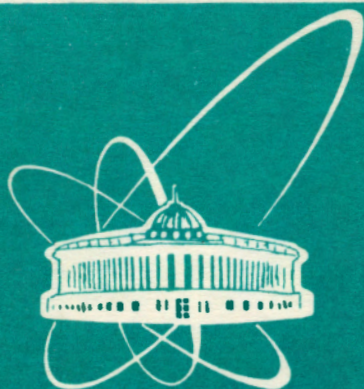


93-464



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-93-464

Р.Н.Бекмирзаев, Е.Н.Кладницкая, С.А.Шарипова*

БЫСТРОТНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ π^- -МЕЗОНОВ
В (p, d, α, C) С-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 4,2 ГэВ/с НА НУКЛОН

Направлено в журнал «Ядерная физика»

*Самаркандский университет

В работе анализируются распределения π^- -мезонов по продольной скорости в зависимости от поперечного импульса пионов для pC -, dC -, αC - и CC -взаимодействий при 4,2 ГэВ/с на нуклон. Ранее [1,2] было показано, что инклюзивные импульсные и угловые характеристики π^- -мезонов в ядро-ядерных взаимодействиях слабо зависят от атомного веса налетающего ядра ($A_p = 2 + 12$). Средние значения кинематических переменных с увеличением A_p изменяются на $\leq 10\%$. Увеличение A_p практически не меняет форму спектров π^- -мезонов под фиксированными углами выше 20° в тех же реакциях [3,4].

Цель настоящей работы — проследить влияние поперечного импульса π^- -мезонов на быстротные распределения и сравнить экспериментальные данные с расчетами по модели кварк-глюонных струн (КГСМ). Используемый для сравнения с экспериментом вариант КГСМ [5] даст возможность выяснить источники образования π^- -мезонов в каждом распределении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В работе использован материал, полученный на двухметровой пропановой пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ, облученной в пучках протонов, дейтронов, α -частиц и ядер углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон. Неупругие взаимодействия с ядрами углерода отбирались из всех событий в пропане по ранее описанной методике [2,6]. Все отрицательные частицы, кроме идентифицированных электронов, считались π^- -мезонами. Примесь неидентифицированных e^- и отрицательных странных частиц не превышает 5% и 1%, соответственно [7]. Введена поправка на потерю π^- -мезонов,

Таблица 1. Статистика событий

	pC	dC	αC	CC
$N_{\text{соб.}}$	5284	6735	4852	7327
$\langle n_{\pi^-} \rangle$ эксп.	$0,36 \pm 0,01$	$0,66 \pm 0,01$	$0,98 \pm 0,02$	$1,42 \pm 0,02$
$\langle n_{\pi^-} \rangle$ КГСМ	$0,348 \pm 0,006$	$0,634 \pm 0,007$	$0,966 \pm 0,012$	$1,585 \pm 0,015$

вылетающих под большими углами к плоскости фотографирования [2]. В пропановой камере π^- -мезоны надежно идентифицируются при импульсах $p > 0,07$ ГэВ/с. Полное число событий и средняя множественность π^- -мезонов по типам взаимодействий представлены в табл.1.

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛИ КВАРК-ГЛЮОННЫХ СТРУН

Экспериментальные быстроечные распределения пионов сравнивались с результатами расчетов по модели кварк-глюонных струн, адаптированной к промежуточным энергиям ($\sqrt{s} \leq 4$ ГэВ) [5]. В модели ядро-ядерные взаимодействия рассматриваются как совокупность независимых взаимодействий нуклонов из ядра-снаряда и ядра-мишени, а также вторичных стабильных адронов и резонансов. В частности, включены резонансные реакции, $\pi + N \rightarrow \Delta$ и $\pi + \pi \rightarrow \rho$, а также поглощение пионов квазидейтронной NN -парой. Время формирования адронов в модели учтено.

