

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-86-793

СЕЧЕНИЯ ДВУХЛУЧЕВЫХ  
ЭКСКЛЮЗИВНЫХ РЕАКЦИЙ  
В  $p$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ 22,4 ГэВ/с

Сотрудничество Алма-Ата - Дубна - Москва -  
Прага - Хельсинки

Направлено в "Czechoslovak Journal of Physics"

1986

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

Э.Г.Боос, Д.И.Ермилова, Т.Темиралиев  
Институт физики высоких энергий, Алма-Ата

Р.К.Дементьев, 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.Геринек, М.Локайчек, Я.Ридки, В.Шимах  
Физический институт ЧСАН, Прага

А.Валкарова  
Ядерный центр Карлова университета, Прага

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

П.Вилланен, Э.Волк  
Отдел физики высоких энергий университета Хельсинки

Взаимодействия, полученные при облучении 2-метровой пузырьковой камеры "Лхдмила" пучком сепарированных антипротонов с импульсом 22,4 ГэВ/с на ускорителе в Серпухове<sup>1,2/</sup>, использовались для определения сечений 2-лучевых эксклюзивных реакций.

Измеренные 2-лучевые события после геометрической реконструкции подвергались кинематическому анализу с помощью программы *GRIND* для выделения следующих каналов:

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p \quad (1)$$

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p \pi^0 \quad (2)$$

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p \pi^+ \pi^- \quad (3)$$

$$\bar{p}p \rightarrow n \bar{p} \pi^+ \quad (4)$$

$$\bar{p}p \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \quad (5)$$

$$\bar{p}p \rightarrow \pi^+ \pi^- \quad (6)$$

Так как треки быстрых частиц в камере имеют очень малую кривизну (протон с импульсом 22,4 ГэВ/с оставляет трек с радиусом кривизны  $\sim 30$  м) на длине рабочего объема  $\sim 1$  м, то требование к качеству пленки при анализе 2-лучевых событий с быстрыми частицами в конечном состоянии становится определяющим. Тщательный анализ показал, что искажение, вносимое пленкой плохого качества, заметнее всего сказывается на величине импульса частицы, в то время как полярный ( $\lambda$ ) и азимутальный ( $\varphi$ ) углы измеряются с приемлемой точностью. Параметры пучкового трека корректируются в программе *GRIND* специальной подпрограммой *BEAM*. Поскольку нет процедуры для поправки параметров вторичных треков, то для определения сечений реакции (1) - (6) были отобраны события с наименьшими искажениями треков при геометрической реконструкции. Для выделения упругих событий (1) применялась также дополнительная процедура, основанная на связи углов  $\lambda$  и  $\varphi$ <sup>3/</sup>.

При обсчете программой *GRIND* 2815 отобранных событий была получена 2261 гипотеза, при этом в 1640 событиях прошла по крайней мере одна из них.

В качестве упругих (1) было зафиксировано 873 события, из которых в 329 случаях кроме гипотезы (1) прошла также гипотеза (2), что

говорит о заметной примеси IC-канала (гипотезы с одной нейтральной частицей) среди 4C-конечных состояний. В дальнейшем гипотеза (2) для упругих событий отбрасывалась. Прохождение IC-гипотез (2) - (5) в отобранных событиях представлено в таблице I.

Таблица I

Гипотеза	2	3	4	5
2	318	23	5	3
3	22	127	2	0
4	28	1	76	64
5	12	0	85	5

Число событий с одной гипотезой представлено по диагонали таблицы I, число событий с 2-мя гипотезами - вне диагонали, причем номер гипотезы с большей вероятностью указывается соответствующей строкой. Гипотезы (2), (3), (4) и (5) в качестве третьей гипотезы в событиях наблюдались в 6, 0, 14 и 27 случаях соответственно.

