

SIU 701/1/14

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 86-211
ОНФ, CERN-NA22

М.Адамус⁴, И.В.Ажиненко¹⁰, Ю.А.Белокопытов¹⁰, В.А.Бережной¹⁰,
Г.Бетчер², Е.Биалковска⁴, Ф.Брюян⁸, П.Ван Хал⁸, Ф.Вербер³,
Р.Вишневски², А.К.Вроблевски⁴, В.Г.Гаврюсев⁷, Г.Грасслер¹,
Е.А.Де Вольф³, А.Де Рюк³, К.Дзиниковска⁶, П.Ф.Ермолов⁷,
С.А.Зоткин⁷, Ж.К.Карамьян⁵, Г.Г.Кауфман², Д.Кисилевска⁶,
Э.П.Кистенев¹⁰, В.Киттель⁸, М.Ковалевски⁶, Ф.Крайнс⁸,
Е.В.Крютченко¹⁰, А.И.Курносенко¹⁰, Ф.Майерс⁸, С.С.Меграбян⁵,
А.Б.Михаловска^{6,2}, В.И.Николаенко¹⁰, Л.К.С.Оливейра⁹,
К.Олкиевич⁶, В.М.Перевозчиков¹⁰, Е.Риипенен¹¹, В.М.Роньжин¹⁰,
А.М.Рыбин¹⁰, Г.М.Т.Саарикко¹¹, Ю.М.Т.Саарикко¹¹, Ж.Степаняк⁴,
Л.Схолтен⁸, В.А.Уваров¹⁰, В.Фрибель², О.Г.Чикилев¹⁰,
Ж.Швастовски⁴, П.В.Шляпников¹⁰, В.Шмитц¹,
П.Шмитц¹, А.М.Ф.Эндлер⁹

ПОДАВЛЕННОСТЬ ПРОЦЕССА РЕКОМБИНАЦИИ
ОБОИХ ВАЛЕНТНЫХ КВАРКОВ π^+ -МЕЗОНА
ПРИ ЕГО ФРАГМЕНТАЦИИ В ρ^+

Сотрудничество ЕГС

Направлено в ЯФ

¹Институт физики, Аахен, ФРГ

²Институт физики высоких энергий Академии наук ГДР, Берлин (Шейтен), ГДР

³Межуниверситетский институт высоких энергий в Брюсселе и отделение физики
Антверпенского университета, Бельгия

⁴Варшавский университет и Институт ядерных проблем в Варшаве, Польша

⁵Ереванский физический институт, СССР

⁶Институт физики и ядерной техники Академии горного дела и металлургии и
Институт ядерной физики, Краков, Польша

⁷Научно-исследовательский институт ядерной физики при Московском государст-
венном университете, СССР

⁸Ньюмёгенский университет и Нидерландский центр по физике высоких энергий
(NIKHEF-N), Ньюмёген, Нидерланды

⁹Бразильский центр физических исследований, Рио-де-Жанейро, Бразилия

¹⁰Институт физики высоких энергий ГКАЭ СССР, Серпухов, СССР

¹¹Хельсинкский университет, Финляндия

*) ЦЕРН, Женева, Швейцария

Аннотация

Адамус М., Ажиненко И.В., Белокопытов Ю.А. и др. Подавленность процесса рекомбинации обоих валентных кварков π^+ -мезона при его фрагментации в ρ^+ . Препринт ИФВЭ 86-211. - 8 с., 3 рис., 1 табл., библиогр.: 17.

Получены инклюзивные сечения ρ^+ , ρ^0 , ρ^- и ω^0 в области фрагментации пучка в π^+ -взаимодействиях при 250 ГэВ/с. Близость сечений ρ^+ и ρ^0 означает сильную подавленность рекомбинации обоих валентных кварков пионов при их фрагментации в векторные мезоны. Отношение ω^0/ρ^0 составляет $0,45 \pm 0,11$ при $x \geq 0,3$ и сильно уменьшается с ростом x .

Abstract

Adamus M., Ajinenko I.V., Belokopitov Yu.A. et al. Suppression of Two Valence Quark Recombination in π^+ Fragmentation into ρ^+ . IHEP Preprint 86-211. - p.8, figs. 3, table 1, refs.: 17.

