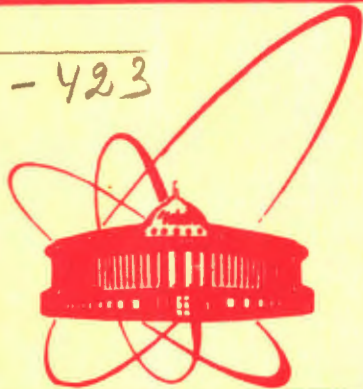


Б-423



ОБЪЕДИНЕННЫЙ.
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4676/2-81

14/9-81

P1-81-429

Л.Беккер, В.Г.Гришин, Р.А.Кватадзе

ИСТОЧНИКИ ЛИДИРУЮЩИХ ПИОНОВ
В π^+ -р- И π^- -р-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 16 И 40 ГЭВ/С

Направлено в ЯФ

1981

§1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы было обнаружено, что при взаимодействии адронов высоких энергий происходит обильное образование резонансов, продукты распада которых составляют /50-80/% от наблюдаемых в конечном состоянии частиц^{/1,2/}. Поэтому для изучения динамики сильных взаимодействий необходимо получить экспериментальную информацию о рождении резонансов в адронных соударениях. Резонансы, образованные во фрагментационной области налетающей частицы, могут быть источниками пионов с наибольшим значением X в событии / $X \approx \frac{2P^*}{\sqrt{s}}$, где P^* - продольный импульс в системе центра инерции, \sqrt{s} - полная энергия взаимодействия/. Такие пионы мы будем называть лидирующими. В данной работе изучаются источники лидирующих пионов в $\pi^+ p$ - и $\pi^- p$ -взаимодействиях при 16 и 40 ГэВ/с.

Для анализа использовались данные двух экспериментов: примерно 500000 $\pi^+ p$ -взаимодействий с числом вторичных заряженных частиц $n_{ch} \geq 4$ при $P = 16$ ГэВ/с, полученных на двухметровой водородной пузырьковой камере ЦЕРНа, и ≈ 15000 $\pi^- p$ -взаимодействий с $n_{ch} \geq 4$ при $P = 40$ ГэВ/с, зарегистрированных с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры ОИЯИ. Для сравнения использовались также ≈ 7000 $\pi^- C$ -соударений при $P = 40$ ГэВ/с. Основные методические вопросы, относящиеся к этим экспериментам, изложены в работах^{/3,4/}.

§2. СРЕДНИЕ МНОЖЕСТВЕННОСТИ РЕЗОНАНСОВ

Для выяснения вопроса о том, являются ли мезонные резонансы (ρ^0, f, g) источниками лидирующих пионов, были изучены спектры эффективных масс $M(\pi^{\pm} \pi^{\mp})$ в реакциях:

$$\pi^+ p \rightarrow \pi^{\pm}_L + \pi^{\mp} + x \quad /16 \text{ ГэВ/с}/, \quad /1/$$

$$\pi^- p \rightarrow \pi^{\mp}_L + \pi^{\pm} + x \quad /40 \text{ ГэВ/с}/, \quad /2/$$

где π^{\pm}_L - самая энергичная в событии частица с $X > 0,4$. Доля таких событий по отношению ко всем пион-нуклонным взаимодействиям составляет $\approx 20\%$.

