01994	65,30	1,28	0,02557	94,42	2,11
0,02070	62,04	1,20	0,02798	91,62	2,11
0,02142	61,68	1,27	0,02856	88,13	1,63
0,02252	61,09	1,30	0,02931	87,21	1,48
0,02414	60,04	1,10	0,03194	78,40	1,24
0,02603	58,18	1,23	0,03235	77,71	1,27
0,02978	55,42	1,57	0,03300	79,04	2,17
			0,03319	79,71	2,18
			0,03483	67,97	1,39
			0,03594	67,19	1,07
			0,03885	61,86	1,80
			0,03901	59,37	1,09
			0,04087	58,13	1,16
			0,04203	52,49	1,01
			0,04494	47,16	1,44
			0,04516	49,56	1,49
			0,04661	45,02	0,77
			0,04735	46,74	0,98
			0,04832	44,18	1,01
			0,05535	35,33	0,84
			0,05675	33,53	0,71
			0,06120	29,83	0,66
			0,06258	26,87	0,67
			0,06436	25,61	0,58
			0,06879	21,31	0,57
			0,07026	21,07	0,55
			0,07839	15,94	0,49

pp - pp 303 ГэВ			pd - pd 379 ГэВ		
Неопределенность в нормировке 0,50%			Неопределенность в нормировке 0,32%		
0,00066	670,91	13,86	0,00107	489,67	12,82
0,00067	649,69	13,54	0,00110	436,35	11,87
0,00080	463,69	5,69	0,00161	356,91	9,64
0,00104	312,73	4,29	0,00165	362,10	9,55
0,00130	229,53	4,25	0,00214	317,62	5,25
0,00137	204,41	5,59	0,00241	305,67	5,71
0,00138	207,95	3,13	0,00253	283,63	5,61
0,00165	167,59	4,45	0,00284	290,78	4,94
0,00166	167,99	4,45	0,00265	289,50	5,58
0,00169	163,20	2,71	0,00271	291,25	5,58
0,00201	142,50	3,10	0,00202	297,01	5,36

0,00213	129,16	1,85	0,00389	256,09	5,42
0,00223	127,82	2,56	0,00396	253,99	5,35
0,00231	123,06	4,11	0,00408	255,56	4,42
0,00232	118,86	4,04	0,00446	251,78	4,94
0,00252	116,13	1,77	0,00461	238,54	4,91
0,00259	120,52	2,24	0,00477	237,09	4,26
0,00290	106,01	2,10	0,00501	238,39	4,60
0,00314	103,67	2,30	0,00518	242,16	3,15
0,00351	99,96	2,82	0,00552	222,00	5,83
0,00352	96,68	2,76	0,00611	222,78	4,25
0,00357	96,36	2,01	0,00677	215,24	3,29
0,00397	93,15	2,67	0,00717	214,22	4,92
0,00398	91,52	2,64	0,00725	214,19	3,72
0,00423	88,20	1,74	0,00726	210,84	4,87
0,00473	86,38	1,58	0,00744	202,34	3,68
0,00483	86,98	1,64	0,00764	199,42	3,18
0,00500	87,04	2,72	0,00794	203,68	3,49
0,00501	87,62	2,73	0,00803	201,97	2,82
0,00537	85,03	1,61	0,00889	185,79	3,32
0,00581	82,26	1,74	0,00932	189,63	3,25
0,00611	80,59	1,64	0,01002	187,12	4,42
0,00656	82,69	1,70	0,01010	183,45	2,83
0,00671	80,48	2,52	0,01013	186,70	4,40
0,00672	81,99	2,56	0,01106	176,82	2,90
0,00674	80,46	1,64	0,01166	170,83	2,16
0,00733	78,06	1,94	0,01232	163,44	4,87
0,00735	79,55	1,96	0,01243	160,60	4,84
0,00764	76,59	1,36	0,01253	158,52	3,00
0,00804	77,25	1,72	0,01413	154,45	2,16
0,00850	80,62	1,66	0,01454	151,03	2,60
0,00868	75,77	2,27	0,01498	148,55	2,92
0,00920	77,66	1,29	0,01508	153,71	2,72
0,00973	76,36	1,95	0,01511	146,78	2,90
0,00978	74,16	1,45	0,01728	138,20	2,94
0,01021	75,83	1,70	0,01776	136,77	2,67
0,01069	74,25	1,50	0,01790	135,55	2,65
0,01098	76,38	1,35	0,01911	125,43	2,37
0,01212	70,15	1,39	0,01993	124,29	2,02
0,01260	70,30	1,52	0,02042	123,39	1,76
0,01296	69,84	1,11	0,02212	113,68	2,68
0,01313	71,44	1,30	0,02224	108,04	2,58
0,01385	69,00	1,27	0,02228	109,42	2,62
0,01471	66,75	1,29	0,02453	104,83	1,84
0,01524	67,80	1,32	0,02547	94,89	2,04
0,01607	65,58	1,09	0,02564	97,43	2,08
0,01618	64,82	1,41	0,02806	88,61	1,93