Inclusive ρ^+ , ρ^0 , ρ^- and ω^0 cross sections are measured in the beam fragmentation region of π^+ p interactions at 250 GeV/c. The near equality of the ρ^+ and ρ^0 cross sections implies suppression of valence quark recombination in pion fragmentation into vector mesons. The ratio ω^0/ρ^0 equals 0.45 ± 0.11 at $x \geq 0.3$ and strongly decreases with the increase of x .

Исследование инклюзивного образования векторных $K^*(890)$ -мезонов в K^+ p-взаимодействиях при 32 ГэВ/с^{1,2/} и 70 ГэВ/с^{3/} показало, что инклюзивные сечения и x -спектры $K^{*+}(890)$ и $K^{*0}(890)$ в области фрагментации пучка практически идентичны. Такой же вывод был сделан и в отношении тензорных $K^{*+}(1430)$ - и $K^{*0}(1430)$ -^{1,3/} и псевдоскалярных K^+ - и K^0 -мезонов^{4/} в K^+ p-реакциях. Аналогичные результаты для K^- и \bar{K}^0 и для резонансов K^{*-} и \bar{K}^{*0} были получены и в K^- p-реакциях^{5,6/}.

Одинаковость сечений и x -спектров нейтральных мезонов и мезонов с зарядом, равным заряду пучка, оказалась неприятным сюрпризом для таких хорошо известных моделей, как аддитивная кварковая модель^{7/} или лундская кварк-фрагментационная модель^{8/}. В этих моделях, как и в ряде других, сечение мезонов с зарядом, равным заряду пучка, предсказывалось заметно бóльшим сечения нейтральных мезонов из-за возможности рекомбинации обоих валентных кварков, скажем, первичного K^+ -мезона, в K^{*+} или K^+ . С другой стороны, в дуальных партонных моделях (ДТУ) (см. например^{9,10/}) рекомбинация обоих валентных кварков запрещена а priori; как показано в работе^{11/}, такие модели достаточно хорошо воспроизводят K^+ p-данные при 32 и 70 ГэВ/с. Механизм рекомбинации обоих валентных кварков также отсутствует в только что появившейся двухлистной версии лундской модели, называемой Фритьюф^{12/}, в которой учтен ряд недостатков старой лундской модели. Таким образом, вопрос о возможности или, напротив, запрещенности рекомбинации обоих валентных кварков первичного мезона при его фрагментации в мезоны того же заряда, который интересен и сам по себе, оказывается важным и с точки зрения современных теоретических моделей.

До сих пор экспериментальное исследование этой проблемы ограничивалось K^+ p-реакциями из-за относительной простоты регистрации как заряженных, так и нейтральных странных мезонных резонансов. Об инклюзивном образовании резонансов в процессах фрагментации π^\pm -мезонов известно намного меньше. Так, вообще отсутствуют какие-либо экспериментальные данные по инклюзивному образованию ρ^\pm -мезонов в реакциях, инициированных адронами, а сведения об инклюзивном образовании ω^0 ограничиваются

результатами^{/13/}, полученными несколько лет назад на установке "Сигма"^{*)}. Между тем, сравнение сечений $\rho^+(\rho^-)$ и ρ^0 в области фрагментации $\pi^+(\pi^-)$ могло бы со всей определенностью подтвердить или опровергнуть подавленность механизма рекомбинации обоих валентных кварков, обнаруженную при исследовании $K^\pm p$ -реакций.

В настоящей работе представлены данные по инклюзивным сечениям векторных мезонов ρ^+ , ρ^0 , ρ^- и ω^0 в области фрагментации пучка в реакциях

$$\pi^+ p \rightarrow \rho^+ + X, \quad (1)$$

$$\rightarrow \rho^0 + X, \quad (2)$$

$$\rightarrow \rho^- + X, \quad (3)$$

$$\rightarrow \omega^0 + X \quad (4)$$

при 250 ГэВ/с. Полученная близость сечений ρ^+ и ρ^0 в интервале значений переменной Фейнмана $x \geq 0,3$ однозначно свидетельствует о практической подавленности механизма рекомбинации обоих валентных кварков π^+ при его фрагментации в ρ^+ .