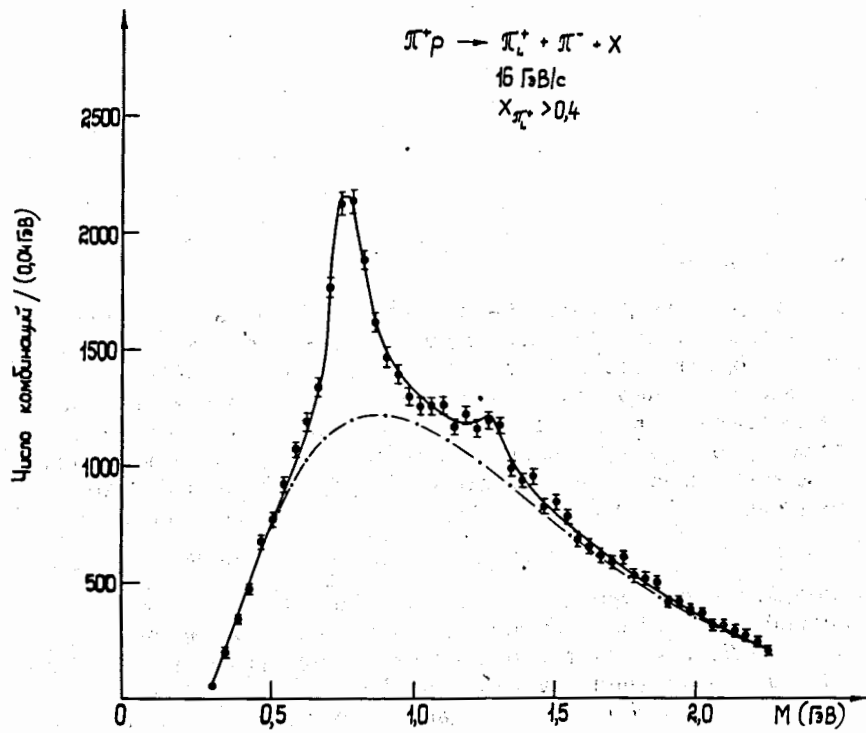


Рис.1. Распределение $\pi^+ \pi^-$ -пар по эффективной массе. Сплошной кривой показан результат аппроксимации.

Экспериментальные распределения по эффективной массе анализировались с помощью функции

$$\frac{dN}{dM} = \Phi(M) [1 + \alpha_1 BW_{\rho^0}(M) + \alpha_2 BW_f(M) + \alpha_3 BW_g(M)], \quad /3/$$

в которой α_i - вклады резонансов ρ^0 , f и g соответственно, $BW(M)$ - релятивистские функции Брейта-Вигнера^{/5,6/}. Массы резонансов были фиксированы в соответствии с их табличными значениями^{/7/}, а ширины считались свободными параметрами. Также учитывалось искажение формы $BW(M)$ из-за выбора лидирующих пионов в событиях. При такой процедуре малые массы в распределении $BW(M)$ должны быть подавлены. Оказалось, что учет этих искажений в пределах ошибок не меняет результатов.

