

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



9/VI-75

P1 - 8677

A-646

2082/2-75

Н.Ангелов, Л.Анёла, И.А.Ивановская,  
Е.Н.Кладницкая, Н.Н.Мельникова, А.Михул,  
Н.Г. Фадеев

ЗАРЯДОВЫЙ ОБМЕН В  $\pi^-n$  - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 40 ГЭВ/С

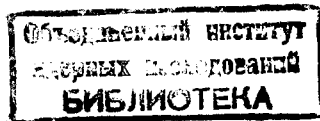
**1975**

P1 - 8677

Н.Ангелов, Л.Анёла\* И.А.Ивановская,  
Е.Н.Кладницкая, Н.Н.Мельникова, А.Михул,  
Н.Г. Фадеев

ЗАРЯДОВЫЙ ОБМЕН В  $\pi^-_n$  - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 40 ГЭВ/С

Направлено в ЯФ



---

\* Институт ядерной физики, Краков

## Введение

Теоретические работы Чу и Янга /1/, а также Квига и Томаса /2/ стимулировали исследование зарядового обмена в различных процессах с целью выяснения механизма взаимодействия частиц при высоких энергиях. Экспериментально зарядовый обмен изучался в инклюзивных реакциях для  $\pi^{\pm} p$  /3/,  $k^{-} p$  /4/ и  $pp$ -взаимодействий /5-8/.

В настоящей работе исследуется зарядовый обмен в  $\pi^{-} p$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с.

Для определения зарядового обмена в каждом событии использовалась величина

$$\Delta Q = \sum_{i=0}^n Q_i - Q_a,$$

где  $Q_i$  - заряд  $i$ -ой частицы,  $n$  - число частиц в событии с продольной быстротой в с.ц.м.  $y^* \geq 0$ ,  $Q_a$  - заряд налетающей частицы. В нашем случае  $Q_a = -1$ , и величина

$$\Delta Q = \sum_{i=0}^n Q_i + 1.$$

Напомним, что существенным свойством фрагментационной модели Чу и Янга /1/ является отсутствие зарядового обмена ( $\Delta Q = 0$ ) для большинства взаимодействий частиц при бесконечно большой энергии. В этой модели сечение процессов с  $\Delta Q \neq 0$  должно стремиться к нулю с увеличением энергии налетающей частицы. Предсказания мультипериферической модели Квига и Томаса /2/ сводятся к тому, что с ростом энергии должно стремиться к нулю среднее значение  $\Delta Q$ . Для квадрата дисперсии распределения по  $\Delta Q$  -  $D^2$  - ожидается рост с энергией во фрагментационной модели /1/ и стремление к постоянной, не равной нулю, величине, в мультиперифери-

ческой /2/. Экспериментальные данные, полученные в настоящей работе, сравниваются с результатами других исследований /3-8/.

### 1. Экспериментальный материал

В работе использовались снимки с двухметровой пропановой пузырьковой камеры, облученной в пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с на ускорителе ИФВЭ в Серпухове. При отборе  $\pi^-n$ -взаимодействий использовались критерии, изложенные в работе /9/. Кроме того, из 3- и 5-лучевых событий с  $\Delta Q = 0$  была исключена примесь событий, связанная с когерентным рождением пионов на углероде. При этом использованы следующие значения сечений  $\sigma_3^{\text{КОГ}} = 4,4 \text{ мб} / 10^*$  и  $\sigma_5^{\text{КОГ}} = 0,3 \text{ мб} / 10/$ .

Из однолучевых событий примесь упругих  $\pi^-n$ -взаимодействий и событий когерентного рождения по реакции  $\pi^-c \rightarrow \pi^- \pi^0 \pi^0 c$  полностью не исключена, т.к. невозможно точно определить эту примесь в условиях нашего эксперимента. После удаления когерентных событий осталось 1403 события, которые мы отнесли к неупругим взаимодействиям  $\pi^-$ -мезонов на квазисвободных нейтронах ядра углерода. Все вторичные отрицательные частицы в этих взаимодействиях считались  $\pi^-$ -мезонами. Из положительных частиц по ионизации выделялись протоны с импульсом до 800 МэВ/с. Они составляют ~ 20% от полного числа вторичных протонов\*, т.е. в среднем на одно взаимодействие приходится 0,07 идентифицированных протонов. Остальные положительные частицы принимались за  $\pi^+$ -мезоны.

