

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

6193 / 2-80

22/12-80

P1-80-606

Ю.Иорданова, В.Б.Любимов, С.Митова, В.Н.Пенев,  
А.И.Шкловская

РОЖДЕНИЕ ЧАСТИЦ  
С БОЛЬШИМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ  
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  $\pi^-$ -МЕЗОНОВ  
С НУКЛОНАМИ И ЯДРАМИ ПРИ 40 ГэВ

Направлено в "Болгарский физический журнал"

1980

## §1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение взаимодействий с рождением частиц, имеющих большие поперечные импульсы, дает возможность выявить структуру адронов и может оказаться полезным при выборе различных моделей множественного рождения частиц. В частности, это относится к результатам анализа корреляций частиц, образованных во взаимодействиях, сопровождающихся испусканием адрона или группы адронов с большими поперечными импульсами\*, т.е. с  $P_{\perp} > \bar{P}_{\perp}$ , где  $\bar{P}_{\perp}$  - средний поперечный импульс "обычного" адрон-нуклонного /ядерного/ взаимодействия<sup>/8/</sup>.

В настоящей работе вопрос об этих корреляциях изучен на примере  $\pi^-p^-$  и  $\pi^-^{12}C^-$  - взаимодействий, отобранных по стандартным критериям<sup>/4/</sup> на снимках с 2-метровой пропановой камеры, облученной пучком  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с. При этом отбирались взаимодействия, для которых были измерены импульсы всех вторичных частиц с ошибкой не хуже 30%. Всего для анализа было отобрано 14276  $\pi^-p^-$ ; 575  $\pi^-p^-$  и 6481  $\pi^-C^-$  - взаимодействий. На основе этой статистики были получены результаты для  $\pi^-^{12}C^-$  - столкновений, в которых были учтены взаимодействия на квазисвободных нуклонах ядра углерода.

В зависимости от числа частиц (L), имеющих поперечный импульс  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с, все события были разделены на три группы\*\*. К первой группе были отнесены взаимодействия без вторичных частиц с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с ( $L=0$ ), ко второй - события, имеющие одну такую частицу ( $L=1$ ), и к третьей - события с  $L \geq 2$ . Соответствующая доля  $\pi^-p^-$  и  $\pi^-^{12}C^-$  - взаимодействий, т.е. с  $L=0$ ,  $L=1$  и  $L \geq 2$ , представлена в табл.1.

Как видно из таблицы, доля событий, имеющих вторичные частицы с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с, в случае взаимодействий на ядре возрастает. Это можно рассматривать как указание на более сильную A-зависимость поперечных сечений для событий с  $L \geq 1$ , чем A-зависимость сечений для всех неупругих взаимодействий ( $\sigma_{in}$ ).

---

\* Результаты изучения корреляций во всех  $\pi^-^{12}C^-$  и  $\pi^-p^-$  - взаимодействиях опубликованы в наших работах<sup>/1/</sup>, а предварительные результаты по исследованию  $\pi^-p^-$  - взаимодействий, сопровождающихся испусканием частиц с большими  $P_{\perp}$ , - в<sup>/2/</sup>.

\*\* Выбор такого ограничения был сделан, в частности, из сообщений, приведенных в работе<sup>/8/</sup>.

Таблица 1

Тип события	L		
	0	1	$\geq 2$
$\pi^- p$	0,700 $\pm$ 0,010	0,235 $\pm$ 0,006	0,065 $\pm$ 0,004
$\pi^- 12C$	0,601 $\pm$ 0,012	0,301 $\pm$ 0,008	0,098 $\pm$ 0,004

## §2. АЗИМУТАЛЬНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ

Азимутальные корреляции во взаимодействиях с различным числом частиц анализировались по переменной:

$$\phi = \arccos \frac{|\vec{P}_{\perp 1} \cdot \vec{P}_{\perp 2}|}{|\vec{P}_{\perp 1}| \cdot |\vec{P}_{\perp 2}|} \quad (1/)$$

Для событий с  $L=0$  величина  $\phi$  определялась как разность азимутальных углов между всеми парами заряженных частиц, в случае  $L=1$   $\phi$  - как разность между азимутальными углами вылета пионов с малым поперечным импульсом и с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с, в событиях с  $L=2$   $\phi$  - как разность между азимутальными углами двух частиц с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с.

Данные для коэффициента асимметрии

$$B = \frac{N(\phi > 90^\circ) - N(\phi < 90^\circ)}{N(\phi > 90^\circ) + N(\phi < 90^\circ)} \quad (2/)$$

приведены в табл.2.