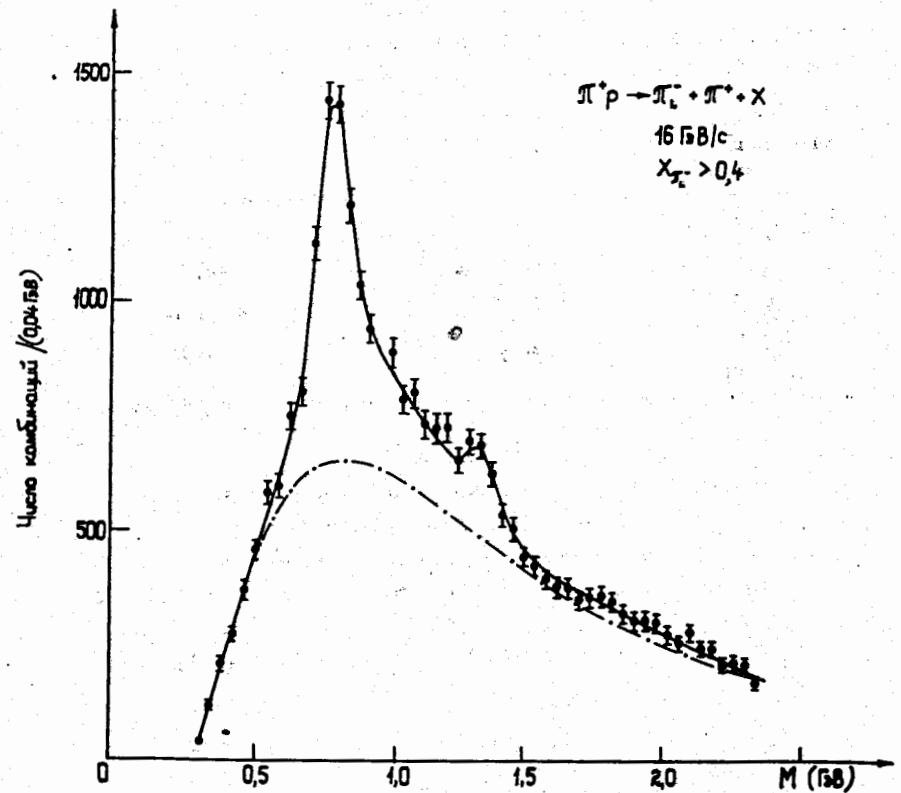


Рис.2. Распределение по эффективной массе $M(\pi^+ \pi^-)$. Сплошная кривая - результат аппроксимации, пунктирная - фоновое распределение.

Для фонового распределения $\Phi(M)$ использовалась аналитическая зависимость

$$\Phi(M) = A_1 (M_1/M_2)^{A_2} \text{EXP}[-A_3 M + A_4 M^2], \quad /4/$$

где $M_1 = M - 2M_\pi$, $M_2 = 1$ ГэВ и A_1 - подбираемые параметры.

На рис.1,2 приведены распределения по эффективной массе $M(\pi^\pm \pi^\mp)$ для $\pi^+ p$ -взаимодействий с $p_{\text{lab}} \geq 6$ при $P = 16$ ГэВ/с. Эти спектры аппроксимировались функцией /3/ в интервале масс 0,28-2,28 ГэВ с помощью метода наименьших квадратов*. Получен-

* Следует отметить, что учет в функции /3/ отражения распадов $\omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ не влияет на полученные результаты^{/1/}.

Таблица 1

Средние множественности резонансов, образованных в π^+p -взаимодействиях с $n_{ch} \geq 6$ при 16 ГэВ/с ($X_{\pi_L} > 0,4$)

Тип резонанса	$\pi^+p \rightarrow \pi_L^+ + x$	$\pi^+p \rightarrow \pi_L^- + x$
ρ^0	$0,19 \pm 0,02$	$0,51 \pm 0,05$
f	$0,05 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,05$
g	$0,01 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,03$
$\frac{N_{\tau}(\pi_L)}{N(\pi_L)}$	$0,22 \pm 0,02$	$0,59 \pm 0,06$

Таблица 2

Средние множественности резонансов, образованных в π^-p -взаимодействиях с $n_{ch} \geq 4$ при 40 ГэВ/с ($X_{\pi_L} > 0,4$)

Тип резонанса	$\pi^-p \rightarrow \pi_L^- + x$	$\pi^-p \rightarrow \pi_L^+ + x$
ρ^0	$0,13 \pm 0,03$	$0,44 \pm 0,11$
f	$0,04 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,06$
$\frac{N_{\tau}(\pi_L)}{N(\pi_L)}$	$0,15 \pm 0,03$	$0,50 \pm 0,11$

ные при этом средние множественности резонансов представлены в табл.1. Данные для f - и g -мезонов поправлены с учетом наблюдаемых мод распада. Там же приведены величины отношений числа π_L -мезонов, образованных при распадах ρ^0 - f - и g -резонансов, к их полному числу. Видно, что $159 \pm 6\%$ лидирующих π_L^- -мезонов и $22 \pm 2\%$ π_L^+ -мезонов образуются при распаде этих резонансов. Такие же результаты получены и для четырехлучевых событий, где при этой энергии существенными являются квазидвух-частичные процессы, когда рождаются два резонанса с последующим распадом на четыре заряженные частицы /например, $\pi^+p \rightarrow \rho^0 \Delta^{++}/$.

Для π^-p -взаимодействий при $P=40$ ГэВ/с из-за ограниченной статистики брались все события с $n_{ch} \geq 4$. Полученные при этом результаты представлены в табл.2.

