

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

PI-85-854

АНАЛИЗ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ
В pp -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 22,4 ГэВ/с

Сотрудничество: Дубна - Алма-Ата - Кошице -
Москва - Прага - София -
Хельсинки

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1985

Е.В. Батюня, И.В. Богуславский, Д. Брунцко, В. Врба,
И.М. Граменицкий, Р. Ледницки, К.С. Медведь
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Д.И. Ермилова, Т. Темиралиев, В.В. Филиппова
Институт физики высоких энергий, Алма-Ата

П. Мурин, И. Паточка
Институт экспериментальной физики САН, Кошице

Р.К. Дементьева, И.А. Коржавина, В.И. Рудь, Л.А. Тихонова
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

С.В. Левонян
Физический институт им. П.Н. Лебедева АН СССР, Москва

И. Варва, И. Геринек, М. Локайчек, Я. Ридки, В. Шимак
Физический институт ЧСАН, Прага

А. Валкарова, М. Сук
Ядерный центр Карлова университета, Прага

З. Златанов, Х. Каназирски
Высший химико-технологический институт, София

П. Вилланен, Э. Ханмула
Отдел физики высоких энергий Хельсинкского университета

1. ВВЕДЕНИЕ

В экспериментах /1-5/ по упругому $\bar{p}p$ -рассеянию наблюдается заметная зависимость параметра наклона дифференциального сечения от переданного 4-импульса t .

Характерной особенностью упругого $\bar{p}p$ -рассеяния при $|t| < 1 \text{ ГэВ}^2$ в области энергий до 10 ГэВ является наличие структуры в дифференциальном сечении $d\sigma/dt$, проявляющейся в виде локального минимума при $|t| \sim 0,6 \text{ ГэВ}^2$, который исчезает с ростом энергии.

В данной работе проводится экспериментальное изучение упругого рассеяния в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с. Основное внимание уделяется анализу поведения дифференциального сечения в зависимости от t .

Экспериментальные данные были получены с помощью двухметровой жидководородной пузырьковой камеры "Людмила" ОИЯИ /6-8/, экспонированной в пучке сепарированных антипротонов серпуховского ускорителя.

В настоящей статье в разделе 2 обсуждается процедура выделения упругих событий, в разделе 3 представлены результаты и проводится анализ характеристик упругого $\bar{p}p$ -рассеяния при различных энергиях, в разделе 4 сформулированы основные выводы работы.

2. ПРОЦЕДУРА ОТБОРА СОБЫТИЙ

Для изучения упругого $\bar{p}p$ -рассеяния при двойном просмотре снимков с камеры "Людмила" были отобраны 33427 двухлучевых событий, которые измерялись затем на автоматических (НРД) и полуавтоматических (ПУОС, САМЕТ, SWEEPNIC, ENETRA) устройствах. Результаты измерений проходили через традиционную цепочку программ геометрического (THRESH или HYDRA-GEOM) и кинематического (GRIND или HYDRA-KINEM) анализа.

В качестве упругого события отбиралось такое, для которого гипотеза 4С-фит имела $\chi^2 \leq 18$ и не противоречила визуальной оценке ионизации протона с $P_{\text{лаб.}} \leq 1,5 \text{ ГэВ/с}$.

Некоторая доля упругих событий ($\sim 6\%$) терялась в процессе обработки из-за плохого качества снимков, наличия коротких треков вторичных взаимодействий и т.д. Часть упругих событий ($\sim 3,5\%$) из-за плохого измерения быстрой частицы прошла как IC-гипотеза " $\bar{p}pn^0$ ". Но

наибольшие потери ($\sim 10\%$) были связаны с низкой эффективностью отбора двухлучевых событий с короткими протонами, особенно если протон вылетал вдоль оптических осей фотообъективов, что проявилось в сильной анизотропии распределения по азимутальному углу φ протона в плоскости, перпендикулярной к направлению пучка.

