

4182/2-77

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



A-697

17/4-77
1 - 10804

А.И.Аношин, В.Б.Любимов, Л.И.Сарычева,
М.И.Соловьев, М.Сулейманов, Д.Тувдендорж

СВОЙСТВА ЛИДИРУЮЩИХ МЕЗОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
 π^- -МЕЗОНОВ С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА
И НУКЛОНАМИ ПРИ $P_{\pi^-} = 40$ ГЭВ/С

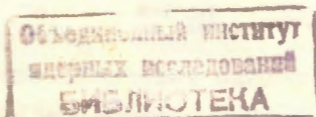
1977

1 - 10804

А.И.Аношин,¹ В.Б.Любимов, Л.И.Сарычева,¹
М.И.Соловьев, М.Сулейманов,² Д.Тувдендорж

СВОЙСТВА ЛИДИРУЮЩИХ МЕЗОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
 π^- -МЕЗОНОВ С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА
И НУКЛОНАМИ ПРИ $P_{\pi^-} = 40$ ГЭВ/С

Направлено в ЯФ



¹ Московский государственный университет.

² Институт физики АН АзССР, г. Баку.

Аношин А.И. и др.

I - 10804

Свойства лидирующих мезонов, образованных во взаимодействиях π^- -мезонов с ядрами углерода и нуклонами при $P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с

На основе феноменологического определения понятий "лидирующая" и "сохранившаяся" частица предложен способ выявления таких частиц в π^- -нуклонных и π^- -углеродных взаимодействиях и получены их характеристики.

Показано, что импульсные спектры лидирующих и сохранившихся пионов почти не зависят от типа взаимодействия, а сами пионы коллимированы в пределах малого телесного угла.

Получены верхние оценки для коэффициентов неупругости в π^-p - и $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях, соответственно равные $0,83 \pm 0,01$ и $0,86 \pm 0,01$.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

1. ВВЕДЕНИЕ

Эта работа посвящена исследованию свойств "лидирующих" частиц, возникающих в адрон-адронных столкновениях. Происхождение понятия "лидирование" связано с известным из опытов с космическими лучами фактом существования среди вторичных частиц таких, которые имеют энергию, близкую по величине к энергии первичной частицы^{1,2/}. Несмотря на сравнительную давность возникновения этого понятия, до настоящего времени существует трудность с его четким определением. Естественно, что результаты исследования, сопоставления и интерпретации свойств "лидирующих" частиц зависят от способа их выделения. При разнообразии в определениях "лидирования" различные авторы, однако, отмечают некоторые общие свойства "лидирующих" частиц^{1-5/}.

Одним из важных вопросов физики высоких энергий является вопрос о свойствах коэффициента неупругости, т.е. величины, определяющей долю энергии, переходящей во вновь рожденные частицы. Эту величину можно определить, если знать долю энергии, уносимую первичной частицей после ее столкновения с частицей мишени. В связи с этим возникает задача выявления такой частицы среди вторичных. Задача становится особенно трудной в случае, когда первичная частица - пион, т.к. в основном вторичными частицами являются тоже пионы. При решении последней задачи предполагается, что первичная частица после столкновения остается среди лидирующих частиц. Это допущение делается по аналогии с $p-p$ - и pA -столкновениями, где первичный протон

является лидирующим и его можно отделить от вторичных пионов^{1,2/}. Как и авторы работ^{1-3/}, назовем "сохранившейся" частицу, уцелевшую после взаимодействия, имеющую такие же квантовые числа, как и первичная частица, и будем искать ее среди лидирующих частиц.

Целью настоящей работы было сравнить свойства лидирующих частиц и сохранившихся π^- -мезонов в пион-нуклонных и пион-ядерных взаимодействиях.

В качестве лидирующей рассматривалась самая быстрая в данном событии частица. Эта частица может быть как заряженной, так и нейтральной. В данной работе при выявлении самой быстрой частицы нейтральные частицы не рассматривались.

Предполагая, что дифференциальные сечения рождения положительных и отрицательных пионов одинаковы, будем считать, что избыток отрицательных "лидирующих" частиц над положительными в передней полусфере системы центра инерции пион-нуклон (C -система) обусловлен наличием π^- -мезонов, которые и назовем "сохранившимися".