Модель кварк-глюонных струн была экстраполирована к промежуточным энергиям, чтобы использовать ее как основной процесс при генерации адрон-адронных взаимодействий. В этот вариант модели включены процессы, описываемые бинарной, дифракционными, планарной, цилиндрической и «неразвитого» цилиндра диаграммами (см. рис.1в [5]). При нашем импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон бинарная и неразвитого цилиндра диаграммы дают равный вклад (по 8,5 мб) в сечение неупругого pp -взаимодействия, а дифракционные и цилиндрические \sim по 4,5 мб (по рис.2в [5]). По КГСМ генерировано по 15 тыс. pC^- , dC^- , αC^- - и CC^- -взаимодействий.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Быстроечные распределения π^- -мезонов в различных интервалах поперечного импульса для CC^- -взаимодействий показаны на рис.1. Распределения имеют характерную для π^- -мезонов колоколообразную форму с максимумом при $y_0 = y_{с.ц.м}$ NN -взаимодействий ($y_0 = 1,1$). Вид распределения с быстротой изменяется с увеличением поперечного импульса π^- -мезонов: возрастает доля π^- -мезонов в центральной области и уменьшается в областях фрагментации сталкивающихся ядер. Быстроечные распределения π^- -мезонов для pC^- , dC^- и αC^- -взаимодействий тоже имеют колоколообразный вид с некоторым сдвигом максимумов распределения в область фрагментации