Большой процент событий, где одновременно прошли гипотезы (1) и (2), предполагает возможность примеси упругого канала (1) среди событий реакции (2). Чтобы оценить этот вклад, был использован метод <sup>3/</sup>, основанный на использовании величин  $\cos \alpha$ ,  $\cos \beta$  и EMISS. Эти величины для реакции вида

$$A + B \rightarrow 1 + 2 + X \quad (7)$$

имеют следующее значение:

$$\cos \alpha = \frac{(\vec{p}(1), \vec{p}(2))}{|\vec{p}(1)| |\vec{p}(2)|} \quad (8)$$

$$\cos \beta = \frac{(\vec{p}(A), \vec{n})}{|\vec{p}(A)|}, \quad \vec{n} = \frac{[\vec{p}(1) \times \vec{p}(2)]}{|\vec{p}(1)| |\vec{p}(2)|} \quad (9)$$

где  $P(i) = (E_i, \vec{p}(i))$ ,  $i = A, B, 1, 2$  - 4-мерные векторы для частиц A, B, 1, 2;  $\vec{n}$  - нормаль к плоскости, где лежат импульсы  $\vec{p}(1)$  и  $\vec{p}(2)$ .

Величина EMISS равна 
$$EMISS = E_A + E_B - E_1 - E_2, \quad (10)$$

где

$$E_j = m \frac{(E_A + m) + (E_A - m) \cdot \cos^2 \theta_j}{(E_A + m) - (E_A - m) \cdot \cos^2 \theta_j}; \quad j=1, 2. \quad (11)$$

$$m - \text{масса протона и } \cos \theta_j = (\vec{p}(j), \vec{p}(A)) / |\vec{p}(j)| |\vec{p}(A)|.$$

Все импульсы  $\vec{p}(i)$  определены в лабораторной системе координат. EMISS имеет значение недостающей энергии только для упругих событий. Среди однозначно выделенных событий (I) 94% удовлетворяли условиям:

$$|EMISS| \leq 0,05 \text{ ГэВ} \\ 0,01 < \cos \alpha < 0,30 \quad (12) \\ |\cos \beta| \leq 0,01.$$

Тот же процент событий удовлетворял критериям (12) среди 329 событий с гипотезами (1) и (2).

Распределения по  $\cos \alpha$  и EMISS для "чистых" событий типа (1) и "неразделенных" событий типа (1)/(2) приведены на рис. 1 и 2. Видно хорошее совпадение распределений для двух типов событий.

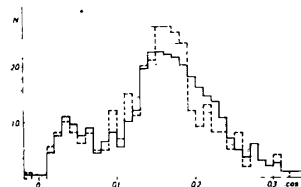
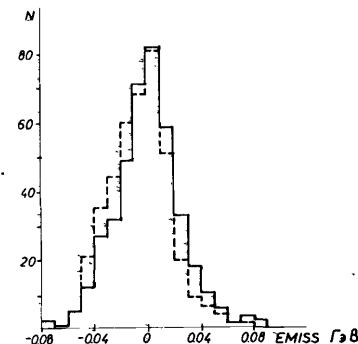


Рис. 1. Распределения по  $\cos \alpha$ . Сплошная гистограмма относится к однозначно выделенным гипотезам (1), пунктирная - к событиям с гипотезами (1)/(2).

Рис. 2. Распределения по EMISS. Сплошная гистограмма относится к упругим событиям (1), пунктирная - к событиям с гипотезами (1)/(2).



Применение условий (12) для событий реакции (2) позволило среди 349 неупругих взаимодействий  $\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p \pi^0$  отобрать 101 упругое событие, которое из-за ошибок в параметрах треков прошло как IC-гипотеза. Эта процедура была также применена и к событиям типа (2), сгенерированным методом Монте-Карло, что позволило выделить еще 40 упругих событий, которые были использованы для оценки систематической погрешности метода.

Применение критериев (I2) к 2-лучевым событиям, где не прошла ни одна из гипотез (I)-(6), так называемым "nofit"-событиям, позволило выделить еще 74 упругих события и 37 "кандидатов в упругие", имея параметры, очень близкие к перечисленным в (I2). Гипотеза (3) исключается критериями (I2) по кинематическим причинам, гипотезы же (4) и (5) не дали вклада в упругие события после оценки ионизации положительных частиц.