Быстрота неидентифицированных протонов  $/P_p \geq 800 \text{ МэВ/с/}$ , принятых при переходе в с.ц.м. за  $\pi^+$ -ме-

$$* \sigma(\pi^- c \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- c) = 3,7 \text{ мб}$$

$$\sigma(\pi^- c \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0 \pi^0 c) = 0,7 \text{ мб.}$$

\*\* В предположении, что коэффициент перезарядки нейтрона в протон равен коэффициенту перезарядки протона в нейтрон  $a_{n \rightarrow p} = a_{p \rightarrow n} = 0,36 \pm 0,04 / 11/$ .

зоны, будет смещаться по оси быстрот в сторону больших значений вплоть до изменения знака быстроты /переход протона в переднюю полусферу/. В событиях с такими протонами значение  $\Delta Q$  будет на единицу больше по сравнению с истинным. Доля таких событий невелика, но связанную с ними погрешность в определении  $\langle \Delta Q \rangle$  следует иметь в виду.

### 2. Распределение $\pi^-n$ -событий по $\Delta Q$

Распределение  $\pi^-n$ -событий по  $\Delta Q$  приведено в табл. 1. Из этой таблицы можно видеть относительные вклады сечений с различными  $\Delta Q$  в сечение неупругих  $\pi^-n$ -взаимодействий. Как и для  $\pi^-p$ -взаимодействий /3/, среднее значение  $\Delta Q (y^* \geq 0)$  не равно нулю, а смещено в сторону положительных значений,  $\langle \Delta Q \rangle = 0,23 \pm 0,03$ , и наибольший вклад в неупругое сечение дают события с  $\Delta Q = 0$  и  $\Delta Q = 1 / \approx 75\%$ . Однако в случае  $\pi^-n$ -взаимодействий  $\langle \Delta Q \rangle$  в два раза меньше, чем для  $\pi^-p$ -столкновений. Сравнение распределений по  $\Delta Q$  для  $\pi^-n$  и  $\pi^-p$ -событий показывает увеличение доли событий с  $\Delta Q = -1$  и уменьшение доли событий с положительными значениями  $\Delta Q$  в  $\pi^-n$ -событиях по сравнению с  $\pi^-p$ -событиями. Вклад событий с  $\Delta Q = 0$  примерно одинаков в обоих типах взаимодействий. Квадрат дисперсии распределения по  $\Delta Q (y^* \geq 0)$  равен  $0,87 \pm 0,03$  и совпадает в пределах ошибок с  $D^2$  для  $\pi^-p$ -взаимодействий ( $y^* \geq 0$ ).

Если сместить границу раздела двух областей по  $y^*$  с нуля на +1 или -1, то получим новые распределения событий по  $\Delta Q$ , которые различаются между собой и отличаются от распределения по  $\Delta Q (y^* \geq 0)$ .

По мере смещения границы раздела от  $y^* = -1$  до  $y^* = +1$  увеличивается доля событий с положительными значениями  $\Delta Q$  и уменьшается вклад событий с нулевыми и отрицательными значениями  $\Delta Q$ . Данное обстоятельство приводит к изменению средних значений  $\Delta Q$  от  $0,07 \pm 0,02 (y^* \geq -1)$  до  $0,51 \pm 0,03 (y^* \geq 1)$ . Это говорит о том, что суммарный заряд частиц, имеющих быстроты в центральной области ( $-1 \leq y^* \leq 1$ ), не равен нулю. В этой области число отрицательных частиц превышает число

Таблица 1

% неугругих событий с данными  $\Delta Q$

$\Delta Q$	$y^*_{\geq -1}$	$y^*_{\geq 0}$	$y^*_{\geq +1}$
-3	$0,14 \pm 0,10$	$0,67 \pm 0,25$	$0,07 \pm 0,07$
-2	$2,1 \pm 0,4$	$2,2 \pm 0,4$	$0,72 \pm 0,24$
-1	$15,5 \pm 1,1$	$13,9 \pm 1,0$	$11,6 \pm 0,9$
0	$58,1 \pm 1,8$	$49,0 \pm 1,7$	$38,0 \pm 1,5$
+1	$20,9 \pm 1,4$	$26,6 \pm 1,4$	$36,8 \pm 1,7$
+2	$3,1 \pm 0,5$	$6,3 \pm 0,7$	$11,2 \pm 0,9$
+3	$0,21 \pm 0,12$	$1,3 \pm 0,3$	$1,5 \pm 0,4$
+4	—	$0,07 \pm 0,07$	$0,07 \pm 0,07$
$\langle \Delta Q \rangle$	$0,07 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,03$	$0,51 \pm 0,03$
$D^2$	$0,60 \pm 0,02$	$0,87 \pm 0,03$	$0,87 \pm 0,04$