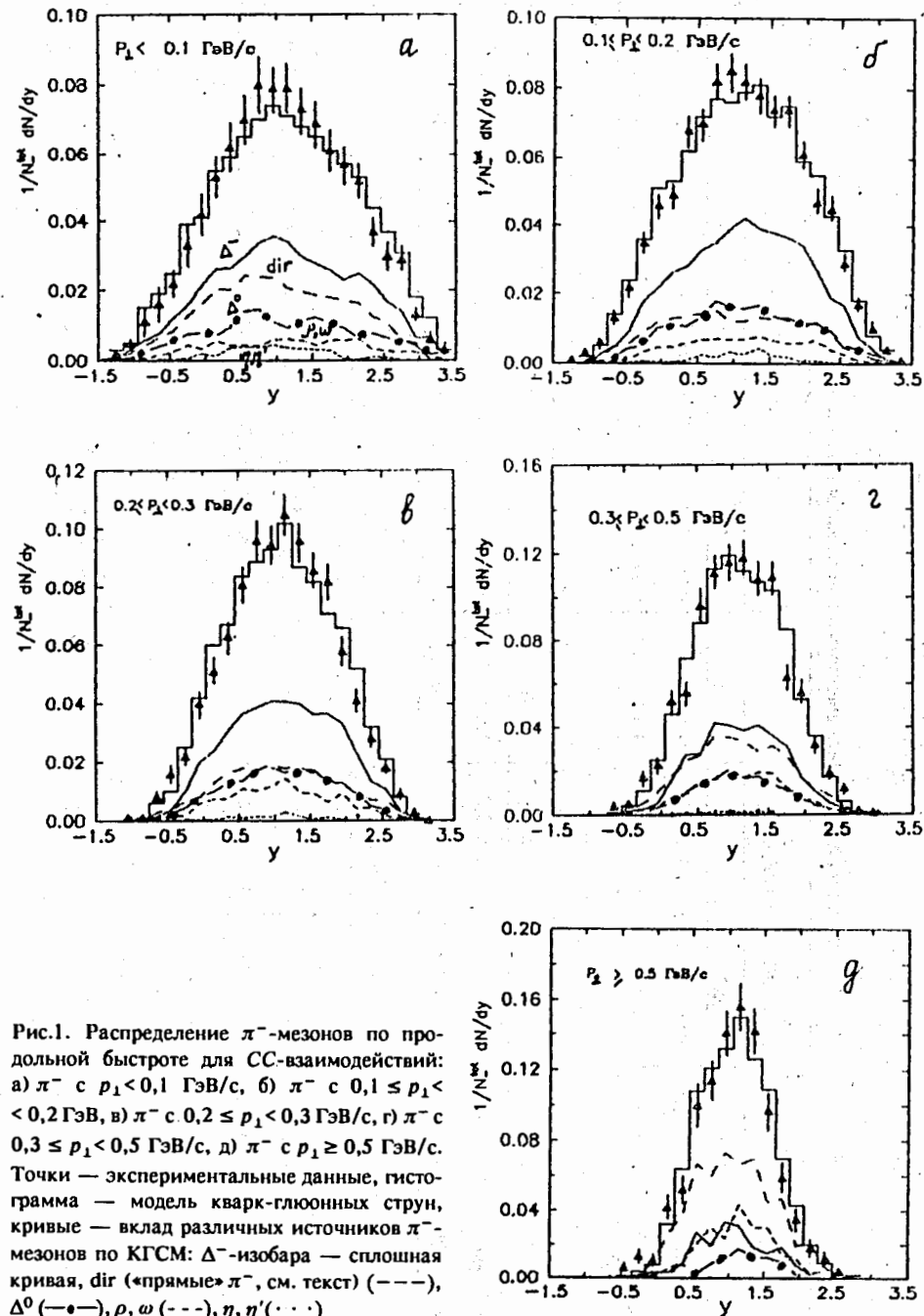


Рис.1. Распределение π^- -мезонов по продольной быстрой для CC^- -взаимодействий: а) π^- с $p_{\perp} < 0,1$ ГэВ/с, б) π^- с $0,1 \leq p_{\perp} < 0,2$ ГэВ, в) π^- с $0,2 \leq p_{\perp} < 0,3$ ГэВ/с, г) π^- с $0,3 \leq p_{\perp} < 0,5$ ГэВ/с, д) π^- с $p_{\perp} \geq 0,5$ ГэВ/с. Точки — экспериментальные данные, гистограмма — модель кварк-глюонных струн, кривые — вклад различных источников π^- -мезонов по КГСМ: Δ^- -изобара — сплошная кривая, dir («прямые» π^- , см. текст) (---), Δ^0 (— · —), ρ , ω (---), η , η' (· · ·)

Таблица 2. Средние значения быстрот по интервалам p_1^-

	$p_1^- < 0,1 \text{ ГэВ/с}$				$0,1 \leq p_1^- < 0,2 \text{ ГэВ/с}$			
	pC	dC	αC	CC	pC	dC	αC	CC
$\langle y \rangle$ эксп.	$0,79 \pm 0,06$	$0,94 \pm 0,04$	$0,99 \pm 0,04$	$1,08 \pm 0,02$	$0,79 \pm 0,03$	$0,92 \pm 0,02$	$0,98 \pm 0,02$	$1,11 \pm 0,02$
$\langle y \rangle$ КГСМ	$0,73 \pm 0,02$	$0,85 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,01$	$1,10 \pm 0,01$	$0,77 \pm 0,02$	$0,88 \pm 0,01$	$0,99 \pm 0,01$	$1,12 \pm 0,01$
	$0,2 \leq p_1^- < 0,3 \text{ ГэВ/с}$				$0,3 \leq p_1^- < 0,5 \text{ ГэВ/с}$			
	pC	dC	αC	CC	pC	dC	αC	CC
$\langle y \rangle$ эксп.	$0,89 \pm 0,03$	$1,01 \pm 0,02$	$1,08 \pm 0,02$	$1,09 \pm 0,02$	$0,95 \pm 0,03$	$1,02 \pm 0,02$	$1,04 \pm 0,02$	$1,08 \pm 0,02$
$\langle y \rangle$ КГСМ	$0,85 \pm 0,02$	$0,97 \pm 0,02$	$1,05 \pm 0,01$	$1,10 \pm 0,01$	$0,96 \pm 0,03$	$1,00 \pm 0,02$	$1,05 \pm 0,02$	$1,10 \pm 0,02$
	$p_1^- \geq 0,5 \text{ ГэВ/с}$				Все π^-			
	pC	dC	αC	CC	pC	dC	αC	CC
$\langle y \rangle$ эксп.	$0,93 \pm 0,04$	$0,95 \pm 0,03$	$1,00 \pm 0,03$	$1,06 \pm 0,02$	$0,85 \pm 0,02$	$0,97 \pm 0,01$	$1,02 \pm 0,01$	$1,09 \pm 0,01$
$\langle y \rangle$ КГСМ	$0,95 \pm 0,07$	$1,01 \pm 0,05$	$1,03 \pm 0,04$	$1,09 \pm 0,03$	$0,826 \pm 0,006$	$0,927 \pm 0,009$	$1,024 \pm 0,007$	$1,103 \pm 0,006$

мишени ($A_t > A_p$) (рис. не представлен). Наибольшим сдвигом максимума отличаются у-распределения π^- -мезонов с $p_{\perp} < 0,2$ ГэВ/с в pC -соударениях (см. $\langle y \rangle$ в табл.2). По мере увеличения атомного веса налетающего ядра максимум быстрого распределения смещается к y_0 . Пионы с поперечным импульсом больше 0,2 ГэВ/с обнаруживают более слабую зависимость от A_p (см. табл.2).