Величина топологического сечения с двумя заряженными частицами в  $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с равна  $\sigma_2 = 18,65 \pm 0,17$  мб <sup>/4,5/</sup>. Среди 2-лучевых событий наибольшие потери связаны с наличием коротких пробегов вторичных протонов и плохо идентифицированных пар Далитца. В связи с этим сечение потерь упругих и неупругих событий было оценено в работе <sup>/4/</sup>  $\sigma_{el}^{cos} = 2,6 \pm 0,1$  мб и  $\sigma_{in}^{cos} = 0,3 \pm 0,05$  мб.

Используемые в настоящей работе 2-лучевые события (2815) соответствуют  $\sigma_2^{vis} = 15,55 \pm 0,2$  мб, то есть одно событие эквивалентно 5,5 мкб, а выделенные с помощью описанной выше процедуры упругие события соответствуют  $\sigma_{ee}^{vis} = 5,8 \pm 0,2 \pm 0,4$  мб. После учета потерь сечение упругого взаимодействия получается равным  $\sigma_{ee} = 8,4 \pm 0,2 \pm 0,4$  мб, что хорошо согласуется с оценкой  $\sigma_{ee}' = 8,9 \pm 0,2$  мб <sup>/5/</sup>, полученной в электронных экспериментах, а также с величиной  $\sigma_{ee}'' = 9,0 \pm 0,3$  мб, определенной в нашем эксперименте на полной статистике <sup>/12/</sup>.

Величины сечений реакций (2)-(4) получились следующими:

$$\sigma(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^0) = 1,4 \pm 0,1 \pm 0,1 \text{ мб} \quad (2)$$

$$\sigma(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^-) = 0,8 \pm 0,1 \pm 0,1 \text{ мб} \quad (3)$$

$$\sigma(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}n\pi^+) = 0,9 \pm 0,1 \pm 0,2 \text{ мб.} \quad (4)$$

Систематические ошибки в этих сечениях оценивались при проверке CP-инвариантности для дифференциальных сечений, что связано с примесью IC-каналов друг в друга. Примесь упругих событий в канал (2) также включена в систематические ошибки. Для реакции (4) положительная систематическая ошибка связана с наличием событий, где вероятность гипотезы (5) больше вероятности гипотезы (4), но по динамическим соображениям следует взять гипотезу (4).

На основе проведенного анализа не удалось оценить величину реакции  $\bar{p}p \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ , так как слишком велики примеси в эту реакцию других каналов. Гипотеза (6) не прошла ни в одном из рассмотренных событий.

На рис.3 приведены распределения для квадрата недостающей массы в реакциях (2), (3) и (4). Видно, что наиболее сильно искажено распределение для канала (4), что связано с ненадежными измерениями импульса быстрого антипротона.