Таблица 2

L	$B(\pi^- p)$	$B(\pi^- 12C)$
0	0,065 $\pm$ 0,001	0,032 $\pm$ 0,001
1	0,193 $\pm$ 0,005	0,111 $\pm$ 0,004
2	0,55 $\pm$ 0,06	0,37 $\pm$ 0,04

Видно, что в отсутствие частиц, имеющих большие поперечные импульсы, азимутальные корреляции малы как для  $\pi^- p$ , так и для  $\pi^- 12C$  - взаимодействий. При переходе к  $L=1$  коэффициенты  $B$  существенно возрастают и при  $L=2$  увеличиваются почти на

порядок. Из приведенной таблицы следует также, что для всех  $L$  азимутальные корреляции на ядре меньше, чем на нуклоне, а при  $L=2$  их значения сближаются.

Коэффициенты асимметрии  $/2/$  были рассчитаны также для разных интервалов продольных быстрот \* и при разных комбинациях зарядов пар частиц. Рассмотрены три интервала быстрот в зависимости от попадания одной из двух частиц в области фрагментаций ( $|Y| > 1$ ) или в центральную область ( $|Y| < 1$ ).

Полученные результаты для взаимодействий частиц с большими  $P_{\perp} (L=0)$  приведены в табл.3.

Таблица 3

Тип события	Интервал быстрот	Величина коэффициента асимметрии		
		$\pi^+ \pi^+$	$\pi^+ \pi^-$	$\pi^- \pi^-$
$\pi^- p$	$Y_1, Y_2 > 1$	$-0,010 \pm 0,003$	$0,150 \pm 0,007$	$-0,020 \pm 0,003$
	$Y_1, Y_2 < -1$	$0,067 \pm 0,011$	$0,090 \pm 0,008$	$-0,037 \pm 0,009$
	$-1 < Y_2, Y_2 < 1$	$0,005 \pm 0,001$	$0,092 \pm 0,002$	$0,010 \pm 0,001$
$\pi^- {}^{12}C$	$Y_1, Y_2 > 1$	$-0,08 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,01$	$-0,095 \pm 0,01$
	$Y_1, Y_2 < -1$	$0,026 \pm 0,004$	$0,067 \pm 0,005$	$-0,007 \pm 0,003$
	$-1 < Y_1, Y_2 < 1$	$0,008 \pm 0,001$	$0,069 \pm 0,003$	$0,008 \pm 0,001$

Как видно из табл.3, корреляции малы как для  $\pi^- p$ , так и для  $\pi^- {}^{12}C$ -взаимодействий; они несколько больше для пионов с разными знаками для всех интервалов быстрот. В табл.4 приводятся азимутальные корреляции в центральной области ( $-1 < Y < 1$ ) для событий, в которых рождается один ( $L=1$ ) или два ( $L=2$ ) пиона с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с.

Центральная область быстрот для табл.4 была выбрана из соображений наибольшей статистической обеспеченности. Данные, приведенные в табл.3 и 4, указывают, что в случае рождения хотя бы одной частицы с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с азимутальные корреляции возрастают и для  $\pi^- p$ , и для  $\pi^- {}^{12}C$ -взаимодействий, становясь одинаковыми в пределах экспериментальных ошибок для разноименно и одинаково заряженных пионов.

\* Продольные быстроты рассчитывались в системе центра масс пион-нуклон.

Таблица 4

Тип события		Величина коэффициента асимметрии (B)		
		$\pi^+ \pi^+$	$\pi^+ \pi^-$	$\pi^- \pi^-$
L=1	$\pi^- p$	0,16 $\pm$ 0,01	0,18 $\pm$ 0,01	0,16 $\pm$ 0,02
	$\pi^- 12C$	0,065 $\pm$ 0,01	0,14 $\pm$ 0,01	0,15 $\pm$ 0,02
L=2	$\pi^- p$	0,47 $\pm$ 0,13	0,43 $\pm$ 0,08	0,52 $\pm$ 0,15
	$\pi^- 12C$	0,30 $\pm$ 0,11	0,48 $\pm$ 0,11	0,36 $\pm$ 0,14

### §3. СРЕДНЕЕ ЧИСЛО НУКЛОНОВ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ В ЯДРЕ УГЛЕРОДА

Мультипериферическая модель <sup>/5/</sup> позволяет связать отношение коэффициентов азимутальной асимметрии на нуклоне и ядре со средним числом провзаимодействовавших в ядре нуклонов ( $\nu$ ):

$$\nu = \frac{B_{hN}}{B_{hA}}, \quad /3/$$

где

$$B_{hN} = \frac{1}{2} (B_{hp} + B_{hn}). \quad /4/$$

Здесь  $B_{hA}$  и  $B_{hN}$  - значения коэффициентов азимутальной асимметрии в центральной области на ядре с атомным номером A и на нуклоне соответственно.