Для быстрых распределений π^- -мезонов из pC -, dC - и αC -взаимодействий так же, как и для соответствующих распределений π^- из CC -соударений, характерно изменение формы по мере увеличения поперечного импульса. Распределения по y сужаются на 1,6—2,0 единицы скорости при переходе от π^- с $p_{\perp} < 0,1$ ГэВ/с к π^- с $p_{\perp} \geq 0,5$ ГэВ/с.

Анализ инклюзивных быстрых распределений π^- -мезонов из $(p, d, \alpha, C)C$ -взаимодействий показал, что центральные области этих распределений обогащены пионами с большими поперечными импульсами (по сравнению с областями фрагментации сталкивающихся ядер). Так,

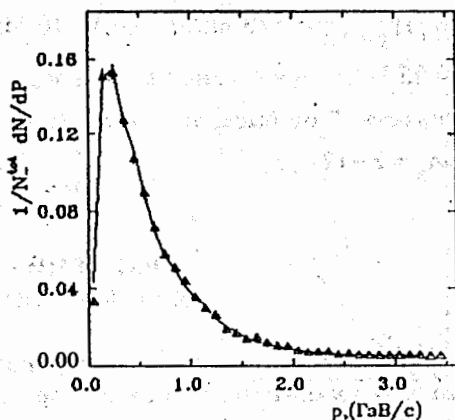


Рис.2. Импульсное распределение π^- -мезонов для CC -взаимодействий. Точки — экспериментальные данные, кривая — КГСМ

Таблица 3. Средние значения кинематических переменных π^- -мезонов для $(p, d, \alpha, C)C$ -взаимодействий

Тип событий		$\langle p_{\text{лаб}} \rangle$, ГэВ/с	$\langle \theta_{\text{лаб}} \rangle$, град.	$\langle p_{\perp} \rangle$, ГэВ/с
pC	эксп.	$0,500 \pm 0,009$	$49,0 \pm 0,8$	$0,243 \pm 0,004$
	КГСМ	$0,457 \pm 0,004$	$50,3 \pm 0,4$	$0,217 \pm 0,002$
dC	эксп.	$0,546 \pm 0,006$	$44,8 \pm 0,5$	$0,245 \pm 0,002$
	КГСМ	$0,507 \pm 0,003$	$46,4 \pm 0,3$	$0,223 \pm 0,001$
αC	эксп.	$0,584 \pm 0,007$	$43,2 \pm 0,5$	$0,248 \pm 0,002$
	КГСМ	$0,546 \pm 0,003$	$42,7 \pm 0,2$	$0,224 \pm 0,001$
CC	эксп.	$0,595 \pm 0,005$	$40,0 \pm 0,3$	$0,240 \pm 0,002$
	КГСМ	$0,574 \pm 0,002$	$39,5 \pm 0,14$	$0,223 \pm 0,001$

$\langle p_{\perp} \rangle|_{y=1,1} = 270$ МэВ/с ($T \approx 110$ МэВ) [8], а $\langle p_{\perp} \rangle|_{y=0} = 180$ МэВ/с ($T \approx 65$ МэВ) при среднем p_{\perp} для всех π^{-} , равном 245 МэВ/с (табл.3). Зависимость T от быстроты фактически одинакова для всех $A_p C$ -соударений ($A_p = 2-12$) [9].

СРАВНЕНИЕ С МОДЕЛЬЮ КВАРК-ГЛЮОННЫХ СТРУН

Сравнение с моделью кварк-глюонных струн [5] дает возможность не только посмотреть, насколько хорошо модель описывает экспериментальные данные для исследуемых типов ядро-ядерных взаимодействий, но и выяснить «происхождение» вторичных частиц. В качестве источников π^{-} -мезонов в модели фигурируют Δ^{-} - и Δ^0 -изобары, ρ^{-} , ρ^0 , ω -, η - и η' -мезоны. Кроме того, в модели часть π^{-} -мезонов образуется не от распада резонансов, а прямо в адрон-адронных взаимодействиях («прямые» π^{-} -мезоны). Это могут быть первичные и вторичные NN -соударения ($NN \rightarrow NN\pi$), а также взаимодействия вторичных мезонов с нуклонами ($\rho N \rightarrow \pi N$).