Эксперимент проведен в ЦЕРН на Европейском гибридном спектрометре (ЕГС), экспонированном в меченом, обогащенном мезонной пучке положительно заряженных частиц при 250 ГэВ/с, т.е. при самой высокой энергии, достигнутой на сегодня для положительно заряженных мезонов. Представляемые здесь данные базируются на анализе 32079 неупругих $\pi^+ p$ -событий, что составляет примерно 1/4 от нашей полной статистики.

Экспериментальная установка состоит из вершинного детектора – быстроциклирующей водородной пузырьковой камеры (БВПК) внутри сверхпроводящего магнита с полем 2 Тл – и расположенного за ней двухплечевого спектрометра с еще одним магнитом с полем 1 Тл, с трассировочными и дрейфовыми камерами. Идентификация заряженных частиц в эксперименте осуществляется с помощью двух пороговых многоканальных черенковских счетчиков SAD и FC, проекционной дрейфовой камеры большого объема ISIS и детектора переходного излучения TRD. Детектирование π^0 осуществляется с помощью двух гамма-детекторов: бокового IGD и переднего FGD. Более подробное описание экспериментальной установки и триггера на взаимодействие можно найти в нашей первой работе^{/15/}, посвященной определению топологических сечений и множественности заряженных частиц.

^{*)} Исследовалось путем регистрации мюонных $\mu^+\mu^-$ -пар совместное образование ρ^0 и ω^0 в пучках π^- при 43 ГэВ/с и протонов при 70 ГэВ/с на ядрах Be.

Процедуры детектирования фотонов в IGD и FGD в этом эксперименте описаны подробно в работе^{/16/}. π^0 -мезоны восстанавливались по их распаду $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, удовлетворяющему 1С-фиту. На рис.1 показана зависимость эффективности регистрации π^0 от χ . Акселеранс обоих γ -детекторов позволяет регистрировать π^0 , образовавшиеся при

$$\chi(\pi^0) \geq 0,025. \quad (5)$$

При реконструкции заряженных частиц использовалась информация с проволочных и дрейфовых камер спектрометра и измерения треков в БВПК. На рис.2а в зависимости от импульса показана доля заряженных частиц, реконструированных только по измерениям в БВПК, или же по измерениям в БВПК и информации с первого плеча спектрометра, или же по измерениям в БВПК и информации с обоих плеч спектрометра по отношению к полному числу реконструированных треков. Измерения в БВПК сами по себе позволяют реконструировать только медленные частицы, обеспечивая $\langle \Delta p/p \rangle < 5\%$ для частиц с $p < 10$ ГэВ/с. Частицы с импульсами 10–40 ГэВ/с реконструируются по измерениям в БВПК и информации с первого плеча спектрометра, и для них $\langle \Delta p/p \rangle \approx 1,4\%$. При $p > 40$ ГэВ/с используются оба плеча спектрометра, и $\langle \Delta p/p \rangle \approx 1\%$. Полная зависимость $\langle \Delta p/p \rangle$ от p для реконструированных заряженных частиц показана на рис.2б.

При отборе событий для анализа браковались те из них, у которых были проблемы с реконструкцией более чем одного трека и у которых не выполнялся зарядовый баланс даже после изменения знака заряда у одного плохо измеренного трека. Коррекция на эти потери составила 9,7%. У отобранных событий тщательно проверялось качество реконструкции. В частности, браковались все треки с $\Delta p/p > 25\%$. Полная эффективность реконструкции треков составила около 89%, она практически не зависит от переменной Фейнмана χ . Дополнительно учитывалась зависимость эффективности триггера от пространственной конфигурации события. Сечения получены путем нормировки отобранных и соответствующим образом поправленных событий на топологические сечения^{/15/}.