2. ЛИДИРУЮЩИЕ ЧАСТИЦЫ

В работе использованы данные, полученные с помощью двухметровой пропановой камеры, облученной π^- -мезонами с импульсом 40 ГэВ/с. В соответствии с ранее установленными критериями (см., например,^{6/}) все найденные события классифицировались как " $\pi^- p$ ", " $\pi^- n$ " и " $\pi^- C$ " взаимодействия. Полное число $\pi^-^{12}C$ -взаимодействий определялось по формуле

$$N(\pi^-^{12}C) = N(\pi^- C) + N(\pi^- n) + aN(\pi^- p), \quad (1)$$

где $a = 0,44 \pm 0,03$ ^{7/}. Рассматривались события, для которых отсутствовали неизмеримые треки и относительная ошибка в определении импульса самой быстрой частицы составляла менее 30%.

На рис. 1а,б показаны спектры импульсов в л.с. системе лидирующих π^- - и π^+ -мезонов, возникших в

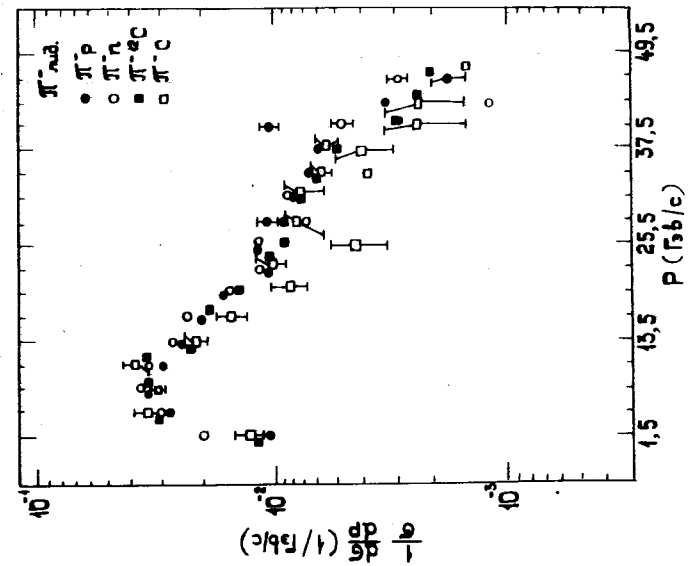
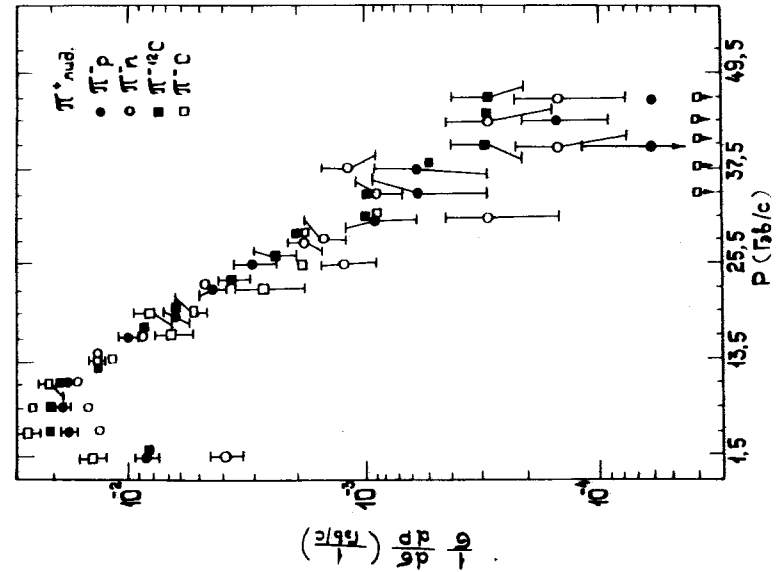


Рис. 1а,б. Импульсные спектры лидирующих π^+ -мезонов в лабораторной системе для $\pi^+ p$ -, $\pi^+ n$ -, $\pi^- p$ -, $\pi^- n$ -, $\pi^- C$ -взаимодействий.