0,01756	64,55	1,13	0,02864	89,77	1,57
0,01813	64,46	1,32	0,02939	85,37	1,37
0,01857	63,04	1,21	0,03203	76,05	1,13
0,02066	60,94	1,12	0,03245	77,96	1,22
0,02137	61,62	1,17	0,03310	78,34	2,03
0,02248	61,71	1,28	0,03329	78,39	2,01
0,02597	58,69	0,87	0,03494	68,30	1,33
0,02845	57,12	1,05	0,03604	67,24	1,01
0,03160	56,96	0,96	0,03897	59,26	1,68
			0,03912	60,27	1,06
			0,03918	61,40	1,72
			0,04215	52,77	0,97
			0,04530	51,35	1,51
			0,04847	44,07	0,95
			0,05552	34,81	0,81
			0,05692	33,38	0,67
			0,06278	26,79	0,67
			0,06455	25,07	0,55
			0,06901	22,39	0,56
			0,07048	21,44	0,53
			0,07236	19,01	0,45
			0,07863	16,04	0,48

pp → pp
398 ГэВ
Неопределенность
в нормировке 0,52%

pd → pd
397 ГэВ
Неопределенность
в нормировке 0,36%

0,00047	1189,59	25,55	0,00083	623,92	9,80
0,00064	659,48	14,99	0,00108	467,53	10,89
0,00100	318,31	6,52	0,00159	339,93	14,24
0,00125	237,35	4,69	0,00163	335,24	6,16
0,00131	219,13	6,10	0,00188	326,32	10,37
0,00133	211,08	3,78	0,00224	318,28	10,55
0,00160	177,24	5,10	0,00229	295,53	10,45
0,00162	164,27	4,85	0,00254	282,28	4,16
0,00164	172,79	4,26	0,00262	294,11	4,47
0,00195	138,26	3,27	0,00290	278,01	4,88
0,00206	132,95	2,90	0,00300	269,49	7,26
0,00216	133,34	2,75	0,00305	274,51	11,54
0,00225	125,61	2,82	0,00328	260,60	5,50
0,00227	124,53	2,81	0,00380	258,14	6,04
0,00245	121,57	2,76	0,00431	255,22	6,28
0,00252	116,95	2,41	0,00437	251,88	6,22
0,00283	105,91	2,26	0,00438	239,75	3,36
0,00307	103,98	2,41	0,00472	239,26	3,15
0,00343	100,37	2,85	0,00485	239,41	2,88

0,00346	96,01	2,78	0,00534	234,34	2,75
0,00349	96,61	2,22	0,00548	238,19	4,44
0,00392	93,52	2,39	0,00633	222,26	2,83
0,00414	91,91	1,86	0,00714	213,64	3,38
0,00443	90,80	1,51	0,00721	212,77	4,58
0,00463	87,08	1,74	0,00792	206,32	5,04
0,00474	87,90	1,66	0,00909	195,55	2,44
0,00491	86,13	2,65	0,00988	195,93	6,87
0,00495	82,92	2,60	0,00996	187,85	4,49
0,00527	85,95	1,45	0,00997	191,70	6,68
0,00571	83,91	1,23	0,01049	180,48	2,35
0,00604	83,43	1,69	0,01237	175,39	4,45
0,00646	83,82	1,67	0,01284	162,43	3,16
0,00661	79,44	2,32	0,01306	165,51	5,25
0,00664	83,28	1,50	0,01398	157,18	2,02
0,00665	81,49	2,35	0,01505	148,92	2,86
0,00722	81,04	2,16	0,01580	147,99	6,34
0,00727	81,43	2,17	0,01592	143,27	6,33
0,00752	79,59	1,41	0,01643	137,99	2,45
0,00796	79,01	1,71	0,01667	139,15	2,73
0,00964	73,31	1,40	0,01783	130,20	2,18
0,01008	74,96	1,55	0,01949	123,30	3,01
0,01085	75,38	1,45	0,02191	118,09	3,42
0,01197	71,18	1,30	0,02203	115,59	2,27
0,01246	73,31	1,61	0,02556	104,03	3,18
0,01281	70,31	1,21	0,02654	95,34	3,37
0,01299	74,57	1,61	0,02670	97,89	3,37
0,01455	68,99	1,36	0,03040	85,24	2,81
0,01509	69,20	1,63	0,03057	84,98	2,76
0,01568	70,83	1,42	0,03127	80,03	1,47
0,01602	65,71	1,48	0,03160	79,56	1,27
0,01738	66,30	1,39	0,03320	75,31	2,68
0,01797	66,29	1,45	0,03546	66,34	1,20
0,01838	64,06	1,28	0,03870	61,62	2,39
0,01868	68,03	1,30	0,03885	57,44	1,22
0,01972	66,25	1,29	0,03888	63,82	2,43
0,02047	65,65	1,27	0,04167	54,07	1,03
0,02119	64,04	1,32	0,04478	47,73	1,85
0,02230	60,87	1,29	0,04495	49,42	1,16
0,02391	60,66	1,13	0,04498	52,43	1,87
0,02579	59,26	1,26	0,05153	41,73	1,74
			0,05175	40,83	1,20
			0,05857	33,85	1,07
			0,05876	33,65	1,10
			0,06602	26,39	1,00
			0,06627	26,10	0,98