Проведенное сравнение экспериментальных инклюзивных распределений π^{-} -мезонов по кинематическим переменным для pC -, dC -, αC - и CC -взаимодействий с соответствующими распределениями, полученными в

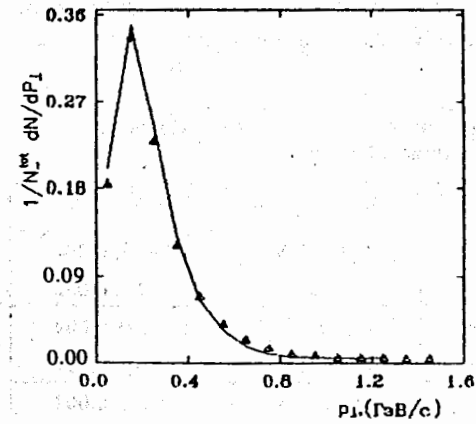


Рис.3. Распределение π^{-} -мезонов по поперечному импульсу для CC -соударений. Обозначения, как на рис.2

рамках модели кварк-глюонных струн, позволяет сделать вывод об удовлетворительном согласии модели КГС с экспериментом (рис.2—5). Как следствие этого, близки между собой и средние значения соответствующих кинематических переменных π^{-} -мезонов в эксперименте и модели (см. табл.3).

Следует отметить, что модель переоценивает множественность π^{-} -мезонов для CC -взаимодействий (см. табл.1).

Продолжая сравнение модели с экспериментом, можно видеть (рис.1) удовлетворительное описа-

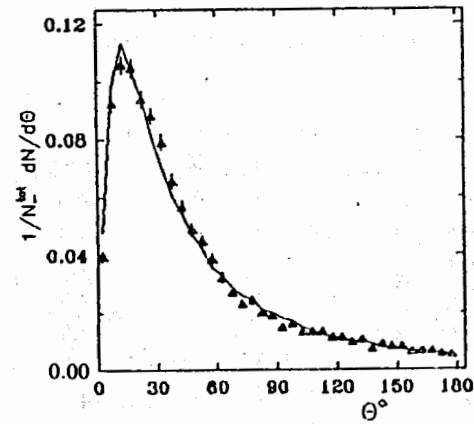


Рис.4. Угловое распределение π^{-} -мезонов для CC -взаимодействий. Обозначения, как на рис.2

ние моделью КГС быстротных распределений π^{-} -мезонов для CC -взаимодействий в пяти интервалах поперечного импульса. Удовлетворительное согласие с моделью КГС получено и для быстротных распределений π^{-} -мезонов из pC -, dC - и αC -взаимодействий в тех же интервалах p_{\perp} , что и для CC -соударений.

Вклады π^{-} -мезонов (в %) от различных источников в выделенные интервалы поперечных импульсов для pC -, dC -, αC - и CC -соударений представлены в табл.4, а для CC -взаимодействий и на рис.6. Видно, что большинство (> 50%) π^{-} -мезонов с $p_{\perp} < 0,3$ ГэВ/с в моделированных $A_p C$ -событиях образуется от распада Δ^{-} - и Δ^0 -изобар, доля «прямых» π^{-} -мезонов в этом интервале p_{\perp} колеблется между 20 и 35%, а ρ - и ω -мезонов — около 10%. Вклад η - и η' -мезонов незначителен (< 5%).

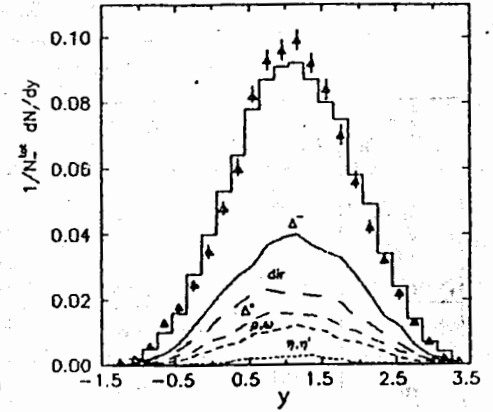


Рис.5. Распределение π^{-} -мезонов по быстроте для CC -взаимодействий. Точки — эксперимент, гистограмма — КГСМ. Кривые — вклад различных источников π^{-} -мезонов по КГСМ: Δ^{-} — сплошная кривая, dir («прямые» π^{-}) (---), Δ^0 (---). Другие обозначения, как на рис.1