$\pi^- p^-$, $\pi^- p^+$, $\pi^- C^-$ - и $\pi^+ {}^{12}C^-$ - взаимодействиях. Видно, что спектры лидирующих мезонов почти не зависят от типа взаимодействия, причём спектры лидирующих π^- -мезонов более пологие. В табл. 1 приведены средние значения импульсов $\langle P \rangle$, поперечных импульсов $\langle P_{\perp} \rangle$ и углов вылета $\langle \theta \rangle$ лидирующих мезонов относительно направления движения первичного π^- -мезона. Из табл. 1 следует, что лидирующие частицы характеризуются малыми углами вылета, причём во всех типах взаимодействий, кроме $\pi^- p^+$ -взаимодействий, угол вылета π^- -мезона меньше угла вылета π^+ -мезона. Разности между средними углами вылета и между средними импульсами π^+ - и π^- -мезонов почти не зависят от типа взаимодействия.

Таблица 1

Тип события	Лидирующий пион	$\langle P \rangle, \frac{\text{ГэВ}}{c}$	$\langle P_{\perp} \rangle, \frac{\text{ГэВ}}{c}$	$\langle \theta \rangle, \text{град}$	Код-во событий
" $\pi^- p^-$ "	π^+	$11,6 \pm 0,02$	$0,47 \pm 0,01$	$5,1 \pm 0,1$	1473
	π^-	$16,9 \pm 0,2$	$0,49 \pm 0,01$	$3,9 \pm 0,1$	3308
" $\pi^- p^+$ "	π^+	$12,5 \pm 0,3$	$0,47 \pm 0,01$	$5,4 \pm 0,1$	506
	π^-	$15,0 \pm 0,3$	$0,45 \pm 0,01$	$7,6 \pm 0,1$	1445
" $\pi^- C^-$ "	π^+	$9,8 \pm 0,3$	$0,52 \pm 0,02$	$6,7 \pm 0,1$	487
	π^-	$14,2 \pm 0,4$	$0,50 \pm 0,01$	$4,5 \pm 0,1$	833
" $\pi^+ {}^{12}C^-$ "	π^+	$11,1 \pm 0,2$	$0,51 \pm 0,01$	$8,6 \pm 0,1$	1089
	π^-	$15,3 \pm 0,2$	$0,49 \pm 0,01$	$6,1 \pm 0,1$	2265

3. СОХРАНИВШИЕСЯ ЧАСТИЦЫ

Для выявления "сохранившихся" π^- -мезонов в передней полусфере С-системы из спектра продольных импульсов лидирующих π^- -мезонов вычитался спектр продольных импульсов лидирующих π^+ -мезонов. Полученные таким образом для $\pi^- p^-$, $\pi^- p^+$, $\pi^- C^-$ - и $\pi^+ {}^{12}C^-$ -взаимодействий разностные спектры представлены на рис. 2. Кроме того, были построены разностные спектры по той же методике, как и на рис. 2, для всех π^- - и π^+ -мезонов с $\cos \theta^* > 0,7$ и $\cos \theta^* > 0,9$ (θ^* - угол вылета пионов в С-системе). Оказалось, что с изменением θ^* в области $0 < P_{\parallel}^* < 1,5 \text{ ГэВ}/c$ форма разностных спектров резко меняется, тогда как при $P_{\parallel}^* \geq 1,5 \text{ ГэВ}/c$ форма спектров не меняется и, кроме того, полностью совпадает с формой спектров сохранившихся π^- -мезонов. В качестве примера на рис. 3 для случая $\pi^- p^-$ -взаимодействий приведены спектры сохранившихся пионов и разностные спектры всех π^- - и π^+ -пионов при $\cos \theta^* > 0,7$ и $\cos \theta^* > 0,9$.

С уменьшением угла θ^* достигается такое критическое значение угла $\theta_{\text{кр}}^*$, после которого начинается плавное снижение разностного спектра π^- - и π^+ -мезонов. Последний факт указывает на то, что сохранившиеся π^- -мезоны вылетают в пределах узкого конуса в переднюю полусферу.