Таким образом, примерно $750-60\%$ лидирующих частиц ($X_{\pi_L} > 0,4$) с зарядом, противоположным заряду налетающего пиона, образуются при распаде резонансов ρ^0 , f и g . Лидирующие части-

цы того же заряда в $15-20\%$ случаев рождаются при распаде этих резонансов. Аналогичный результат был получен для π^-N - и $\pi^-^{12}C$ -взаимодействий при $P=40$ ГэВ/с/8/.

Для теоретических моделей представляют интерес отношения средних множественностей резонансов $\frac{\langle f \rangle}{\langle \rho^0 \rangle}$ и $\frac{\langle g \rangle}{\langle \rho^0 \rangle}$ в области фрагментации налетающей частицы. В связи с этим мы определяли количество этих резонансов при $X_{\pi_L} > 0,4$, не обращая внимания на заряд лидирующего пиона. При этом для π^+p -взаимодействий при 16 ГэВ/с получились следующие результаты:

$$\frac{\langle f \rangle}{\langle \rho^0 \rangle} = 0,24 \pm 0,06 \quad \text{и} \quad \frac{\langle g \rangle}{\langle \rho^0 \rangle} = 0,07 \pm 0,04,$$

а для π^-p -соударений при 40 ГэВ/с -

$$\frac{\langle f \rangle}{\langle \rho^0 \rangle} = 0,27 \pm 0,11.$$

Из приведенных данных видно, что рождение P - и D -волновых резонансов подавлено по сравнению с S -волновыми резонансами.

Отношение $\frac{\langle f \rangle}{\langle \rho^0 \rangle}$ слабо зависит от энергии и заряда налетающего пиона. Величины отношений $\frac{\langle f \rangle}{\langle \rho^0 \rangle}$ и $\frac{\langle g \rangle}{\langle \rho^0 \rangle}$, полученные при $X_{\pi_L} > 0,4$, в пределах ошибок совпадают с отношениями для инклюзивного рождения резонансов^{9/}. Однако с увеличением X_{π_L} отношение $\frac{\langle f \rangle}{\langle \rho^0 \rangle}$ растет и при $X_{\pi_L} > 0,6$ составляет $0,51 \pm 0,16$ для π^+p -соударений при 16 ГэВ/с.

В заключение этого параграфа отметим, что при увеличении X_{π_L} доля лидирующих пионов, образованных при распадах резонансов, растет. В π^+p -соударениях при $X_{\pi_L} > 0,6$ примерно 80% π_L^- -мезонов рождается при распаде ρ^0 -, f - и g -резонансов. Поэтому при определении структурных функций кварков в адронах из распределений пионов по X ($X \geq 0,5$) следует учитывать, что существенная часть этих пионов образуется в результате распада резонансов.

§2. ВЕРОЯТНОСТЬ ДВОЙНОЙ НЕУПРУГОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ

Вероятность двойной неупругой перезарядки определялась как доля событий, в которых электрический заряд самой энергичной вторичной частицы отличался от заряда первичного адрона на две единицы. Значения этих вероятностей $R(\pi^-) = \frac{N_{\pi^- \rightarrow \pi_L^+}}{N_{\pi^- \rightarrow \pi_L^-}}$ при разных границах X_{π_L} для π^-p - и π^-C -взаимодействий с $n_{ch} \geq 4$ при $P=40$ ГэВ/с приведены в табл.3. В случае π^-C -соударений

Таблица 3

Величины значений $R(\pi^-)$ для $\pi^- p$ - и $\pi^- C$ -взаимодействий с $n_{ch} \geq 4$ при $P=40$ ГэВ/с

$X_{\pi_L} \geq X_0$	$\pi^- p$	$\pi^- C$
0,1	$0,48 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,01$
0,2	$0,44 \pm 0,01$	$0,43 \pm 0,02$
0,3	$0,37 \pm 0,01$	$0,34 \pm 0,02$
0,4	$0,29 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,02$
0,5	$0,24 \pm 0,01$	$0,22 \pm 0,02$
0,6	$0,19 \pm 0,01$	$0,17 \pm 0,02$
0,7	$0,15 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,02$
0,8	$0,13 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,02$