На рис. 1 в правом верхнем углу приведено дифференциальное распределение упругих событий $d\sigma/dt$ по квадрату четырехмерного переданного импульса для интервала $0,0 < |t| < 0,3 \text{ ГэВ}^2$, откуда видно, что при $|t| < 0,05 \text{ ГэВ}^2$ потери медленных протонов остаются очень большими даже после поправок по φ . Для области же $|t| > 0,05 \text{ ГэВ}^2$ величина поправки по углу φ составляет $\sim 4\%$.



Рис. 1. Дифференциальное сечение $d\sigma/dt$ упругого $\bar{p}p$ -рассеяния при $22,4 \text{ ГэВ}/c$ в зависимости от $|t|$ (*). Справа вверху показано поведение $d\sigma/dt$ при малых $|t|$; кривая - результат аппроксимации $d\sigma/dt = A \exp(bt + ct^2)$ в интервале $0,05 < |t| < 0,3 \text{ ГэВ}^2$; o - результаты экстраполяции $d\sigma/dt$ в области $|t| < 0,05 \text{ ГэВ}^2$; Δ - оптическая точка.

Учет потерь событий при $|t| < 0,05 \text{ ГэВ}^2$ проводился экстраполяцией экспериментального распределения $d\sigma/dt$ выражением

$$d\sigma/dt = A \exp(bt + ct^2) \quad (1)$$

в оптическую точку

$$A = (d\sigma/dt)_{o.t.} = (1 + \rho^2) \sigma_{полн.}^2 / 16\pi. \quad (2)$$

Соответствующая этой процедуре оценка потерь составляет $\sim 34\%$. Подробнее эта процедура описывается в разделе 3.

Из-за больших потерь событий при малых $|t|$ для дальнейшего анализа были отобраны события с $|t| > 0,05 \text{ ГэВ}^2$, и после обрезания по квадрату недостающей массы в пределах $-0,07 < M_x^2 < 0,02 \text{ ГэВ}^2$ и учета всех поправок число упругих событий оказалось равным 9331.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При описании экспериментального распределения $d\sigma/dt$ в интервале $0,05 < |t| < 0,3 \text{ ГэВ}^2$ с помощью выражения (1) параметры A , b и c оказались равными $A = 108,4 \pm 6,0 \text{ мбн/ГэВ}^2$, $b = 13,1 \pm 0,8 \text{ ГэВ}^{-2}$ и $c = 3,7 \pm 2,8 \text{ ГэВ}^{-4}$ ($\chi^2/NDF = 14/22$). Для нормировки $d\sigma/dt$ проводилась экстраполяция экспериментальных данных из области $0,05 < |t| < 0,3 \text{ ГэВ}^2$ в оптическую точку (2). В выражении (2) полное сечение бралось равным $\sigma_{полн.} = 48,0 \pm 0,5 \text{ мбн}^{19/}$, а величина отношения ρ реальной части амплитуды упругого рассеяния вперед к мнимой полагалась равной нулю. Вычисления по дисперсионным соотношениям $/10-12/$ дают значения $\rho \approx -0,05$, и поэтому использование $\rho = 0$ приводит к погрешности в определении A не более 1% . Значение оптической точки равно $(d\sigma/dt)_{o.t.} = 117,7 \pm 2,5 \text{ мбн/ГэВ}^2$.

Дифференциальное сечение, как функция t , измеренное в данном эксперименте, представлено на рис. 1 и в таблице 1.

Величина полного упругого сечения $\sigma_{упр.} = 9,0 \pm 0,3 \text{ мбн}$ была найдена путем интегрирования $d\sigma/dt$ формулой (1) в пределах от $t = 0$ до $|t| = 0,95 \text{ ГэВ}^2$. Эта величина хорошо согласуется с экстраполированным значением $\sigma_{упр.} = 8,9 \pm 0,2 \text{ мбн}$ из работы $/13/$, которое использовалось ранее в наших работах $/6-8/$.