Отметим, что для всех рассмотренных типов взаимодействий спектры продольных импульсов в С-системе сохранившихся π^- -мезонов разделяются на две части с границей при $P_{\parallel}^* = 1,5 \text{ ГэВ}/c$. В лаб. системе величина $P_{\parallel}^* = 1,5 \text{ ГэВ}/c$ соответствует $x_{\text{изл.}} \approx 0,3$ ($x = P/P_0$, где P - импульс сохранившегося, а $P_0 = 40 \text{ ГэВ}/c$ - импульс первичного пиона). В интегральном импульсном распределении заряженных пионов имеется излом при этом же значении $x = 0,3$. На это обстоятельство неоднократно обращалось внимание в экспериментах с космическими лучами^{1,2}, где указанный излом объясняется существованием сохранившихся частиц, способных уносить значительную ($\geq 0,5$) долю энергии первичной частицы. Причём величина $x_{\text{изл.}}$ не зависит от энергии первичной

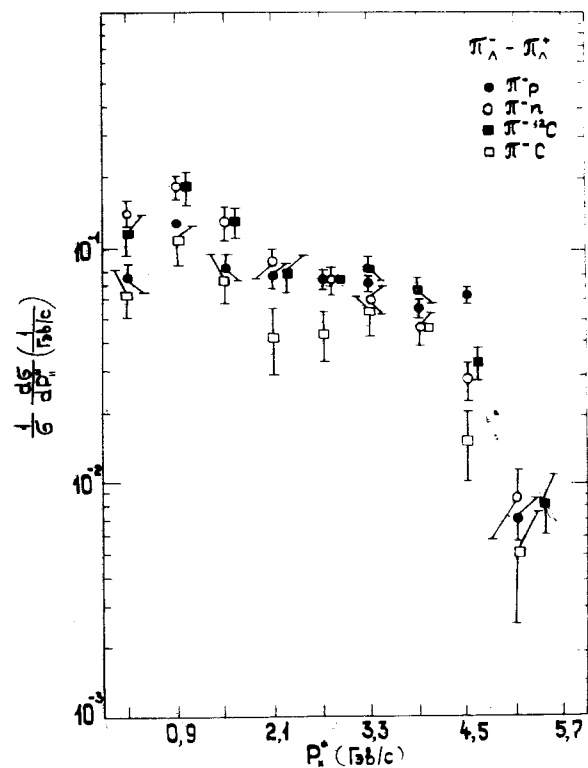


Рис.2. Спектры продольных импульсов в С-системе, полученные как разности между спектрами лидирующих π^- - и π^+ -мезонов в π^-p -, π^-n -, $\pi^-^{12}C$ -, π^-C - взаимодействиях.

частицы и от типа взаимодействия. Так как мы не можем с уверенностью определить форму спектра сохранившихся π^- -мезонов при $P^* < 1,5$ ГэВ/с, то при определении характеристик сохранившихся пионов использовалась часть спектра с нижней границей при $P^* = 1,5$ ГэВ/с. Полученные результаты ($\langle n \rangle$ - средняя множественность, $\langle P^* \rangle$ - средний импульс в С-системе, $\langle u \rangle$ - средняя доля энергии, уносимая сохранившимися частицами) приведены в табл.2. Величина $\langle n \rangle$ для π^-p -