Исходя из данных, приведенных в табл.3 и 4, и усреднив их по знакам пар пионов, мы получили значения величин  $\nu$  в зависимости от числа частиц с большими  $P_{\perp}(L)$ . Эти значения приведены в табл.5.

Таблица 5

L	$B_{\pi N}$	$B_{\pi-12C}$	$\nu$
0	0,054 $\pm$ 0,001	0,039 $\pm$ 0,001	1,39 $\pm$ 0,04
1	0,170 $\pm$ 0,006	0,122 $\pm$ 0,007	1,41 $\pm$ 0,09
2	0,46 $\pm$ 0,06	0,41 $\pm$ 0,07	1,15 $\pm$ 0,20

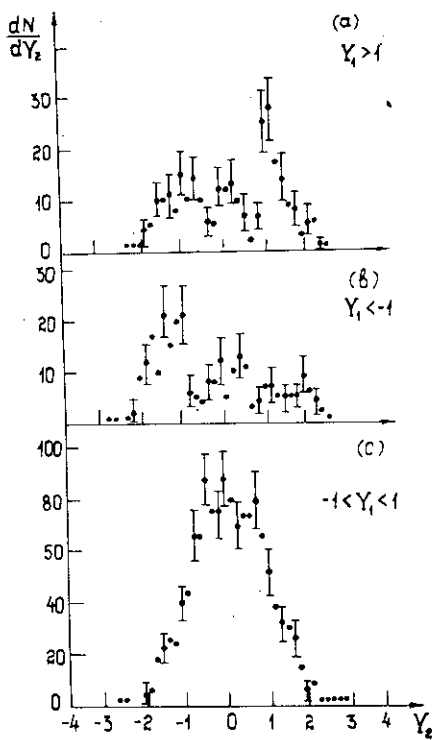


Рис.1. Распределение по быстротам одной из двух частиц с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с для случая, когда вторая частица попадает в интервал быстрот, указанный на рисунке.

Видно, что в пределах ошибок нет зависимости числа взаимодействующих частиц в ядре углерода от  $\nu$ .

#### §4. СВЯЗЬ МЕЖДУ ДВУМЯ ЧАСТИЦАМИ С БОЛЬШИМИ $P_{\perp}$

В событиях с рождением двух частиц, имеющих  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с, была обнаружена интересная особенность. Если в этих взаимодействиях выбрать одну частицу в одном из трех интервалов быстрот:

$$Y_1 > 1, \quad Y_1 < -1, \quad -1 < Y_1 < 1,$$

то распределение по быстротам второй частицы будет иметь максимум в этом же интервале быстрот, что может означать стремление частиц с большими  $P_{\perp}$  рождаться с близкими по величине быстротами. Эта особенность наблюдается как для  $\pi^-p^-$ , так и для  $\pi^-^{12}C^-$  взаимодействий. Суммарные результаты для обоих типов взаимодействия показаны на рис.1. Отметим, что вид распределений не меняется и для пар частиц с  $\phi > \pi/2$ . Это подтверждает предположение о связи между быстротами частиц с большими  $P_{\perp}$  и азимутальной асимметрией в их вылете.

Построено распределение по абсолютной разности между поперечными импульсами ( $\Delta P_{\perp}$ ) пионов с большими  $P_{\perp}$  для  $\pi^-p^-$  /рис.2а/,  $\pi^-p^-$  /рис.2б/ и для  $\pi^-C^-$  взаимодействий /рис.2в/. Из рисунка видно, что значительная доля этих разностей попадает в первый интервал этих распределений, т.е. поперечные импульсы соответствующих пар частиц отличаются меньше чем на 50 МэВ/с. В табл.6 приведены данные о доле таких комбинаций ( $\beta$ ).