На рис. 2а определенное в данном эксперименте дифференциальное сечение $d\sigma/dt$ сопоставляется с данными при $5^{1/1/}$, $10, 1^{1/14/}$, $16^{1/4/}$, $25,2$ и $40,1^{1/13/}$, $32,1^{1/15/}$ и $50^{1/3/}$ ГэВ/c. Как видно из рис. 2а, локальный минимум при $|t| \sim 0,6 \text{ ГэВ}^2$, отчетливо наблюдаемый при $5 \text{ ГэВ}/c$, уже незаметен при импульсах $\sim 20 \text{ ГэВ}/c$. Наши данные при $22,4 \text{ ГэВ}/c$ демонстрируют наличие двух параметров наклона в $d\sigma/dt$: $b_1 = 12,1 \pm 0,1 \text{ ГэВ}^{-2}$ для $0,05 < |t| < 0,5 \text{ ГэВ}^2$ и $b_2 = 6,1 \pm 1,2 \text{ ГэВ}^{-2}$ для $0,5 < |t| < 0,95 \text{ ГэВ}^2$. Эта структура в $d\sigma/dt$ при $50 \text{ ГэВ}/c$ уже не проявляется вовсе.

На рис. 2б приводятся отношения $d\sigma/dt$ при $22,4 \text{ ГэВ}/c$ к значениям аппроксимирующей функции (1) для данных при $25,2 \text{ ГэВ}/c^{13/}$, полученных с помощью электронной методики. Во всем интервале по $|t|$ видно хорошее согласие между данными.

На рис. 3 приведены параметры $b(s, t=0)$ и c из формулы (1), определенные в широком интервале энергий $/1,3, 13, 16-17/$, вместе с результатами при $22,4 \text{ ГэВ}/c$. Видно, что параметр b (рис. 3а) практически не зависит от энергии, что указывает на отсутствие сужения дифракционного конуса вперед с ростом энергии. Параметр c

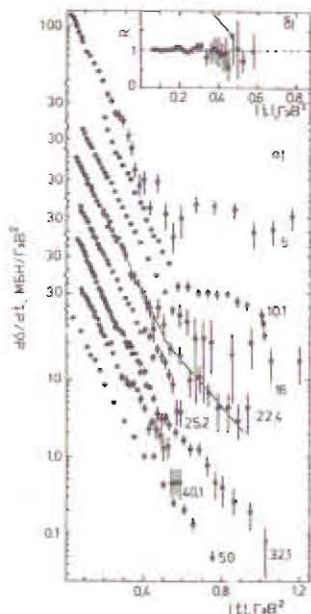


Рис. 2 а) - дифференциальное сечение упругого $\bar{p}p$ -рассеяния при 22,4 ГэВ/с в сравнении с данными при 5,1/14, 10,1/14, 16,4/25,2 и 40,1/13, 32,1/15/ и 50,3/ ГэВ/с.

б) - величина $R = (d\sigma/dt)_{22,4} / [\Lambda \exp(bt+ct^2)]_{25,2}$ (частное от деления дифференциального сечения при 22,4 ГэВ/с на результаты аппроксимации данных при 25,2 ГэВ/с с помощью квадратичной экспоненты) как функция $|t|$.

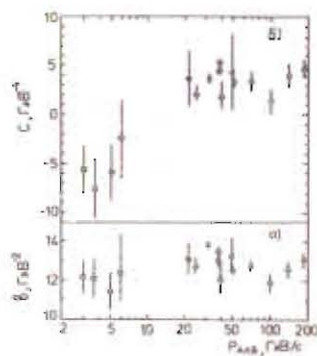


Рис. 3. Параметр наклона $b(s, t=0)$ и коэффициент c дифференциального сечения упругого $\bar{p}p$ -рассеяния из выражения (1) как функция импульса налетающей частицы (■ - этот эксперимент, □ - /1/, Δ - /13/, × - /15/, X - /16/, ◊ - /17/, ○ - /3/).

(рис. 3б), определенный в данном эксперименте совпадает с результатами, полученными при $P_{\text{лаб.}} > 25$ ГэВ/с.