положительных. Для  $\pi^-p$ -взаимодействий при нашей энергии наблюдается равенство числа положительных и отрицательных частиц в центральной области /3,12/. Здесь, по-видимому, имеет место компенсация влияния зарядов сталкивающихся частиц на центральную область.

В работах /3,8/ было показано, что распределения событий по  $(\Delta Q - \langle \Delta Q \rangle)$  для  $\pi^-p, k^-p$  и  $pp$ -взаимодействий в интервале импульсов от 10 до 205 ГэВ практически не зависят от типа сталкивающихся частиц и их энергии. Распределение по  $(\Delta Q - \langle \Delta Q \rangle)$   $\pi^-p$ -взаимодействий при 40 ГэВ/с хорошо вписывается в полученное ранее /3,8/ распределение, указывая тем самым на его универсальность /рис. 1/.

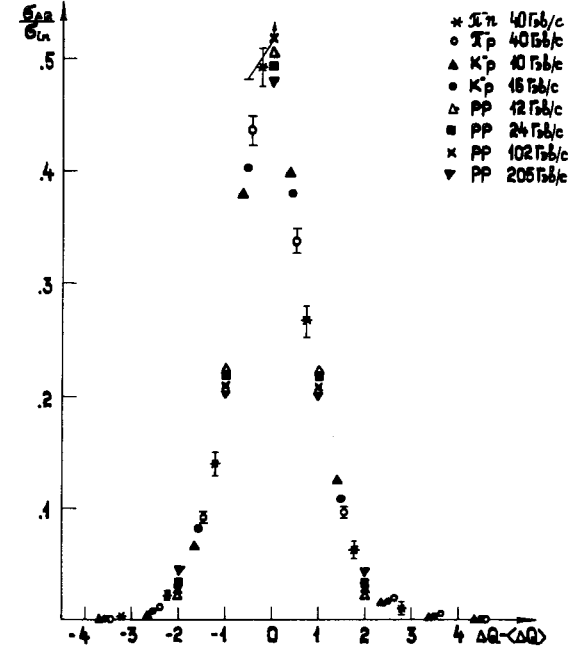


Рис. 1. Распределение событий от  $\pi^-n$ ,  $\pi^-p$ ,  $k^-p$  и  $pp$ -взаимодействий по величине  $(\Delta Q - \langle \Delta Q \rangle)$ .

### 3. Зависимость зарядового обмена от множественности вторичных заряженных частиц

Рассмотрим, как изменяется среднее значение  $\Delta Q$ , квадрат дисперсии распределения по  $\Delta Q$ , а также вклад событий с различными  $\Delta Q$  в зависимости от числа заряженных частиц в событии ( $n_{\pm}$ ).

Рис. 2 показывает, что  $\langle \Delta Q \rangle$  растет линейно с увеличением  $n_{\pm}$ , причем скорость роста примерно такая же, как для  $\pi^-p$ -взаимодействий <sup>3/</sup>. Если аппроксимировать эту зависимость функцией вида  $\langle \Delta Q \rangle_n = a + bn_{\pm}$ , то для  $\pi^-n$ -событий получим  $b^{\pi^-n} = 0,027 \pm 0,007$ , а для  $\pi^-p$  —  $b^{\pi^-p} = 0,040 \pm 0,005$ . Относительный вклад