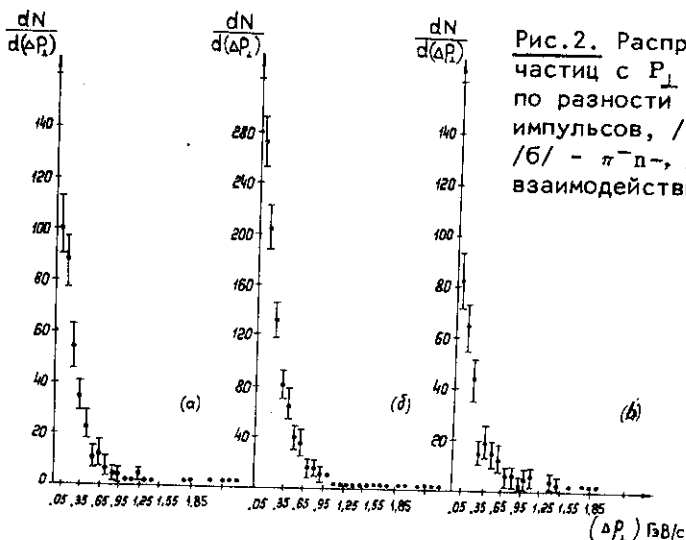


Рис. 2. Распределение пар частиц с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с по разности их поперечных импульсов, /а/ -  $\pi^-p$ , /б/ -  $\pi^-n$ , /в/ -  $\pi^-C$  - взаимодействия.

Таблица 6

Тип взаимодействия	$\pi^-p$	$\pi^-n$	$\pi^-C$
$\beta$	$0,31 \pm 0,04$	$0,27 \pm 0,06$	$0,28 \pm 0,06$

Таким образом, около 1/3 пар частиц с большими поперечными импульсами имеют одинаковые с точностью до 50 МэВ/с поперечные импульсы.

### §5. ЭФФЕКТИВНЫЕ МАССЫ

Спектры эффективных масс были исследованы для  $\pi^-p$ ,  $\pi^-n$ , и  $\pi^-C$  - взаимодействий с разным числом вторичных частиц с большими  $P_{\perp}$ . В спектре эффективных масс  $\pi^+\pi^-$  для  $\pi^-p$  - взаимодействий с  $L=0$  наблюдается  $\rho^0$  - мезон, особенно четко в области фрагментации налетающего  $\pi^-$  - мезона /рис. 3а/. Замечен эффект от  $\rho^0$  - мезона и в суммарном распределении для  $\pi^-p$ ,  $\pi^-n$ ,  $\pi^-C$  - взаимодействий с  $L=0$  /рис. 3б/, точно так же, как и в событиях с  $L \geq 1$  /рис. 4/. В качестве фона использовалось распределение эффективных масс одинаково заряженных пар частиц из того же класса событий, для которых строился спектр эффективных масс  $\pi^+\pi^-$  - пар. Основной вывод из приведенных

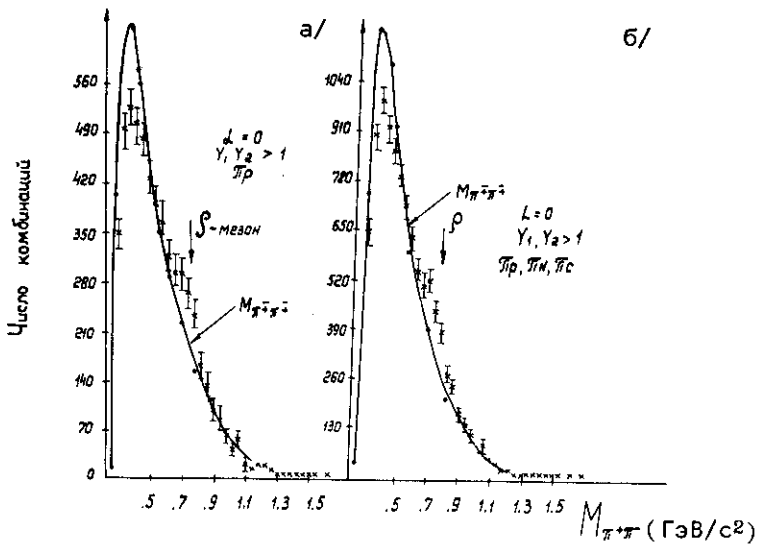


Рис. 3. Спектры эффективных масс  $\pi^+\pi^-$ -пар в событиях с  $L=0$ .

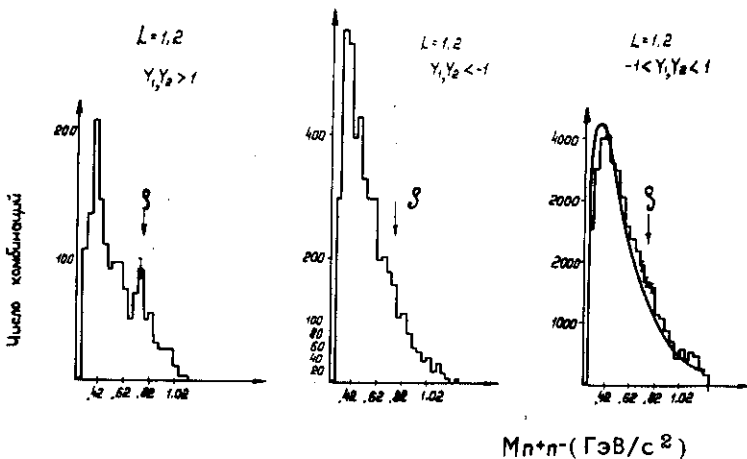


Рис. 4. Суммарное распределение эффективных масс  $\pi^+\pi^-$ - пар в  $\pi^-p$ -,  $\pi^-d$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействиях с  $L \geq 1$  для разных интервалов быстрот ( $Y$ ).