При сопоставлении данных по упругому сечению часто используется величина локального параметра наклона $B(s, t)$, который для зависимости (1) определяется как:

$$B(s, t) = d/dt (\ln d\sigma/dt) = b + 2c|t|. \quad (3)$$

Таблица I

Дифференциальное сечение упругого $\bar{p}p$ -рассеяния при 22,4 ГэВ/с. Звездочками указаны значения $d\sigma/dt$, полученные в результате аппроксимации $\Lambda \exp(bt+ct^2)$. Ошибки статистические

$ t $, ГэВ ²	$d\sigma/dt$, мбн/ГэВ ²	$ t $, ГэВ ²	$d\sigma/dt$, мбн/ГэВ ²
0,00 - 0,01	110,3 ± 2,5*	0,25 - 0,26	4,73 ± 0,51
0,01 - 0,02	96,7 ± 2,3*	0,26 - 0,27	5,13 ± 0,53
0,02 - 0,03	84,7 ± 2,2*	0,27 - 0,28	4,14 ± 0,48
0,03 - 0,04	74,2 ± 2,0*	0,28 - 0,29	3,97 ± 0,47
0,04 - 0,05	64,9 ± 1,9*	0,29 - 0,30	3,79 ± 0,46
0,05 - 0,06	58,9 ± 1,8	0,30 - 0,32	3,10 ± 0,41
0,06 - 0,07	49,4 ± 1,6	0,32 - 0,34	1,78 ± 0,32
0,07 - 0,08	45,4 ± 1,6	0,34 - 0,36	1,70 ± 0,30
0,08 - 0,09	40,7 ± 1,5	0,36 - 0,38	1,42 ± 0,28
0,09 - 0,10	35,9 ± 1,4	0,38 - 0,40	1,06 ± 0,24
0,10 - 0,11	30,7 ± 1,3	0,40 - 0,42	0,75 ± 0,20
0,11 - 0,12	26,8 ± 1,2	0,42 - 0,44	0,67 ± 0,19
0,12 - 0,13	24,1 ± 1,1	0,44 - 0,46	0,34 ± 0,14
0,13 - 0,14	21,7 ± 1,0	0,46 - 0,48	0,66 ± 0,19
0,14 - 0,15	19,3 ± 1,0	0,48 - 0,50	0,40 ± 0,15
0,15 - 0,16	16,36 ± 0,95	0,50 - 0,55	1,196 ± 0,046
0,16 - 0,17	15,36 ± 0,91	0,55 - 0,60	0,152 ± 0,040
0,17 - 0,18	14,63 ± 0,89	0,60 - 0,65	0,076 ± 0,028
0,18 - 0,19	12,02 ± 0,80	0,65 - 0,70	0,087 ± 0,030
0,19 - 0,20	10,58 ± 0,76	0,70 - 0,75	0,054 ± 0,024
0,20 - 0,21	9,84 ± 0,73	0,75 - 0,80	0,033 ± 0,019
0,21 - 0,22	7,37 ± 0,63	0,80 - 0,85	0,033 ± 0,019
0,22 - 0,23	8,54 ± 0,68	0,85 - 0,90	0,022 ± 0,015
0,23 - 0,24	6,51 ± 0,60	0,90 - 0,95	0,033 ± 0,019
0,24 - 0,25	5,56 ± 0,55		

Значение локального параметра наклона при $|t| = 0,2$ ГэВ² для 22,4 ГэВ/с равно $B(s, |t| = 0,2) = 11,5 \pm 1,4$ ГэВ⁻². Эта величина согласуется с мировыми данными для $\bar{p}p$ -взаимодействий, представленными в работе /18/ и показанными на рис. 4.

На рис. 5 приведены величины $\sigma_{\text{упр.}}$ и $\sigma_{\text{упр.}} / \sigma_{\text{пол.}}$,