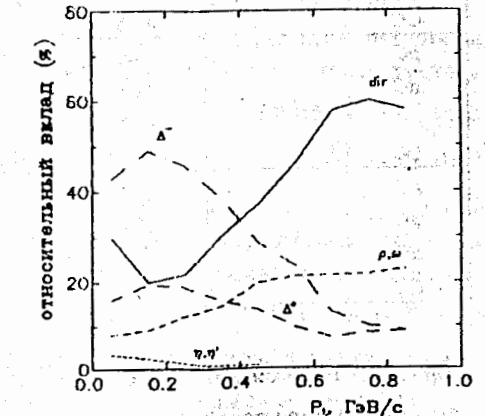


Рис.6. Относительный вклад источников π^{-} -мезонов в импульсный спектр (p_{\perp}) по КГСМ для CC -взаимодействий

Таблица 4. Вклад π^- -мезонов от различных источников в выделенные интервалы спектров π^- -мезонов по поперечному импульсу в (p, d, α , C)C-взаимодействиях

Тип событий	$p_{\perp}^{\pi^-}$, ГэВ/с	Δ^- , %	Δ^0 , %	«Прямые» π^- , %	ρ^-, ρ^0, ω , %	η, η' , %
pC	Все p_{\perp}	32,4	17,0	33,7	13,6	3,2
dC		40,7	15,4	30,3	11,3	2,2
α C		41,7	16,2	28,4	11,2	2,4
CC		42,9	17,0	26,4	11,6	2,0
pC	< 0,1	30,6	15,8	40,5	7,1	6,0
dC		40,6	14,8	34,1	6,0	4,5
α C		39,3	16,4	33,2	6,5	4,6
CC		42,7	16,0	29,8	7,9	3,5
pC	0,1—0,2	41,4	19,2	25,8	10,3	3,1
dC		47,6	17,5	24,2	8,0	2,5
α C		48,9	17,9	22,0	8,4	2,7
CC		48,9	19,4	20,1	9,1	2,4
pC	0,2—0,3	36,3	19,2	26,9	16,0	1,6
dC		43,2	16,8	26,4	12,2	1,3
α C		44,4	18,2	23,1	12,8	1,4
CC		45,8	18,9	21,8	12,2	1,3
pC	0,3—0,5	19,6	15,7	41,7	21,0	1,9
dC		32,1	12,8	35,4	18,9	0,7
α C		34,9	12,9	34,6	16,1	1,4
CC		35,2	15,3	32,6	16,2	0,7
pC	> 0,5	8,6	7,1	62,2	22,1	—
dC		15,6	6,1	56,3	21,3	0,7
α C		18,9	7,7	53,0	20,0	0,4
CC		17,9	8,6	51,9	21,4	0,2

Обращает на себя внимание существенное увеличение доли «прямых» π^- -мезонов по мере роста поперечного импульса π^- . В интервале $p_{\perp} > 0,5$ ГэВ/с она превышает 50% (рис.6). С увеличением p_{\perp} заметно растет и вклад π^- от распада ρ - и ω -мезонов.

Быстротные распределения π^- -мезонов от различных источников для моделированных CC-соударений показаны на рис. 1 и 5, по которым можно проследить изменение формы этих распределений с величиной $p_{\perp}^{\pi^-}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование быстротных распределений π^- -мезонов в различных интервалах поперечного импульса для pC-, dC-, α C- и CC-взаимодействий при 4,2 ГэВ/с на нуклон, а также сравнение этих распределений с моделью кварк-глюонных струн позволяет сделать следующие выводы.

Быстротные распределения π^- -мезонов сужаются по мере увеличения поперечного импульса: возрастает доля π^- в центральной области и сокращается в областях фрагментации сталкивающихся ядер (рис.1). π^- -мезоны с большими p_{\perp} концентрируются преимущественно в центральной области быстрой.

Форма у-распределений π^- -мезонов зависит от атомного веса ядра-снаряда, причем в большей степени — для π^- -мезонов с $p_{\perp} < 0,2$ ГэВ/с, а с увеличением p_{\perp} зависимость от A_p ослабевает (см. табл.2).