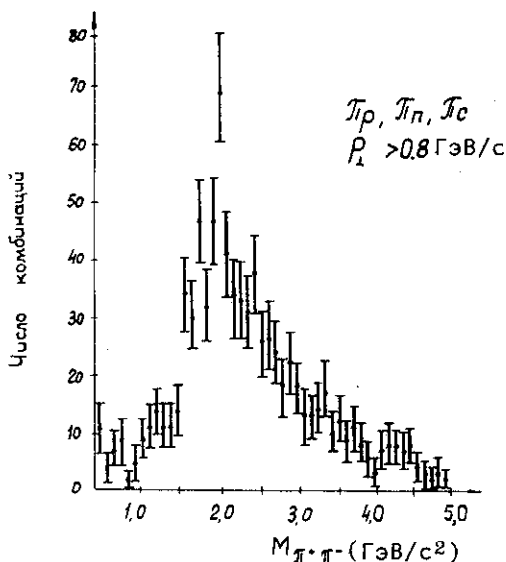


Рис.5. Распределение по эффективным массам  $\pi^+\pi^-$  пар с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с.

распределений: присутствие в событиях частиц с большими  $P_{\perp}$  не влияет на образование, по крайней мере  $\rho^0$ -мезона.

Распределение эффективных масс для частиц с большими  $P_{\perp}$  приведено на рис.5. Оно имеет широкий максимум в районе 2 ГэВ/с<sup>2</sup>, причем положение этого максимума меняется с величиной ограничения на поперечный импульс рассматриваемых частиц. Наблюдается изменение положения максимума в сторону смещения границы по  $P_{\perp}$ . Последнее, по-видимому, является отражением того факта, что в значительном числе случаев  $\pi$ -мезоны рождаются с близкими быстротами, углами и поперечными импульсами.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение рождения частиц с поперечными импульсами  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с в  $\pi^+\rho^-$  и  $\pi^-12C$ -взаимодействиях, выполненное с помощью 2-метровой пропановой камеры, облученной пучком  $\pi$ -мезонов с  $P_{\perp} = 40$  ГэВ/с, позволяет сделать следующие выводы:

- 1/ присутствие во взаимодействиях частиц с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с увеличивает азимутальные корреляции;
- 2/ значительная часть пар  $\pi$ -мезонов с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с /не меньше 30%/ рождается с близкими быстротами, углами и поперечными импульсами;
- 3/ присутствие во взаимодействии частиц с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с не влияет на образование резонансов /в частности,  $\rho^0$ -мезона/;
- 4/ распределение по эффективной массе двух частиц с  $P_{\perp} > 0,8$  ГэВ/с имеет широкий максимум в районе 2 ГэВ/с<sup>2</sup>.

Авторы благодарны всем участникам сотрудничества по обработке снимков с 2-метровой пропановой пузырьковой камеры за помощь в получении экспериментального материала. Особую признательность авторы выражают Е.М.Левину и М.Г.Рыскину за много-

кратные обсуждения и ценные советы, а также Н.С.Ангелову, Т.Канареку, А.Н.Соломину за помощь в составлении программ, Е.Н.Кладницкой и Ю.А.Трояну за полезные дискуссии и советы, В.Г.Гришину, И.А.Ивановской, М.И.Соловьеву за внимательное прочтение рукописи и полезные замечания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, Р1-10768, Дубна, 1977; ЯФ, 1977, 26, с.554, 1029; ЯФ, 1977, 25, с.343; ЯФ, 1976, 24, с.83; Бацкович С. и др. ЯФ, 1980, 31, с.1234.
2. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1978, 27, с.381.
3. Левин Е.М., Рыскин М.Г. Материалы XI зимней школы ЛИЯФ по физике ядра элементарных частиц. Л., 1976, с.267.
4. Абдурахимов А.У. и др. ЯФ, 1972, 16, с.989; Ангелов Н. и др. ЯФ, 1977, 25, с.1013.
5. Levin E.M., Nikolaev N.N., Ryskin M.G. TH-2780, CERN, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 сентября 1980 года.