При прохождении заряженной частицы через детекторы SAD, FC, ISIS и TRD, предназначенные для идентификации сорта частиц, в каждом из них по соответствующей информации, если таковая имела, вычислялись χ^2 для пионной, каонной и протонной гипотез о массе частицы. Доля заряженных частиц, имеющих такую информацию, представлена в виде зависимости от импульса на рис.2в. На этом же рисунке пунктирной гистограммой показана доля "однозначно идентифицированных" частиц, под которыми мы понимаем те из них, у которых вероятность лучшей гипотезы была, по крайней мере, в пять раз больше, чем у любой другой гипотезы. Так

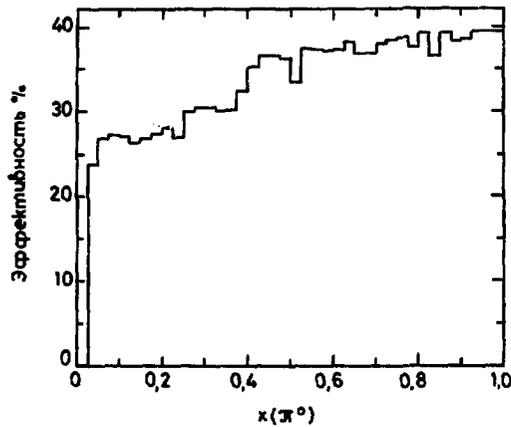


Рис. 1. Эффективность регистрации π^0 как функция переменной Фейнмана x .

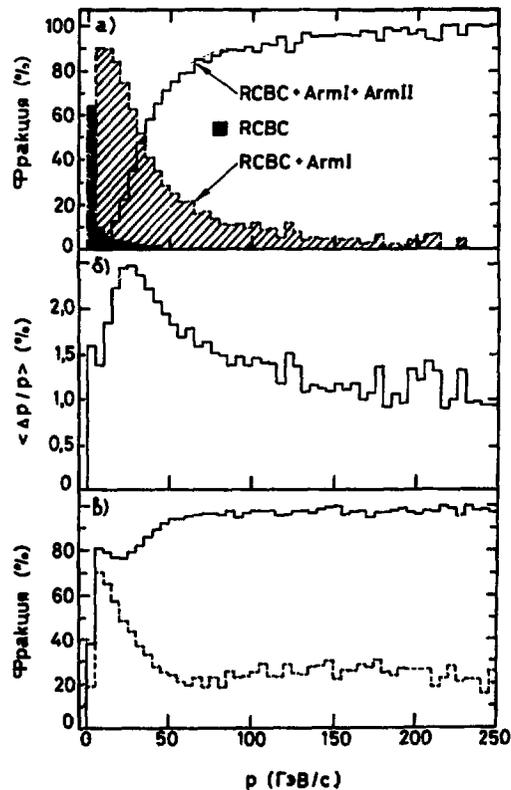


Рис. 2. Зависимость от импульса доли заряженных частиц, реконструированных только по измерениям в БВПК (дважды заштрихованная гистограмма), реконструированных с использованием БВПК и первого плеча спектрометра (заштрихованная гистограмма) и реконструированных с использованием БВПК и обоих плеч спектрометра (гистограмма под сплошной линией) по отношению к полному числу реконструированных частиц (а). Зависимость от импульса средней относительной ошибки в импульсе $\langle \Delta p/p \rangle$ (б). Доля заряженных частиц с какой-либо информацией от детекторов о типе частицы (сплошная гистограмма) и доля "однозначно идентифицированных" частиц (пунктирная гистограмма).

как доля таких "однозначно идентифицированных" частиц сравнительно невелика, то на практике для определения числа π^\pm , K^\pm и p^\pm в каждой из выборок, в которой из N_A заряженных частиц N_B частиц имеют соответствующую χ^2 информацию об их типе, мы пользовались методом максимума правдоподобия с функцией правдоподобия

$$L(n_i) = \sum_k^{N_B} W_k \ln \left(\sum_{i=\pi, K, p} n_i e^{-\chi_i^2/2} / \sum_i n_i \right),$$

где W_k - вес. Для частиц $N_A - N_B$ без соответствующей информации мы предполагали, что относительное число π^\pm , K^\pm и p^\pm такое же, как и в выборке В. Такое предположение достаточно оправдано для быстрых частиц, где в любом случае $N_B/N_A = 0,8-0,9$. Представленные ниже результаты получены с применением этого метода. Однако его использование при определении сечений реакций (1)-(4) менее существенно, чем в случае других реакций (например, $\pi^+p \rightarrow K^*+X$). Сечения, полученные без учета информации о типе частиц, отличаются менее, чем на одну ошибку.