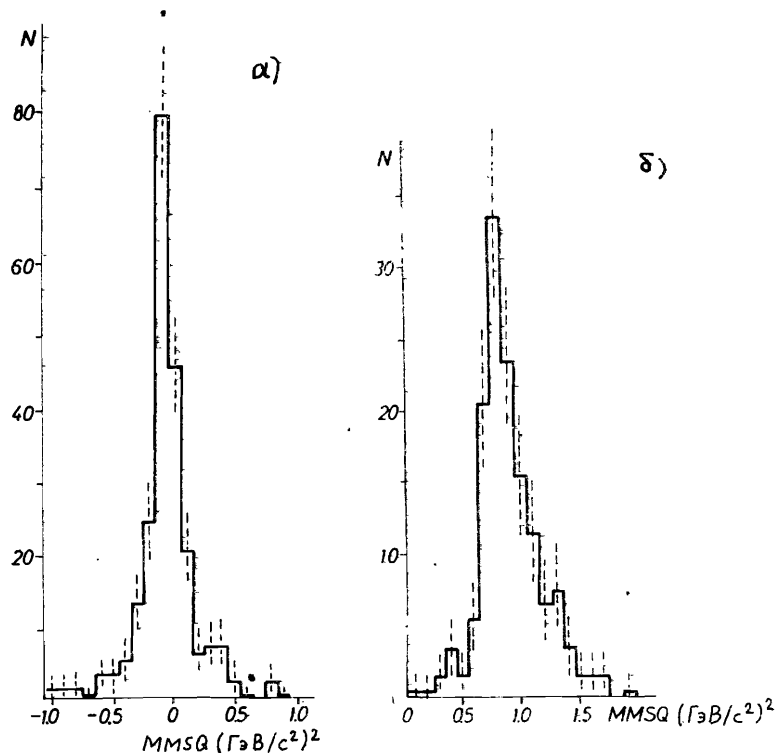
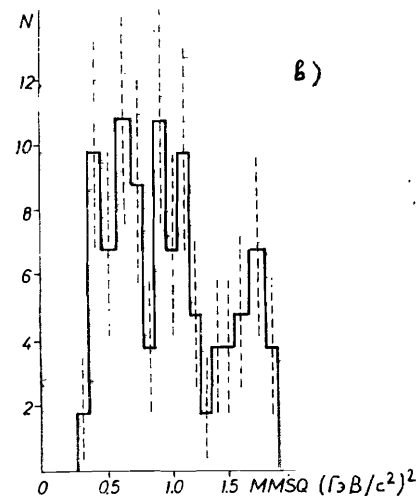


Рис. 3. Распределения по квадрату недостающей массы:

- а) для реакции (2),
- б) для реакции (3),
- в) для реакции (4).

Распределения по углу вылета в системе центра масс для  $\pi^0$ ,  $\pi^\pm$ -мезонов из каналов (2), (3) и (4) приведены на рис. 4, на рис. 5 показаны спектры эффективных масс систем  $M(\rho\pi^0)$ ,  $M(\bar{p}\pi^0)$ ,  $M(\bar{n}\pi^-)$ ,  $M(n\pi^+)$ .

Наблюдается очевидное подобие спектров частиц и античастиц, что



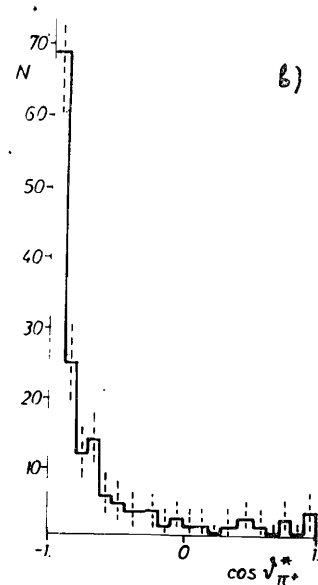
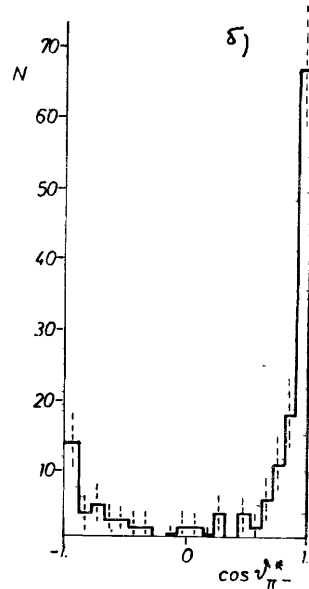
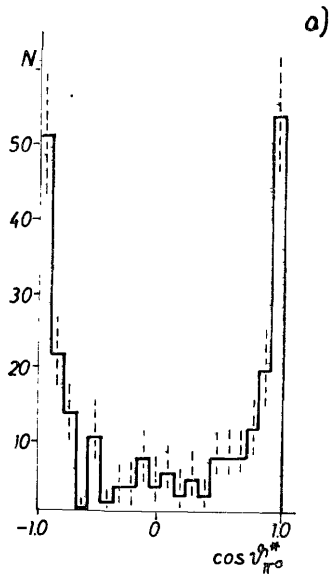


Рис. 4. Распределения по углу вылета в с.ц.м.  $\pi$ -мезона:

- а) из реакции (2),
- б) из реакции (3),
- в) из реакции (4).