Таблица 4

Величины значения $R(\pi^+)$ для $\pi^+ p$ -взаимодействий при 16 ГэВ/с

$X_{\pi_L} \geq X_0$	$n_{ch} = 4$	$n_{ch} \geq 6$	$n_{ch} \geq 4$
0	$0,329 \pm 0,002$	$0,558 \pm 0,003$	$0,426 \pm 0,002$
0,2	$0,313 \pm 0,002$	$0,517 \pm 0,003$	$0,393 \pm 0,002$
0,4	$0,275 \pm 0,002$	$0,363 \pm 0,004$	$0,297 \pm 0,002$
0,6	$0,214 \pm 0,002$	$0,232 \pm 0,004$	$0,217 \pm 0,002$
0,8	$0,164 \pm 0,003$	$0,17 \pm 0,02$	$0,164 \pm 0,003$

не учитывались взаимодействия пионов с квазисвободными нуклонами ядра углерода. Из таблицы видно, что в пределах ошибок значения $R(\pi^-)$ не зависят от типа мишени. Уменьшение $R(\pi^-)$ при больших X_{π_L} ($X_{\pi_L} \geq 0,5$) можно объяснить тем фактом, что лидирующие частицы того же заряда, что и у налетающего адрона, могут образоваться как непосредственно во взаимодействии, так и в результате распада резонансов. Пионы, образованные "прямым"

образом, более энергичны, чем пионы, которые являются продуктами распада резонансов. Лидирующие частицы противоположного знака в основном рождаются при распаде резонансов, что должно приводить к уменьшению значения $R(\pi^-)$ с ростом X_{π_L} . Кроме того, при $X_{\pi_L} \geq 0,8$ для малых множественностей существенны дифракционные процессы, что также приводит к уменьшению значений $R(\pi^-)$. Следует отметить, что в случае $X_{\pi_L} \leq 0,4$ в части событий самыми энергичными являются нейтральные адроны, в основном π^0 -мезоны, которые не наблюдаются на эксперименте.

Величины значений $R(\pi^+) = \frac{N_{\pi^+ \rightarrow \pi_L^+}}{N_{\pi^+ \rightarrow \pi^+}}$ в $\pi^+ p$ -взаимодействиях при $P = 16$ ГэВ/с для разных множественностей заряженных частиц n_{ch} представлены в табл. 4. Видно, что с увеличением n_{ch} значения $R(\pi^+)$ растут. Величины R слабо зависят от заряда налетающего пиона и энергии взаимодействия /см. табл. 3 и 4/.

Полученные результаты можно сравнить с предсказанием аддитивной кварковой модели /10/. В работе /11/ в рамках этой модели были получены значения $R(\pi^-)$ для недифракционных процессов:

$$R(\pi^-) = \frac{0,17 V_1^\pi + 0,30 V_2^\pi}{0,43 V_1^\pi + 0,30 V_2^\pi} \quad /5/$$

где V_1^π и V_2^π - вероятности взаимодействия одного и двух кварков налетающего пиона. Если $V_1^\pi = 1$ и $V_2^\pi = 0$ для $\pi^- p$ -взаимодействий, как предполагается в модели, то $R(\pi^-) \approx 0,4$. Считая, что импульс фрагментационных частиц ($X \geq 0,5$) всегда больше, чем импульс частиц, образованных в центральной области, получим, что значения $R(\pi^-)$ для $\pi^- p$ - и $\pi^- C$ -взаимодействий при $X_{\pi_L} \geq 0,5$ должны совпадать, что и наблюдается на эксперименте. Тот факт, что ожидаемая величина $R(\pi^-) \approx 0,4$ не согласуется с экспериментальными результатами, по-видимому, связан с различием импульсных спектров π_L -мезонов, образованных прямым образом и являющихся продуктами распада резонансов, а также вкладом дифракционных процессов.