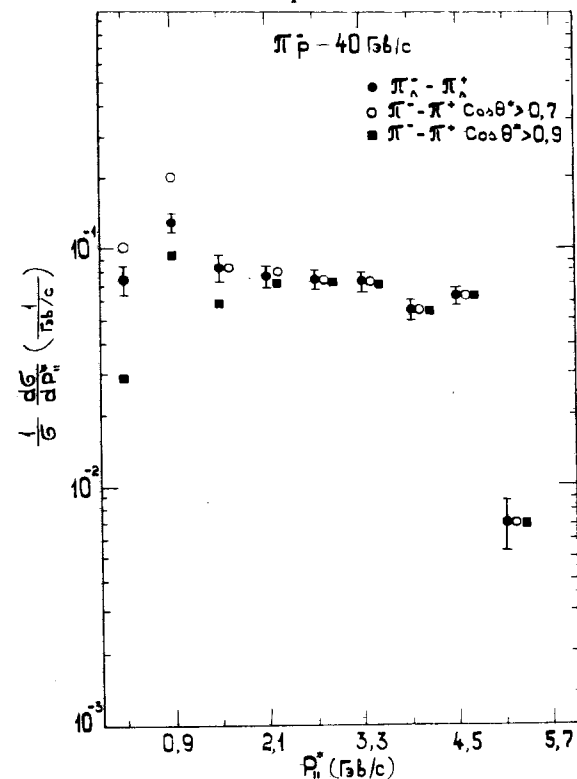


Рис.3. Спектры продольных импульсов в С-системе для π^-p -взаимодействий, полученные как разности между спектрами отрицательно и положительно заряженных пионов при $\cos \theta^* > 0,7$; $\cos \theta^* > 0,9$ и для случая, когда пионы только лидирующие.

взаимодействий совпадает в пределах ошибок с величиной $(0,25 \pm 0,05)$, найденной для сохранившихся π^- -мезонов в работе ^{3/}.

4. АНАЛИЗ $\pi^-^{12}C$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Рассмотрим угловые распределения заряженных π^- -мезонов в С-системе. На рис.4 приведены разностные распределения (F_{π^\pm}) для π^+ - и π^- -мезонов:

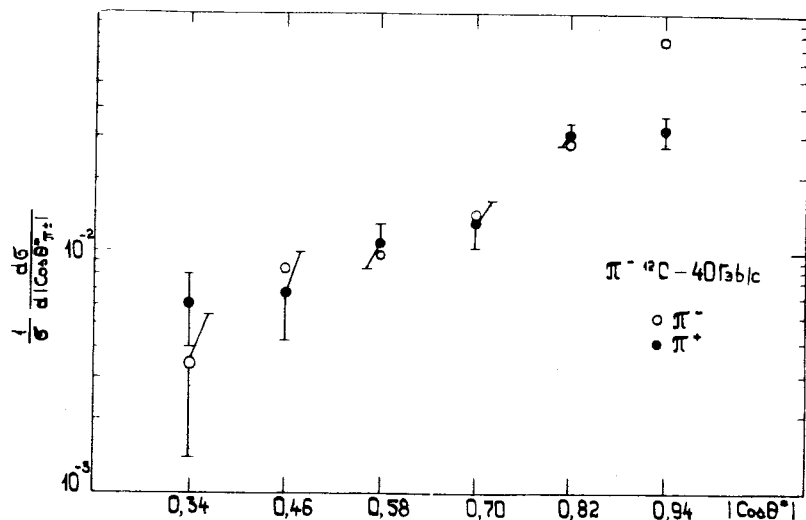


Рис. 4. Разностные угловые распределения π^\pm -мезонов в С-системе для π^- - ^{12}C -взаимодействий (пояснения - см. текст, формулы (2) и (3)).

Таблица 2

Тип события	$\langle n \rangle$	$\langle P^* \rangle \frac{\text{ГэВ}}{c}$	$\langle u \rangle$
$\pi^- p$	$0,24 \pm 0,02$	$3,08 \pm 0,03$	$0,17 \pm 0,01$
$\pi^- n$	$0,23 \pm 0,03$	$2,80 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,02$
$\pi^- C$	$0,14 \pm 0,04$	$3,06 \pm 0,07$	$0,10 \pm 0,01$
$\pi^- ^{12}\text{C}$	$0,20 \pm 0,01$	$2,96 \pm 0,03$	$0,14 \pm 0,01$

В. Ф. ... $\langle u \rangle = \frac{\langle n \rangle \langle P^* \rangle}{\langle P^* \rangle}$

$$F_{\pi^+} \equiv \frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{d|\cos\theta_{\pi^+}^*|} = F_{b\pi^+} - F_{f\pi^+} \quad (2)$$

$$F_{\pi^-} \equiv \frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{d|\cos\theta_{\pi^-}^*|} = F_{f\pi^-} - F_{b\pi^-} \quad (3)$$

где $F_{f\pi^\pm}$ - угловое распределение π^\pm -мезонов в передней полусфере, $F_{b\pi^\pm}$ - угловое распределение π^\pm -мезонов в задней полусфере.