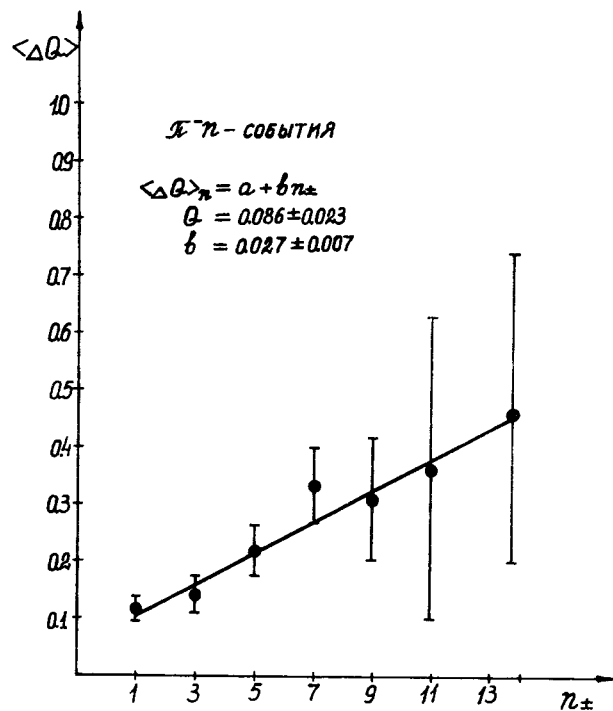


Рис. 2. Зависимость  $\langle \Delta Q \rangle$  от множественности заряженных частиц в событии для  $\pi^-n$ -взаимодействий при 40 ГэВ/с. Прямая — результат аппроксимации экспериментальных точек линейной функцией.

событий с различным  $\Delta Q$  в каждую топологию ( $\frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sigma_n}$ )

показан на рис. 3 вместе с данными для  $\pi^-p$ -взаимодействий. Для обоих типов взаимодействий события с  $\Delta Q = 0$  составляют наибольшую долю среди малолучевых событий, с увеличением множественности  $n_{\pm}$  доля таких событий убывает. Вклад событий с  $\Delta Q = +1$  наименьший в однолучевых событиях ( $\approx 12\%$ ), далее он возрастает с увеличением  $n_{\pm}$  и для  $n_{\pm} > 5$  не зависит от множественности, оставаясь на уровне 30%. Похожая картина наблюдается для событий с  $\Delta Q = +2$ , только независимость

$\frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sigma_n}$  от  $n_{\pm}$  наступает при больших  $n_{\pm}$ . Мало меняется с числом заряженных частиц  $\frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sigma_n}$  для событий с  $\Delta Q = -1$ .

Выше было отмечено, что для  $\pi^-n$ -взаимодействий наблюдается увеличение доли событий с  $\Delta Q = -1$  и уменьшение доли событий с  $\Delta Q = 1$  и 2 по сравнению с  $\pi^-p$ -взаимодействиями. Посмотрим, как эти изменения в распределении по  $\Delta Q$  связаны с числом заряженных частиц в событии. Из рис. 3 видно, что наибольшее различие

в распределениях  $\frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sigma_n}$  для  $\pi^-n$  и  $\pi^-p$ -взаимодействий

наблюдается при малых  $n_{\pm}$  /до 6/. Для больших  $n_{\pm}$  распределения в пределах ошибок совпадают, и можно сказать, что в многолучевых событиях влияние типа нуклона мишени практически не сказывается на распределениях по  $\Delta Q$  ( $\Delta Q = 0, \pm 1, \pm 2$ ). Различие в средних значениях  $\Delta Q$  для многолучевых  $\pi^-n$  и  $\pi^-p$  событий обусловлено в основном событиями с  $\Delta Q = -2, \pm 3, 4$ .

Квадрат дисперсии распределения по  $\Delta Q$  растет линейно с увеличением  $n_{\pm}$  /рис. 4/. Аналогичная зависимость наблюдается для  $D^2$  в  $\pi^-p$ -взаимодействиях.

Распределения  $\pi^-n$  событий с  $\Delta Q = 0$  и  $|\Delta Q| = 1$  по множественности заряженных частиц в переменных

$\frac{\langle n_{\pm} \rangle \sigma_{\Delta Q}}{\sigma_{in}}$  и  $n_{\pm} / \langle n_{\pm} \rangle$  показаны на рис. 5 вместе с