§4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании свойств лидирующих пионов в $\pi^+ p$ - и $\pi^- p$ -соударениях при 16 и 40 ГэВ/с соответственно, получены следующие результаты:

1. Примерно /50-60%/ лидирующих частиц ($X_{\pi_L} > 0,4$) с зарядом, противоположным заряду налетающего пиона, образуется путем распада резонансов (ρ^0, f, g). Лидирующие частицы того же

заряда в /15-20/% случаев рождаются при распаде этих же резонансов. С увеличением X_{π_L} доля лидирующих пионов, образованных в результате распада резонансов, растет.

2. Рождение Р-и D-волновых резонансов подавлено по сравнению с S-волновыми резонансами. При $X_{\pi_L} > 0.4$ ρ^0 -мезонов рождается примерно в 5 и 15 раз больше, чем f- и g-мезонов соответственно.

3. Вероятности двойной неупругой перезарядки R уменьшаются с ростом X_{π_L} и слабо зависят от энергии и заряда налетающего пиона.

Авторы благодарны Ю.М.Шабельскому за многочисленные полезные обсуждения и участникам сотрудничества по исследованиям множественных процессов при $P = 40$ ГэВ/с за помощь в обработке экспериментального материала. Мы признательны участникам АВВССНВ сотрудничества /руков. Д.Р.О.Моррисон/ за предоставление экспериментальных данных по π^+p -взаимодействиям при $P = 16$ ГэВ/с. Один из нас /Г.В.Г./ признателен профессорам К.Ланиусу и З.Новаку за обеспечение хороших условий работы в ИФВЭ /Цойтен/ во время его визита в ГДР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1977, т.25, с.117.
2. Grassler H. et al. Nucl.Phys., 1978, B132, p.1.
3. Абдурахимов А.У. и др. ЯФ, 1973, т.18, с.545.
4. Абдурахимов А.У. и др. ЯФ, 1973, т.18, с.1251.
5. Jackson J.D. Nuovo Cim., 1964, 34, p.1644.
6. Pisut J., Roos M. Nucl.Phys., 1968, B6, p.325.
7. Particle Data Group. Rev.Mod.Phys., 1980, 52, p.1.
8. Олимов К.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1980, т.32, с.619.
9. Zieminski A. Proc. of the 1977 Europ.Conf. on Part.Phys. Budapest, 1977, p.163.
10. Anisovich V.V., Shechter V.M. Nucl.Phys., 1973, B55, p.455.
11. Шабельский Ю.М. ЯФ, 1981, т.33, с.1379.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 июня 1981 года.

Беккер Л., Гришин В.Г., Кватадзе Р.А. P1-81-429
Источники лидирующих пионов в π^+p - и π^-p -взаимодействиях при 16 и 40 ГэВ/с

В работе изучаются источники лидирующих заряженных пионов в π^+p - и π^-p -взаимодействиях при 16 и 40 ГэВ/с соответственно. Получено, что примерно /50-60/% лидирующих частиц ($X_{\pi_L} > 0.4$) с зарядом, противоположным заряду налетающего пиона, образуется при распаде ρ^0 -, f- и g-резонансов. Вероятности двойной неупругой перезарядки уменьшаются с ростом X_{π_L} и слабо зависят от энергии и заряда налетающего π -мезона.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1981

Becker L., Grishin V.G., Kvatadze R.A. P1-81-429
Sources of Leading Pions in π^+p - and π^-p -Interactions at 16 and 40 GeV/c

The source of leading charged pions in π^+p and π^-p -interactions at 16 and 40 GeV/c, respectively, is studied. We obtain that approximately 50-60 percent of all leading particles ($X_{\pi_L} > 0.4$) with a charge opposite to that of incident pion come from the decay of ρ^0 , f and g resonances. The probability of double inelastic exchange decreases with increasing X_{π_L} and weakly depends on the energy and charge of incident π -meson.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1981

Перевод аннотации О.С.Виноградовой.