Инвариантные спектры масс $\pi^+\pi^0$, $\pi^+\pi^-$, $\pi^-\pi^0$ и $\pi^+\pi^-\pi^0$ при $x \geq 0,3$ показаны на рис.3. Они получены с учетом обрезаний $\cos \theta_J (\pi^0) \geq 0$ для реакций (1), (3) и (4) и $\cos \theta_J (\pi^+) \geq 0$ для реакции (2), где косинус угла Готфрида-Джексона θ_J определен в системе покоя резонанса единичными векторами импульсов мишени и продуктов распада резонансов как $\cos \theta_J = -\vec{n}(\text{targ.}) \vec{n}(\text{decay part.})$. Эти ограничения введены для учета ограниченного акцептанса π^0 (5) и для уменьшения вклада отражений от K^* .

Для получения инклюзивных сечений реакций (1)-(4) представленные на рис.3 спектры эффективных масс аппроксимировались функцией $d\sigma/dM = BG(1+aBW)$, где BW - релятивистская Р-волновая функция Брейта-Вигнера для ρ -мезонов или функция Гаусса для ω . Фон был взят нами в обычной форме $BG = a(M-M_0)^b \exp(-cM-dM^2)$, где M_0 - пороговое значение массы; a, a, b, c, d - фитируемые параметры. Ширины (и массы) каждого из резонансов были зафиксированы при значениях, взятых из таблиц свойств частиц^{/17/} и свернуты с экспериментальной функцией разрешения. Результаты подгонки показаны на рис.3 кривыми, которые, как видно, неплохо воспроизводят экспериментальные распределения.

Полученные значения инклюзивных сечений резонансов при $x \geq 0,3$ и соответствующие им средние множественности (на одно неупругое событие) приведены в табл.1. Последние сравниваются в этой же таблице с предсказаниями однострунной лундской модели^{/8/}, моделями ДТУ^{/9,10/} и Фритьоф^{/12/}.

Сечения ρ^+ и ρ^0 в реакциях (1) и (2) в области фрагментации пучка при $x \geq 0,3$ действительно оказались очень близкими; их отношение:

$$\sigma(\rho^+) / \sigma(\rho^0) = 1,15 \pm 0,14.$$

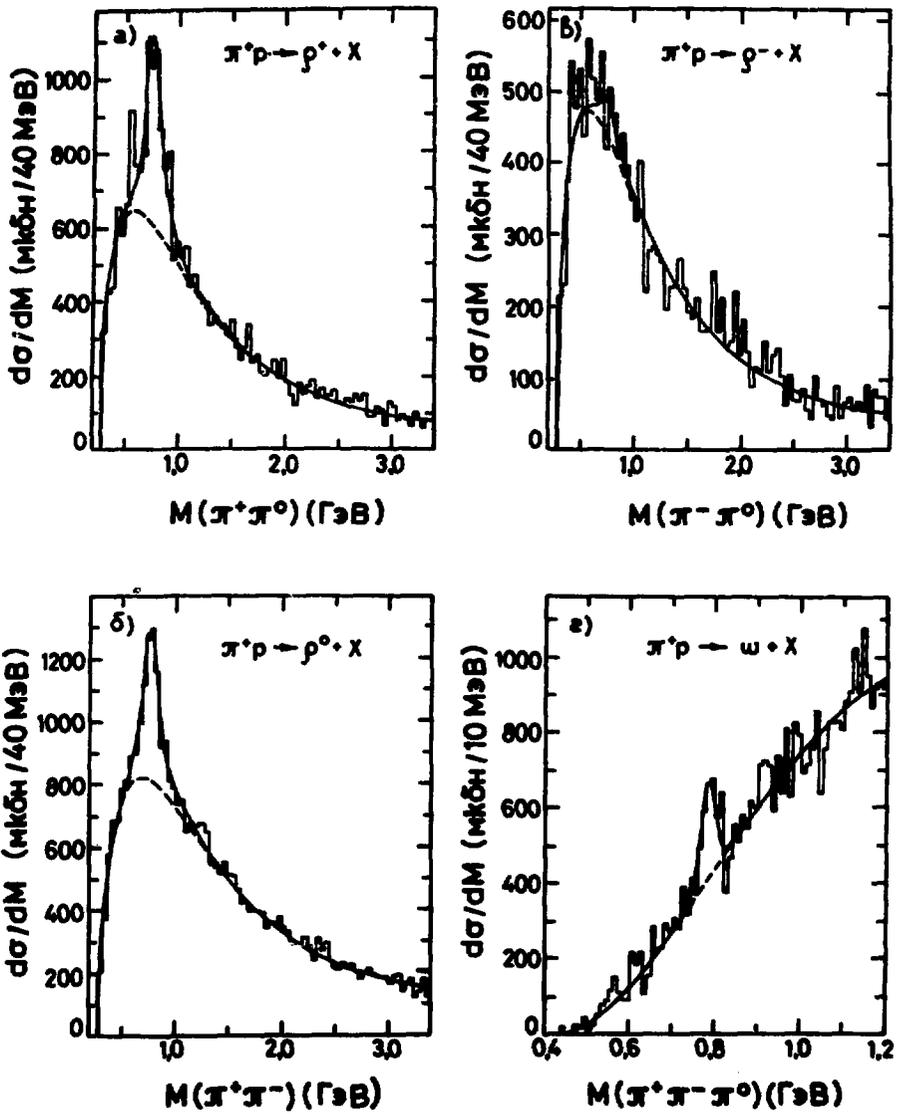


Рис. 3. Спектры эффективных масс $\pi^+\pi^0$ (а), $\pi^+\pi^-$ (б), $\pi^-\pi^0$ (в) и $\pi^+\pi^-\pi^0$ (г) в π^+p -реакциях при 250 ГэВ/с для $x > 0,3$ вместе с результатами их аппроксимации, показанными гладкими кривыми (см. текст).

Лундская модель предсказывает для этого отношения значение 3,2 в очевидном противоречии с экспериментом. С другой стороны, предсказываемые моделями^{9,10,12/} значения этого отношения, равные 1,27, 1,35 и 1,30, неплохо согласуются с измеренным значением. Таким образом, вывод о динамической подавленности процесса рекомбинации обоих валентных кварков π^+ при его фрагментации в ρ^+ не вызывает сомнения.

Таблица 1. Инклюзивные сечения резонансов σ_{res} и их средние множественности на одно неупругое столкновение $\langle n_{res} \rangle = \sigma_{res} / \sigma_{inel}$ в π^+ p-реакциях при 250 ГэВ/с для $x(res) > 0,3^*$

Реакция	σ_{res} (мбн)	$\langle n_{res} \rangle$				
		Экспер.	Лунд ^{8/}	ДТУ ^{9,11/}	ДТУ ^{10/}	Фрятько ^{12/}
$\pi^+ p \rightarrow \rho^+ + X$	$2,30 \pm 0,27$	$0,13 \pm 0,01$	0,32	0,14	0,15	0,15
$\pi^+ p \rightarrow \rho^0 + X$	$2,44 \pm 0,18$	$0,12 \pm 0,01$	0,10	0,11	0,11	0,12
$\pi^+ p \rightarrow \rho^- + X$	$0,26 \pm 0,22$	$0,01 \pm 0,01$	0,02	0,03	0,07	0,03
$\pi^+ p \rightarrow \omega^0 + X$	$1,10 \pm 0,25$	$0,05 \pm 0,01$	0,09	0,10	0,11	0,10

*). Ошибки всюду статистические. Систематические неопределенности по нашим оценкам составляют около 7% для ρ^0 и 15% для ρ^\pm и ω^0 ; последние выше, чем у ρ^0 из-за больших неоднозначностей при регистрации π^0 .