и должно быть в соответствии с принципом CP-инвариантности, правда, в распределениях частиц из реакции (4) по-прежнему заметны искажения.

Полученные в этой работе сечения реакций (2) - (4) сравниваются с данными при других импульсах в таблице 2 и на рис. 6. Видно, что наши данные соответствуют максимальной энергии антипротонов для этих каналов.

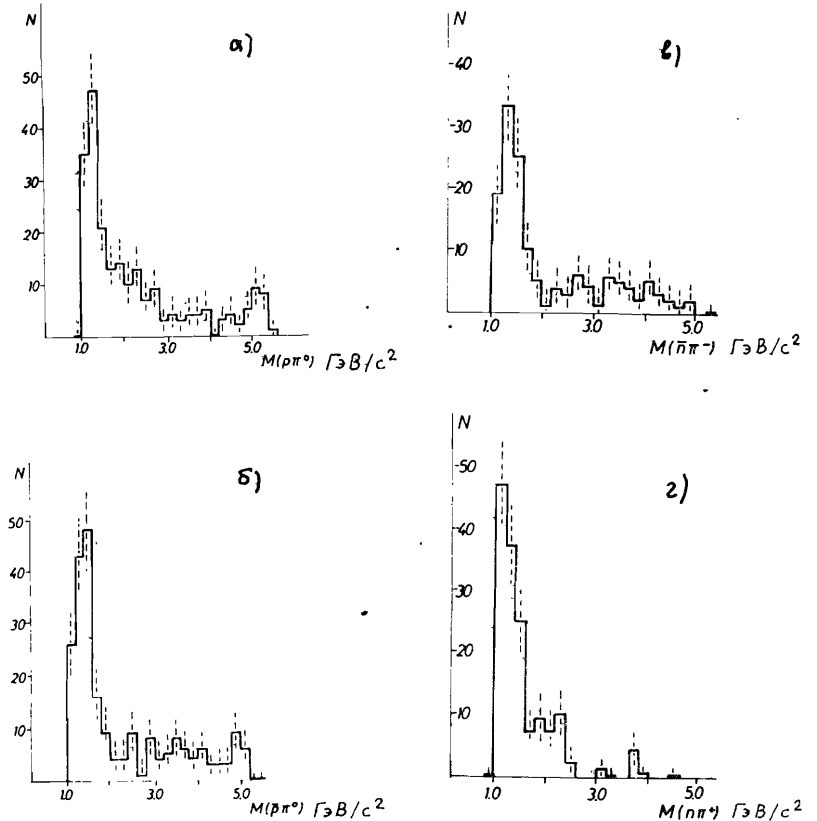


Рис. 5а. Распределение по эффективной массе  $M(\rho\pi^0)$  для реакции (2).  
 Рис. 5б. Распределение по эффективной массе  $M(\bar{p}\pi^0)$  для реакции (2).  
 Рис. 5в. Распределение по эффективной массе  $M(\bar{n}\pi^-)$  для реакции (3).  
 Рис. 5г. Распределение по эффективной массе  $M(n\pi^+)$  для реакции (4).

Энергетическая зависимость сечений на рис. 6 в области после максимума описывалась функцией

$$\sigma \sim \left( \frac{P_{\text{наг}}}{P_0} \right)^{-n} \quad (13)$$

где  $P = I$  ГэВ/с. Значения параметра "n" оказались равными  $\sim 0,4$ ,  $\sim 0,6$  и  $\sim 0,5$  для реакций (2), (3) и (4) соответственно. Эти оцен-