Видно, что в пределах ошибок эти распределения совпадают при $0 \leq |\cos\theta^*| < 0,94$, что свидетельствует об одинаковой по величине и противоположной по знаку асимметрии угловых распределений π^- - и π^+ -мезонов в указанном диапазоне углов θ^* . При $|\cos\theta^*| \geq 0,94$ асимметрия углового распределения π^- -мезонов, летящих вперед, превосходит асимметрию углового распределения π^+ -мезонов, летящих назад. Эта разница обусловлена существованием сохранившихся π^- -мезонов, вылетающих в пределах узкого конуса.

При анализе спектров продольных импульсов заряженных пионов в С-системе обнаружилась следующая особенность. Спектр продольных импульсов π^- -мезонов в задней полусфере С-системы и аналогичный спектр π^+ -мезонов в передней полусфере можно описать одной и той же функцией вида $A \exp(B|P_{||}^*|)$. Причём $A(\pi^-)/A(\pi^+) = 1,04 \pm 0,03$ и $B(\pi^-)/B(\pi^+) = 1,01 \pm 0,02$. Эта особенность позволяет сделать предположение, что спектры продольных импульсов пионов состоят по крайней мере из двух частей. Первая - симметричная как в передней, так и задней полусфере ("симметричная вперед - назад") и одинаковая для π^- - и π^+ -мезонов, вторая - асимметричная в передней полусфере ("асимметричная вперед") для π^- -мезонов и в задней полусфере ("асимметричная назад") для π^+ -мезонов.

На рис. 5 приведены спектры $(\Phi_{\pi^\pm})_{\pi^+}$ - и π^- -мезонов, полученные следующим образом (разностные спектры):

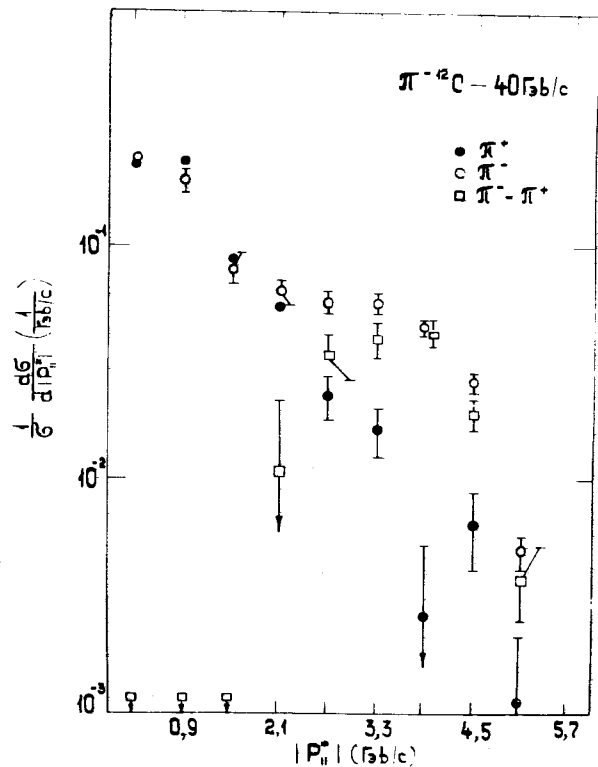


Рис. 5. Разностные спектры продольных импульсов π^\pm -мезонов в С-системе для $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий (пояснения - см. текст).

$$\Phi_{\pi^+} \equiv \frac{1}{\sigma} \left(\frac{d\sigma}{dP_{||}^*} \right)_{\pi^+} = \Phi_{b\pi^+} - \Phi_{f\pi^+}, \quad (4)$$

$$\Phi_{\pi^-} \equiv \frac{1}{\sigma} \left(\frac{d\sigma}{dP_{||}^*} \right)_{\pi^-} = \Phi_{f\pi^-} - \Phi_{b\pi^-}, \quad (5)$$