Как и можно было ожидать, сечение ρ^- из-за отсутствия у него общих валентных кварков с π^+ оказалось сильно подавленным в области фрагментации π^+ (спектр эффективных масс $\pi^-\pi^0$ на рис.3в может быть хорошо аппроксимирован даже одним фоном).

Хотя из-за вклада дифракционных процессов сечение ρ^0 в области фрагментации π^+ должно быть больше сечения ω^0 , последнее несколько неожиданно составило только половину от сечения ρ^0 при $x \geq 0,3$: $\sigma(\omega^0)/\sigma(\rho^0) = 0,45 \pm 0,11$. Этот результат, хотя ошибки велики, не описывается ни одной из моделей. Более подробная информация по этому вопросу будет опубликована позже и на большей статистике.

В заключение нам приятно поблагодарить всех специалистов, обеспечивших хорошую работу аппаратуры ЕГС, ускорителя и пучка во время набора статистики в эксперименте, а также персонал просмотрово-измерительных и вычислительных центров наших институтов за помощь в проведении этого эксперимента.

Литература

1. Ajinenko I.V. et al. - Z. Phys. C, Particles and Fields, 1980, v.5, p.177; Z. Phys. C, Particles and Fields, 1984, v.25, p.103.
2. Chliapnikov P.V. et al. - Phys. Lett., 1983, v.130B, p.432.
3. Barth M. et al. - Nucl. Phys., 1983, v.B223, p.296.
4. De Wolf E.A. et al. - Z. Phys. C, Particles and Fields, 1986, v.31, p.12.
5. Arestov Yu.I. et al. - Z. Phys. C, Particles and Fields, 1980, v.6, p.101.
Ma Wen-Gan et al. - Z. Phys. C, Particles and Fields, 1986, v. 30, p.191.
6. Göttgens R. et al. - Z. Phys. C, Particles and Fields, 1982, v.12, p.323.
7. Anisovich V.V., Shekhter V.M. - Nucl. Phys., 1973, v.B55, p.455.
Анисович В.В. и др. - ЯФ, 1981, т.34, с.195; ЯФ, 1982, т.35, с.151.
8. Andersson B. et al. - Nucl. Phys., 1981, v.B178, p.242; Phys.Rep., 1983, v.C97, p.31.
Sjöstrand T. - Comp. Phys. Comm., 1982, v.27, p.243.
9. Capella A. - In: Proc. Europhysics Study Conf. on Partons and Soft Hadronic Processes, Erice/ed. R.T.Van de Walle. - Singapore: World Scientific, 1981, p.199.
10. Батуния А.В., Лиходед А.К., Толстенков А.Н. - ЯФ, 1985, т.42, с. 424.
11. De Wolf E.A. - In: Proc. XV Int. Symp. on Multiparticle Dynamics, Lund/ed. G.Gustafson. - Singapore: World Scientific, 1984.
12. Andersson B., Gustafson G., Nilsson-Almqvist B. - Lund preprint LU-TP 86-3, 1986.
13. Антипов Ю.М. и др. - ЯФ, 1982, т.36, с.1426; ЯФ, 1983, т.37, с. 934.
14. Atherton H.W. et al. - Yellow Report CERN 80-07, 1980.
15. Adamus M. et al. - Z. Phys. C, Particles and Fields, 1986, v.32, p.475.
16. Ажиненко И.В. и др. - Препринт ИФВЭ 86-115, Серпухов, 1986.
17. Aguilar-Benitez M. et al. Particle Data Group. - Phys. Lett., 1986, v.170B.

Рукопись поступила 17 ноября 1986 года.

М.Адамус и др.

Подавленность процесса рекомбинации обоих валентных кварков π^+ -мезона при его фрагментации в ρ^+ .

Редактор В.В.Герштейн. Технический редактор Л.П.Тимкина,
Корректор Т.Д.Галкина.

Подписано к печати 17.12.1986 г. Т-23974. Формат 60x90/16.
Офсетная печать. Печ.л. 0,50. Уч.-изд.л. 0,66. Тираж 250.
Заказ 40. Индекс 3624. Цена 10 коп.

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов Московской обл.

10 коп.

Индекс 3624.

ПРЕПРИНТ 86-211, ИФВЭ, 1986.