Сравнение экспериментальных данных с моделью кварк-глюонных струн показало их удовлетворительное согласие (рис.1—5). Ранее такой вывод был сделан в [10] в результате сравнения с моделью КГС спектров π^- -мезонов в с.ц.м. для исследуемых ядро-ядерных взаимодействий.

Если считать использованный вариант модели КГС приближением, близким к истинной картине ядро-ядерных взаимодействий, то следует вывод о том, что Δ^- - и Δ^0 -изобары являются основным источником π^- -мезонов в A_p C-соударениях. Так, вклад π^- от распада Δ^- и Δ^0 в полную множественность π^- -мезонов составляет ~ 50% в pC- и ~ 60% в CC-взаимодействиях (см. табл.4), причем этот вклад существенно зависит от интервала поперечных импульсов пионов: он наибольший в интервале $p_{\perp} < 0,3$ ГэВ/с и уменьшается до 15—25% при $p_{\perp} > 0,5$ ГэВ/с. Часть π^- -мезонов (11—13%) образуется от распада ρ - и ω -мезонов, а также прямо в адрон-нуклонных взаимодействиях в ядрах. «Прямые» π^- -мезоны дают наибольший вклад в интервале поперечных импульсов выше 0,5 ГэВ/с.

В дальнейшем предполагается изучение зависимости от поперечного импульса быстротных распределений протонов из pC-, dC-, α C- и CC-взаимодействий и сравнение экспериментальных данных с моделями.

Авторы благодарят Д.Салихагича за полезные обсуждения, участников сотрудничества, получивших экспериментальный материал, лаборантов за просмотр пленок и измерение событий, Л.А.Ратникову за помощь в оформлении рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-81-176, Дубна, 1981; ЯФ, 1981, т.34, с.1517.
2. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-84-35, Дубна, 1984; ЯФ, 1984, т.40, с.1209; Zeit. Phys. C, 1985, v.27, p.177.
3. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-89-793, Дубна, 1989; ЯФ, 1990, т.51, с.1591.
4. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, P1-91-394, Дубна, 1991; ЯФ, 1992, т.55, с.736.
5. Амелин Н.С. и др. — ОИЯИ, P2-89-870, Дубна, 1989; ЯФ, 1990, т.52, с.272.
6. Агакишиев Г.Н. и др. — ОИЯИ, 1-83-662, Дубна, 1983.
7. Гаспарян А.П. и др. — ОИЯИ, 1-80-778, Дубна, 1980.
8. Hagedorn R. — CERN 71-12, Geneva, 1971.
9. Vaskovic S. et al. — ОИЯИ, E1-91-376, Дубна, 1991.
10. Vaskovic S. et al. — Phys. Rev. C, 1992, v.46, p.1501; В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ №2[53]-92, Дубна, 1992, с.58.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 декабря 1993 года.

Бекмирзаев Р.Н., Кладницкая Е.Н., Шарипова С.А.

P1-93-464

Быстротные распределения π^- -мезонов

в (p, d, α, C) C -взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с на нуклон

В работе анализируются распределения π^- -мезонов по продольной быстрой в зависимости от поперечного импульса пионов для pC -, dC -, αC - и CC -взаимодействий при 4,2 ГэВ/с на нуклон. Экспериментальные данные сравниваются с расчетами по модели кварк-глюонных струн. Показано, что модель КГС удовлетворительно описывает экспериментальные распределения π^- -мезонов. С помощью модели определены вклады π^- -мезонов от распада Δ^{0-} -изобар, ρ^{0-} -, ω -, η - и η' -мезонов и «прямых» π^- -мезонов в быстротные распределения для различных интервалов поперечного импульса.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1993

Перевод авторов

Bekmirzaev R.N., Kladnitskaya E.N., Sharipova S.A.

P1-93-464

Rapidity Distributions of π^- Mesons

in (p, d, α, C) C Interactions at 4,2 GeV/c per Nucleon

The dependences of π^- rapidity distributions on transverse momentum for pC , dC , αC and CC interactions at 4,2 GeV/c per nucleon are studied. The experimental results are compared with the calculations according to the quark-gluon string model. It is shown that the QGSM satisfactorily describes the experimental distributions of π^- mesons. The contributions of π^- mesons emitted from decays of Δ^{0-} isobar, ρ^{0-} , ω , η , η' and of direct ones to the multiplicities of particles in different rapidity bins and in different p_{\perp} intervals have been determined with help of above model.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1993