Таблица 2

Сечения реакций (2), (3), (4) при разных импульсах антипротонов

$P_{\text{лаб}} \text{ ГэВ}$	$(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^0) \text{ мб}$	$(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^+) \text{ мб}$	$(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}n\pi^+) \text{ мб}$	раб.
1,23	$0,526 \pm 0,035$	$0,2070 \pm 0,0220$	$0,200 \pm 0,021$	6
1,30	$0,739 \pm 0,046$	$0,3550 \pm 0,0320$	$0,279 \pm 0,028$	6
1,36	$1,011 \pm 0,054$	$0,4590 \pm 0,0360$	$0,388 \pm 0,033$	6
1,43	$1,247 \pm 0,06$	$0,6460 \pm 0,0420$	$0,586 \pm 0,039$	6
1,51	$1,39 \pm 0,08$	$0,77 \pm 0,06$	$0,65 \pm 0,05$	7
1,61	$1,85 \pm 0,22$	$1,190 \pm 0,16$	$1,00 \pm 0,16$	6
1,65	$1,58 \pm 0,08$	$0,98 \pm 0,06$	$0,98 \pm 0,06$	7
1,80	$1,91 \pm 0,09$	$1,18 \pm 0,07$	$0,92 \pm 0,06$	7
1,95	$2,01 \pm 0,10$	$1,32 \pm 0,08$	$1,06 \pm 0,07$	7
2,15	$2,39 \pm 0,15$	$1,91 \pm 0,13$	$1,78 \pm 0,12$	7
2,20	$2,16 \pm 0,29$	$1,56 \pm 0,22$	$1,56 \pm 0,22$	8
2,45	$2,38 \pm 0,15$	$2,31 \pm 0,14$	$2,08 \pm 0,13$	7
2,60	$2,39 \pm 0,15$	$2,43 \pm 0,14$	$2,25 \pm 0,13$	7
2,70	$2,67 \pm 0,09$	$2,72 \pm 0,09$	$2,65 \pm 0,09$	6
2,75	$2,59 \pm 0,17$	$2,39 \pm 0,16$	$2,30 \pm 0,15$	7
2,90	$2,33 \pm 0,15$	$2,60 \pm 0,16$	$2,34 \pm 0,15$	7
3,00	$2,41 \pm 0,29$	$1,96 \pm 0,26$	$2,07 \pm 0,27$	6
3,28	$2,30 \pm 0,50$			6
3,60	$1,90 \pm 0,30$	$2,60 \pm 0,40$	$2,20 \pm 0,40$	6
4,00	$2,06 \pm 0,16$	$2,42 \pm 0,17$	$2,42 \pm 0,17$	6
5,70	$2,30 \pm 0,05$	$1,56 \pm 0,04$	$1,61 \pm 0,04$	9
6,94	$1,30 \pm 0,30$	$1,10 \pm 0,30$	$1,10 \pm 0,30$	6
8,80	$1,27 \pm 0,08$	$1,36 \pm 0,09$	$1,35 \pm 0,09$	10
9,10	$1,47 \pm 0,14$	$1,31 \pm 0,14$	$1,56 \pm 0,14$	11
22,4	$1,4 \pm 0,2$ $- 0,4$	$0,8 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,3$ $- 0,1$	эта работа

ки из-за больших ошибок в экспериментальных данных и наличия максимума не являются достаточно надежными, но тем не менее их величины указывают на довольно слабое изменение с энергией сечений рассматриваемых реакций и, следовательно, на возможный заметный вклад в них дифракционных процессов.