где $\Phi_{f\pi^\pm}$ - распределение продольных импульсов для π^\pm -мезонов в передней полусфере, $\Phi_{b\pi^\pm}$ - распре-

деление продольных импульсов π^\pm -мезонов в задней полусфере. Из рисунка видно, что при $0 \leq |P_{||}^*| < 1,5$ ГэВ/с оба распределения совпадают. Этот факт указывает на существование одинаковой по величине и противоположной по знаку асимметрии импульсных распределений π^- -мезонов передней полусферы и π^+ -мезонов задней полусферы в указанном диапазоне импульсов. При $|P_{||}^*| \geq 1,5$ ГэВ/с оба распределения отличаются, что, по-видимому, соответствует событиям, обуславливающим разницу в асимметричности угловых распределений, показанных на рис. 4 для π^- - и π^+ -мезонов при $|\cos\theta^*| \geq 0,94$, т.е. сохранившимся π^- -мезонам.

На рис. 5 приведено также распределение, полученное путем вычитания разностных распределений π^- - и π^+ -мезонов ($\Phi_{\pi^-} - \Phi_{\pi^+}$). Это распределение соответствует "избыточным вперед" π^- -мезонам. В табл. 3 приведены средние характеристики этих мезонов вместе с результатами для "асимметричных вперед" π^- -мезонов и "асимметричных назад" π^+ -мезонов. Величины $\langle n \rangle$ и $\langle P_{||}^* \rangle$ одинаковы для "асимметричных вперед" π^- -мезонов и "асимметричных назад" π^+ -мезонов и отличаются от соответствующих значений для "избыточных" π^- -мезонов.

Таблица 3

Тип частицы	$\langle n \rangle$	$\langle P_{ }^* \rangle \frac{\text{ГэВ}}{c}$	$\langle u \rangle$
π^- - асимм. "вперед"	$0,35 \pm 0,03$	$1,0 \pm 0,2$	$0,08 \pm 0,01$
π^- - избыт. "вперед"	$0,10 \pm 0,01$	$3,33 \pm 0,04$	$0,08 \pm 0,01$
π^+ - асимм. "назад"	$0,39 \pm 0,03$	$-(1,03 \pm 0,02)$	$0,006 \pm 0,002$
Всего	$0,84 \pm 0,04$		$0,16 \pm 0,01$

Сформулируем основные выводы работы.

На основе феноменологического определения понятий "лидирующая" и "сохранившаяся" частица предложен способ выявления таких частиц в π^- -нуклонных и π^- -углеродных взаимодействиях и получены их характеристики. Показано, что импульсные спектры лидирующих и сохранившихся пионов почти не зависят от типа взаимодействия, а сами пионы коллимированы в пределах малого телесного угла. Определяя средний коэффициент неупругости по формуле $\langle k \rangle = 1 - \langle u \rangle$, где $\langle u \rangle$ - доля энергии, уносимая сохранившимися π^- -мезонами, получаем верхние оценки для величин коэффициентов неупругости $0,83 \pm 0,01$ и $0,86 \pm 0,01$ в π^-p - и $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях соответственно.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность участникам Сотрудничества по обработке снимков с двухметровой пропановой камеры за полезные дискуссии и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мурзин В.С., Сарычева Л.И. Космические лучи и их взаимодействие. М., Атомиздат, 1968.
2. Мурзин В.С., Сарычева Л.И. Множественные процессы при высоких энергиях. М., Атомиздат, 1974.
3. Сотрудничество: Будапешт-Бухарест-Дубна-Краков-София-Тбилиси-Ташкент-Улан-Батор-Ханой. ОИЯИ, P1-8064, Дубна, 1974.
4. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, P1-7680, Дубна, 1974.
5. Калинин Б.Н. и др. ОИЯИ, P2-8770, Дубна, 1975.
6. В-В-С-D-H-S-S-T-T-UB-W Collaboration, Phys.Lett., 1972, 39B, 371.
7. Сотрудничество: Будапешт-Бухарест-Дубна-Краков-София-Тбилиси-Ташкент-Улан-Батор-Ханой. ОИЯИ, P1-9792, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 июля 1977 года.