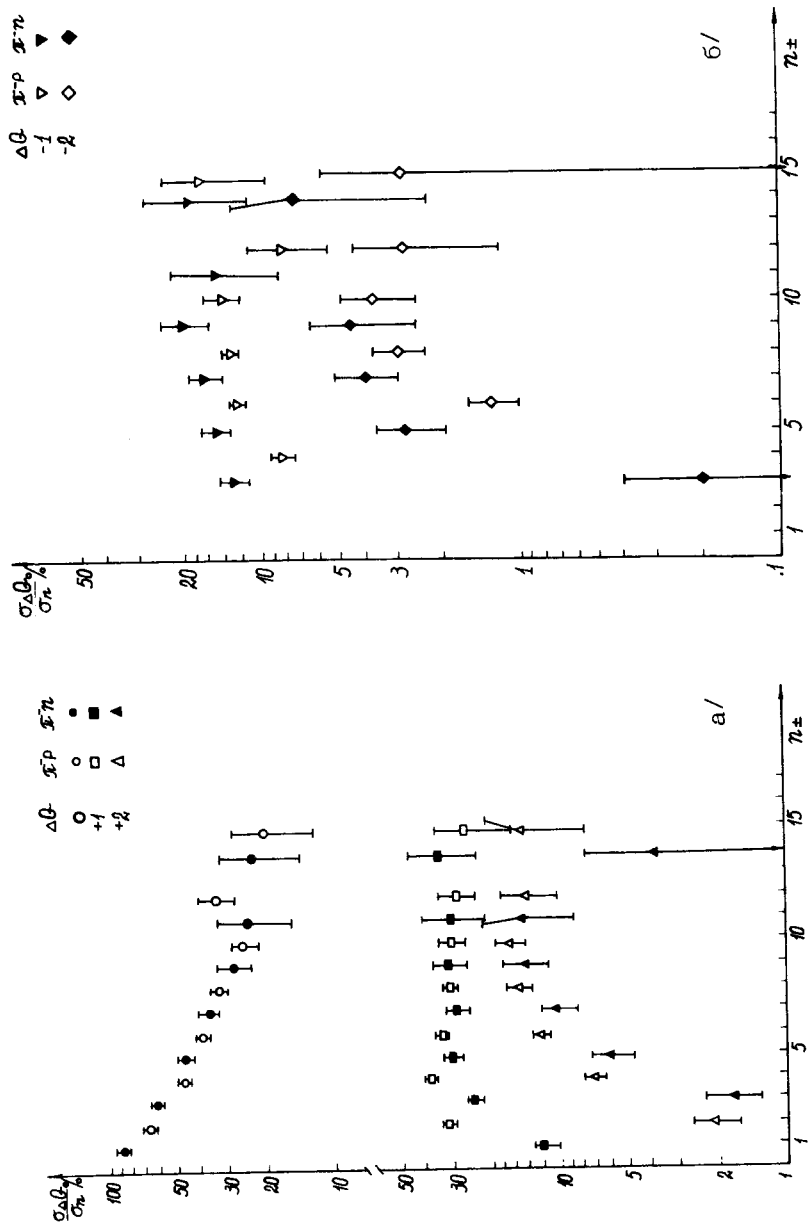


Рис. 3. Распределение событий от  $\pi^- \pi^-$  и  $\pi^- \pi^- r$ -взаимодействий при 40 ГэВ/с с  $\Delta Q = 0, 1, 2$  по множественности заряженных частиц в событиях,  $\sigma_{\Delta Q}$  дано в единицах топологических сечений; б/ то же для событий с  $\Delta Q = -1, -2$ .

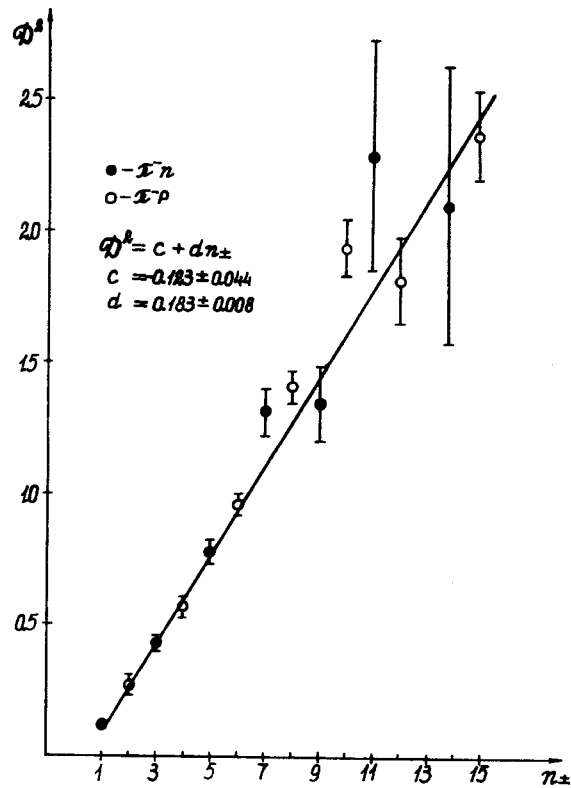


Рис. 4. Зависимость квадрата дисперсии распределений по  $\Delta Q$  для  $\pi^- \pi^-$  и  $\pi^- \pi^- r$ -взаимодействий от числа заряженных частиц в событиях.