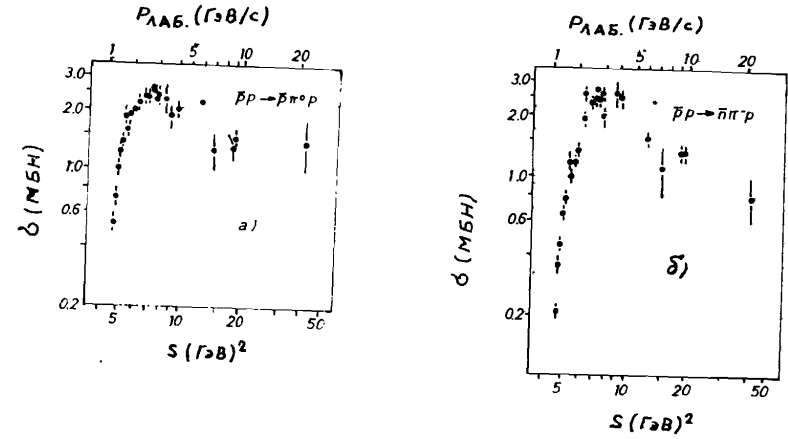
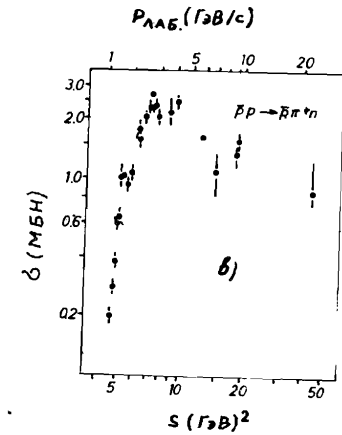


Рис.6. Зависимость сечения от первичного импульса: а/ для реакции/2/, б/ для реакции/3/, в/ для реакции/4/.



Литература

1. Abzalashvili L.N. et al., Phys.Lett., 1974, 52B, p.236.
2. Boos E.G. et al., Nucl.Phys., 1977, B121, p.381.
3. Cvach J., Chyla J., Czech.Journal of Phys., 1977, B27, p.1325.
4. Balyunya B.V. et al., Dubna preprint, E1-81-739.
5. Antipov Yu.M. et al., Nucl.Phys., 1973, B57, p.333.
6. NN and ND interactions - a compilation, LBL-58, May 1972.

7. Eastman P.S. et al., Nucl.Phys., 1973, B51, p.29.
8. Stringer T.A. et al., Nucl.Phys., 1971, B32, p.486.
9. Braun H. et al., Nucl.Phys., 1975, B95, p.481.
10. Simmons A.J. et al., Nucl.Phys., 1980, B172, p.285.
11. Stenbacka R. et al., Nucl.Phys., 1978, B135, p.20.
12. Batyuna B.V. et al., Dubna preprint, P1-85-854.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D3-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
D13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.	4 р. 80 к.

Рукопись поступила в издательский отдел  
II декабря 1986 года.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Батюня Б.В. и др.  
Сечения двухлучевых эксклюзивных реакций  
в  $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с

P1-86-793

Приводятся результаты по определению сечений некоторых двухлучевых конечных состояний с одной нейтральной частицей /1С-гипотеза/ в  $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с, полученные при обработке снимков с камеры "Людмила". Обсуждаются методические трудности выделения этих каналов, демонстрируется выполнение для них CP-инвариантности, анализируется ход энергетической зависимости сечений этих реакций. Полученные сечения реакций  $\sigma(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^0) = 1,4 \pm 0,1 \pm 0,3$  мб,  $\sigma(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^-) = 0,8 \pm 0,1 \pm 0,1$  мб и  $\sigma(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^+) = 0,9 \pm 0,1 \pm 0,2$  мб. Результаты показывают дифракционный характер этих реакций.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Batyunya B.V. et al.  
Cross Section of Two-Prong Exclusive Reactions  
in  $\bar{p}p$ -Interactions at 22.4 GeV/c

P1-86-793

The results on the cross section determination of some two-prong final states with one neutral particle (1C-fits) in  $\bar{p}p$ -interactions at 22.4 GeV/c are presented. These results have been obtained from pictures of the NBC "Ludmila". The methodical problems of the reaction selection are presented the fulfilling of CP-invariance of the channels is demonstrated and the energy behaviour of their cross sections is analysed. The obtained cross sections are:  $\sigma(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^0) = 1,4 \pm 0,1 \pm 0,3$  mb,  $\sigma(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^-) = 0,8 \pm 0,1 \pm 0,1$  mb,  $\sigma(\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^+) = 0,9 \pm 0,1 \pm 0,2$  mb. The results show a diffractive character of these reactions.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986