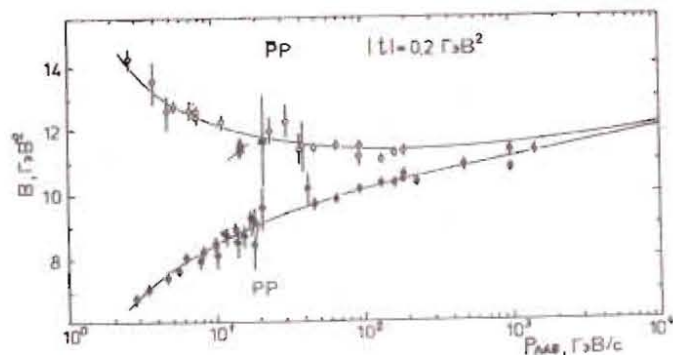


Рис. 4. Параметр наклона $B(s, |t| = 0,2)$ дифференциального сечения pp - и $\bar{p}p$ -рассеяния в зависимости от $P_{\text{лаб}}$. (\circ и \bullet - /18/, \blacksquare - этот эксперимент, кривые - результат аппроксимации из работы /19/).

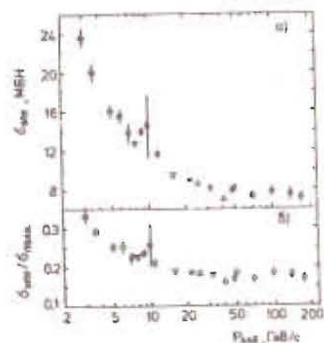


Рис. 5. Сечение упругого $\bar{p}p$ -рассеяния $\sigma_{\text{упр.}}$ к отношению $\sigma_{\text{упр.}} / \sigma_{\text{полн.}}$ в зависимости от $P_{\text{лаб}}$. (\blacksquare - этот эксперимент, \square - /11/, \circ - /13/, \times - /15/, ∇ - /4/, Δ - /17/, \diamond - /17/, \circ - /3/).

определенные при 22,4 ГэВ/с, вместе с данными других экспериментов /1,3,4,13,15,17,20/. Значение $\sigma_{\text{упр.}}$ при 22,4 ГэВ/с согласуется с наблюдаемой энергетической зависимостью $\sigma_{\text{упр.}}$ (рис.5а) в широком интервале $P_{\text{лаб}}$. Полученное нами значение $\sigma_{\text{упр.}} / \sigma_{\text{полн.}}$ = $0,188 \pm 0,007$ близко к пределу, предсказанному Ван-Ховом /21/ и равному 0,185. Рисунок 5б демонстрирует независимость этой величины в пределах экспериментальных ошибок от энергии уже при $P_{\text{лаб}} \geq 15$ ГэВ/с.

Значение отношения $B(s, |t| = 0,2) / \sigma_{\text{полн.}} = 0,242 \pm 0,029 \text{ мбн}^{-1} \cdot \text{ГэВ}^{-2}$, вычисленной при 22,4 ГэВ/с, согласуется с усредненным значением этой величины ($0,268 \pm 0,003 \text{ мбн}^{-1} \cdot \text{ГэВ}^{-2}$), полученным при $\sqrt{s} > 10 \text{ ГэВ} / 15 /$.

Приведенные величины $\sigma_{\text{упр.}} / \sigma_{\text{полн.}}$ и $B(s, |t| = 0,2) / \sigma_{\text{полн.}}$ при 22,4 ГэВ/с указывают на справедливость гипотезы геометрического скейлинга /22,23/ для упругого $\bar{p}p$ -рассеяния начиная с энергий ~ 20 ГэВ.

4. ВЫВОДЫ

Основные результаты настоящей работы можно сформулировать следующим образом:

1. Дифференциальное сечение $d\sigma/dt$ для упругого $\bar{p}p$ -рассеяния при 22,4 ГэВ/с измерено в интервале $0,05 < |t| < 0,95 \text{ ГэВ}^2$.
2. Величина полного упругого сечения, полученная при интегрировании дифференциального сечения, равна $\sigma_{\text{упр.}} = 9,0 \pm 0,3 \text{ мбн}$.
3. Локальный минимум в $d\sigma/dt$ при $|t| \sim 0,6 \text{ ГэВ}^2$, видимый при низких энергиях, при $P_{\text{лаб}} = 22,4 \text{ ГэВ/с}$ не проявляется. Наблюдается наличие двух параметров наклона при $|t| < 0,5 \text{ ГэВ}^2$ и $|t| > 0,5 \text{ ГэВ}^2$.
4. Получен параметр наклона дифракционного конуса при $t = 0$, равный $b = 13,1 \pm 0,8 \text{ ГэВ}^{-2}$.
5. Величины отношений $\sigma_{\text{упр.}} / \sigma_{\text{полн.}} = 0,188 \pm 0,007$ и $B(s, |t| = 0,2) / \sigma_{\text{полн.}} = 0,242 \pm 0,029 \text{ мбн}^{-1} \cdot \text{ГэВ}^{-2}$ согласуются с данными других экспериментов и с предсказаниями модели геометрического скейлинга.