Таблица 2
Результаты анализа ρ -параметра

E /ГэВ/	$\rho = \frac{\text{Re}A}{\text{Im}A}$	$\Delta\rho$	$\Delta\rho/\Delta B$ /ГэВ/с/ ²	$\Delta\rho/\Delta\sigma$ /мб/ ⁻¹
		pp → pp	Систематическая ошибка в $\rho_{pp} \pm 0,009$	
52	-0,153	0,012	0,038	-0,033
80	-0,096	0,010	0,036	-0,035
199	-0,034	0,009	0,025	-0,039
261	-0,009	0,009	0,023	-0,032
303	-0,011	0,008	0,024	-0,083
398	+0,012	0,009	0,022	-0,028
		pd → pd	Систематическая ошибка в $\rho_{pd} \pm 0,008$	
49	-0,110	0,013	0,059	-0,011
82	-0,113	0,010	0,065	-0,011
182	-0,037	0,009	0,058	-0,008
281	-0,031	0,011	0,060	-0,007
379	+0,003	0,010	0,046	-0,007
397	+0,034	0,010	0,057	-0,008

Таблица 3
Реакция $pd \rightarrow pn$
Результаты анализа по ф./13/

E /ГэВ/	ρ_{pn}	$\Delta\rho_{pn}$	I_G /мб/ ⁻¹	ΔI_G /мб/ ⁻¹
49	-0,081	0,018	0,0281	0,0011
82	-0,127	0,013	0,0298	0,0006
182	-0,065	0,014	0,0333	0,0005
281	-0,084	0,020	0,0348	0,0006
379	-0,045	0,017	0,0362	0,0005
397	+0,021	0,017	0,0346	0,0007

Таблица 4

Реакция $pd \rightarrow pd$

Результаты анализа по формуле /14/

E /ГэВ/	ρ_{pp}	$\Delta\rho_{pp}$
49	-0,085	0,027
82	-0,127	0,021
182	-0,031	0,019
281	-0,052	0,023
379	-0,003	0,021
397	0,058	0,021

ЛИТЕРАТУРА

1. Bartenev V.D. et al. Phys.Rev., 1973, 31, p.1367.
2. Бартенев В.Д. и др. Ядерная физика. 1976, 23, с.759.
3. Bartenev V.D. et al. Phys.Rev.Lett., 1973, 31, p.1088.
4. Akimov Yu.K. et al. Phys.Rev., 1975, D12, p.3399.
5. Amaldi U. et al. Phys.Lett., 1977, 66B
6. Бартенев В.Д. и др. Ядерная физика, 1972, 15, с.1174.
Beznogikh G.G. et al. Nucl.Phys., 1973, B54, p.97.
7. Золин Л.С. и др. ЯФ, 1973, 18, с.55.
8. Безногих Г.Г. и др. ЯФ, 1973, 18, с.348.
9. Bethe H. Ann. Phys., /N.Y./, 1958, 3, p.190.
10. Carroll A.S. et al. Phys.Rev.Lett., 1974, 33, p.928.
11. Beznogikh G.G. et al. Phys.Rev., 1972, 39B, p.411.
12. Franco V., Varma G.K. Phys.Rev., 1975, D12, p.225.
13. Горин Ю.П. и др. ЯФ, 1973, 17, с.309.
14. Glauber R.J. Phys.Rev., 1955, 100, p.242.
15. Franco V., Glauber R.J. Phys.Rev., 1966, 142, p.1195;
16. Franco V., Coleman E. Phys.Rev.Lett., 1966, 17, p.827.

Рукопись поступила в издательский отдел

29 мая 1980 года.