данными для  $\pi^- r^{3/}$  и  $rr$ -взаимодействий <sup>/5,7/</sup>. Наблюдается общий характер функций  $\frac{\langle n \rangle \sigma_{\Delta Q=0}}{\sigma_{in}} = \psi_{\Delta Q=0} \left( \frac{n_{+}}{\langle n_{+} \rangle} \right)$  для  $\pi^- \pi^-$ ,  $\pi^- r$  и  $rr$ -взаимодействий. То же самое можно сказать о  $\psi_{|\Delta Q|=1} \left( \frac{n_{+}}{\langle n_{+} \rangle} \right)$ .

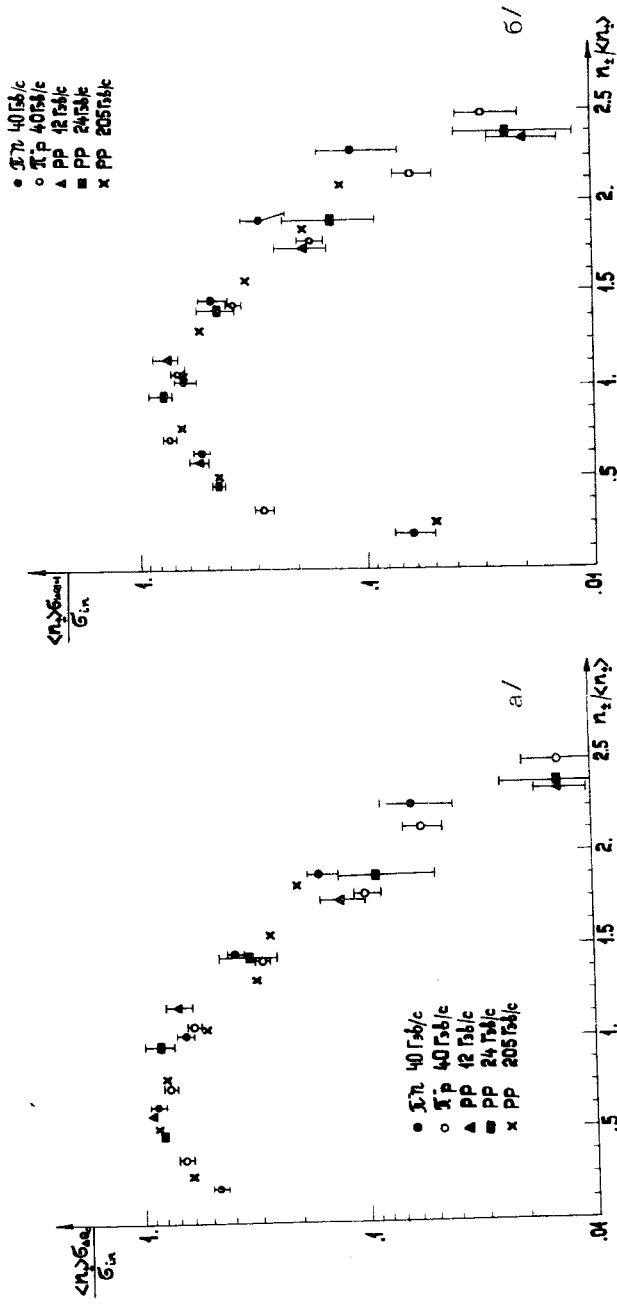


Рис. 5. Зависимость  $\frac{\langle n_{\pm} \rangle \sigma_{\text{inel}}}{\sigma_{\text{in}}}$  от  $\frac{n_{\pm}}{\langle n_{\pm} \rangle}$  для  $\pi^-p$  и  $pp$ -взаимодействий; б/ зависимость  $\frac{\langle n_{\pm} \rangle \sigma_{\Delta Q=0}}{\sigma_{\text{in}}}$  от  $\frac{n_{\pm}}{\langle n_{\pm} \rangle}$  для тех же взаимодействий.