Литература

1. Ambats I. et al., Phys.Rev., 1974, D9, 1179.
2. Carnegie R.K. et al., Phys.Lett., 1975, 59B, 313.
3. Ayres D.S. et al., Phys.Rev., 1977, D15, 3105.
4. Russ J.S. et al., Phys.Rev., 1977, D15, 3139.
5. Fajardo L.A. et al., Phys.Rev., 1981, D21, 46.
6. Abzalashvili L.N. et al., Phys.Lett., 1974, 52B, 236.
7. Boos E.G. et al., Nucl.Phys., 1977, B121, 361.
8. Бетина Б.В. и др., ЯФ, 1982, 36, 403.
9. Bracci E. et al., Preprint CERN/HERA 73-1, Geneva, 1973.
10. Zoding P., Phys.Lett., 1964, 8, 285.
11. Grein W., Karlsruhe University Report TKP-74-4, 1977.

12. Lipkin H.J., Phys.Rev., 1978, D17, 336.
13. Antipov Yu.M. et al., Nucl.Phys., 1973, B57, 333.
14. Berglund A. et al., Nucl.Phys., 1980, B176, 346.
15. Боголюбовский М.Ю. и др. ЯФ, 1985, 41, 1210.
16. Bruneton C. et al., Nucl.Phys., 1977, B127, 391.
17. Zissa D.E. et al., Phys.Rev., 1980, D21, 3059.
18. Martin J.P., Thesis PhD, Lyon, 1981.
19. Burg J.P., Nucl.Phys., 1983, B217, 285.
20. Foley K.J. et al., Phys.Rev.Lett., 1963, 11, 503.
21. Van Hove L., Rev.Mod.Phys., 1964, 36, 655.
22. Dias de Deus J., Nucl.Phys., 1973, B59, 231.
23. Burae A.J. and Dias de Deus J., Nucl.Phys., 1974, B71, 481.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 ноября 1985 года.

Батюня Б.В. и др. P1-85-854
Анализ упругого рассеяния в $\bar{p}p$ -взаимодействиях
при 22,4 ГэВ/с

Представлены результаты по измерению дифференциального сечения упругого $\bar{p}p$ -рассеяния при 22,4 ГэВ/с в интервале $0,05 < |t| < 0,95 \text{ ГэВ}^2$, полученные при обработке снимков с камеры "Людмила". Величины полного упругого сечения $\sigma_{\text{упр.}} = 9,0 \pm 0,3 \text{ мбн}$ и параметра наклона $b(s, t=0) = 13,1 \pm 0,8 \text{ ГэВ}^{-2}$ найдены с помощью аппроксимации данных квадратичной экспонентой. Результаты сравниваются с данными других экспериментов при близких энергиях.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод авторов

Batyunya B.V. et al. P1-85-854
Study of $\bar{p}p$ Elastic Scattering at 22.4 GeV/c

Results are presented on measuring the $\bar{p}p$ elastic scattering differential cross section $d\sigma/dt$ at 22.4 GeV/c over a region of $0.05 < |t| < 0.95 \text{ GeV}^2$. The results have been obtained from pictures of the NBC "Ludmila". The total elastic cross section $\sigma_{\text{el}} = 9.0 \pm 0.3 \text{ mb}$ and the slope parameter $b(s, t=0) = 13.1 \pm 0.8 \text{ GeV}^{-2}$ have been found from the data approximated by a quadratic exponential function. The results are compared with the data at similar energies.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985