Данные по средней множественности заряженных частиц  $\langle n_{\pm} \rangle$ , топологическим сечениям  $\sigma_n$ , а также значению сечения неупругого  $\pi^-p$ -взаимодействия  $\sigma_{\text{in}}$  взяты из работы /13/.

### Заключение

Анализ зарядового обмена в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с и сравнение с результатами, полученными для  $\pi^-p$ -взаимодействий при той же энергии, показали:

1/ доля событий с  $\Delta Q = 0$  примерно одинакова среди  $\pi^-p$  и  $\pi^-p$ -взаимодействий;

2/ распределения событий с  $\Delta Q \neq 0$  различны для  $\pi^-p$  и  $\pi^-p$ -взаимодействий, что приводит к различным средним значениям  $\langle \Delta Q \rangle^{\pi^-p} = 0,23 \pm 0,03$ ,  $\langle \Delta Q \rangle^{\pi^-p} = 0,490 \pm 0,015$ ;

3/ существенный вклад событий с  $\Delta Q \neq 0$  в рассматриваемые взаимодействия указывает на преимущественную роль в них процессов недифракционного типа;

4/ среднее значение  $\Delta Q$  имеет наименьшую величину в однолучевых событиях и линейно растет с увеличением числа заряженных частиц в событии;

5/ квадрат дисперсии распределения по  $\Delta Q$  линейно растет с увеличением множественности заряженных частиц.

6/ распределение  $\pi^-p$ -событий по  $(\Delta Q - \langle \Delta Q \rangle)$  хорошо вписывается в распределение, полученное для  $\pi^-p$ ,  $k^-p$ - и  $pp$ -взаимодействий в интервале импульсов от 12 до 205 ГэВ/с.

Авторы выражают благодарность К.П.Вишневской, В.Г.Гришину, С.В.Джмухадзе, Л.А.Диденко, Т. Канареку, Т.Я.Иногамовой, В.Б.Любимову, В.Ф.Никитиной, В.М.Поповой, М.Сабзу, Х.И.Семерджиёву, М.И.Соловьёву, А.Н.Соломину, М.М.Суд, Э.Т.Цивцивадзе, Л.М.Щегловой, Г.Янчо за участие в обработке событий, полезные обсуждения и советы.

Авторы благодарны лаборантам ЛВЭ и ЛВТА за просмотр и измерения событий, а также Н.Матасовой за помощь в оформлении рисунков.



## Литература

1. T.T.Chou, C.N.Yang. *Phys.Rev.*, D7, 1425 (1973).
2. C.Guigg, G.H.Thomas. *Phys.Rev.*, D7, 2752 (1973).
3. Н.Ангелов, И.А.Ивановская, Е.Н.Кладницкая и др. ОИЯИ, P1-8036, Дубна, 1974; ЯФ, т. 21, в. 2, 321, 1975.
4. Aachen-Berlin-CERN-London-Vienna Collaboration. P.Bosetti, M.Deutschmann, H.Kirt et al. *Nucl. Phys.*, B62, 46 (1973).
5. Bonn-Hamburg-Munchen Collaboration. U.Idschok, P.Kobe, F.Selonke et al. MPI-PAE/EXP., E129 (1973).
6. С.М.Бромберг, D.Chaney, D.Cohen et al. *Phys.Rev.*, D9, 1864 (1974).
7. J.Whitmore. *Phys.Rep.*, 10C, 273 (1974).
8. H.Wahl. Aix-en-Provence Conf., p. 373 (1973).
9. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков и др. ОИЯИ, P1-6326, Дубна, 1972.
10. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков и др. ОИЯИ, P1-6491, Дубна, 1972. ЯФ, т. 16, в. 5, 989, 1972.
11. V.G.Grishin, G.Jancso, S.P.Kuleshov, V.A.Matveev, A.N.Sissakian. JINR, E2-6596, Dubna, 1972. *Lett. Nuovo Cim.*, 8, 590 (1973).
12. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневская и др. ОИЯИ, P1-7103, Дубна. 1973. ЯФ, т. 18, в. 3, 545, 1974. *Nucl.Phys.*, B72, 189 (1974).
13. O.Balea, V.Boldea, S.Felea et al. *Nucl.Phys.*, B52, 414 (1973).

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 марта 1975 года.