

У924/2-79



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

A-697

3/12-79
P1 - 12425

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

ИЗУЧЕНИЕ π^{-12} -С- ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ $P_{\pi^{-}} = 40$ ГэВ/С,
СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ ИСПУСКАНИЕМ
КУМУЛЯТИВНЫХ π -МЕЗОНОВ

1979

P1 - 12425

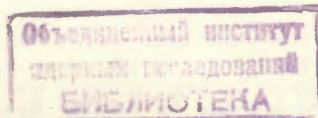
А.И.Аношин,¹ В.Б.Любимов, М.И.Соловьев,
М.К.Сулейманов,² Д.Тувдендорж

ИЗУЧЕНИЕ $\pi^{-12}\text{C}$ - ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ $P_{\pi^{-}} = 40$ ГэВ/С.
СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ ИСПУСКАНИЕМ
КУМУЛЯТИВНЫХ π -МЕЗОНОВ

Направлено в ЯФ

¹ НИИЯФ Московского государственного университета.

² Институт физики АН АзССР, Баку.



P1 - 12425

Аношин А.И. и др.

Изучение $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий при $P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с, сопровождающихся испусканием кумулятивных π^- -мезонов

При взаимодействии π^- -мезонов ($P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с) с ядром углерода в $(1,0 \pm 0,1)\%$ случаев наблюдаются π^- -мезоны с энергиями, превышающими кинематически допустимые значения для пион-нуклонных взаимодействий, причем эти π^- -мезоны в 80% случаев испускаются в заднюю полусферу лабораторной системы координат и в 90% случаев имеют положительный знак. В событиях с кумулятивными π^- -мезонами наблюдается рост множественности всех вторичных заряженных частиц, увеличивается в ≈ 5 раз вероятность полного развала ядра углерода. Инклюзивный спектр π^- -мезонов имеет экспоненциальный вид с параметром наклона, в 5-7 раз меньшим, чем для кумулятивных протонов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Anoshin A.I. et al.

P1 - 12425

Investigation of $\pi^-^{12}\text{C}$ Interactions at $P_{\pi^-} = 40$ GeV/c Accompanied by Cumulative Meson Emission

At the interaction of π^- mesons ($P_{\pi^-} = 40$ GeV/c) with a carbon nucleus π^- -mesons are observed in $(1,0 \pm 0,1)$ percent cases with energies exceeding kinematically admissible values for pion-nucleon interactions. They are emitted in 80 percent cases into the back hemisphere of laboratory system and in 90 percent cases they have a positive sign. For events with cumulative π^- -mesons the growth of multiplicity of all secondary charged particles is observed, the probability of the total carbon nucleus disintegration is increased 5 fold. The inclusive π^- meson spectrum has an exponential shape with a parameter slope 5-7 fold less as compared to cumulative protons.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

§1. Введение

Явление кумулятивного мезонообразования в адрон-ядерных взаимодействиях в настоящее время интенсивно изучается во многих экспериментальных работах (см., например, ^{1/}). Полученные результаты поставили перед теоретической физикой ряд интересных проблем, решение которых требует всеобъемлющей экспериментальной информации. Имеющиеся данные связаны в основном с изучением инклюзивных спектров кумулятивных частиц, и в них отсутствует информация об общих свойствах таких взаимодействий.

Цель настоящей работы - изучение свойств кумулятивных событий на примере $\pi^-^{12}\text{C}$ - взаимодействий при $P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с, для которых имеются данные об импульсах и углах испускания всех вторичных заряженных частиц. Эти сведения могут оказаться полезными для выбора теоретических моделей кумулятивного эффекта. Предварительные результаты были получены нами при изучении импульсных спектров π^- -мезонов, испущенных в $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействиях в заднюю полусферу (ЗП) лабораторной системы координат (л.с.к.) ^{2/}. В этих спектрах были обнаружены π^\pm -мезоны, импульсы которых значительно превышали кинематически допустимые значения для пион-нуклонных взаимодействий.

§2. Отбор кумулятивных событий

Работа выполнена на основе данных, полученных при обработке снимков с 2-метровой пропановой пузырьковой камеры, облученной пучком π^- -мезонов с импульсом $P_{\pi^-} = (40,00 \pm 0,24)$ ГэВ/с на серпуховском ускорителе ИФВЭ. Всего было проанализировано 4931 $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий, отобранных по стандартным критериям, принятым для пропановой пузырьковой камеры ^{3/}. Сюда не вошли взаимодействия π^- -мезона на квази-свободных нуклонах ядра углерода ^{*}.

^{*} Отобранные события соответствуют сечению 87,6 мб.

Кумулятивными считались такие π^-C -взаимодействия (КВ), которые сопровождались испусканием, по крайней мере, одного π^\pm -мезона (n_c) с энергией, превышающей кинематически допустимое значение для пион-нуклонных взаимодействий. Для выделения таких событий использовалась величина n_c , определяемая соотношением

$$n_c = \frac{E(1 - \cos \Theta)}{M_N} \quad (1)$$

которую условно можно назвать порядком кумулятивности. В этом выражении E , Θ - полная энергия и угол вылета π -мезона в л.с.к., M_N - масса нуклона. Отбирались события, удовлетворяющие критерию $n_c \geq 1$.

Всего было найдено 99 таких взаимодействий, имеющих 101 кумулятивный π^\pm -мезон. Таким образом, вероятность осуществления кумулятивных событий оказалась равной $(2,0 \pm 0,2)\%$, или по отношению ко всем неупругим $\pi^{-12}C$ -взаимодействиям - $(1,0 \pm 0,1)\%$. В отобранных событиях в 90% случаев кумулятивным оказался π^+ -мезон, причем как кумулятивные π^+ -мезоны, так и кумулятивные π^- -мезоны в 80% случаев испускаются в ЗП.

Отметим, что в анализ были включены только такие события, в которых импульс кумулятивных π -мезонов был измерен с ошибкой, не большей 30%*.

83. Свойства кумулятивных π^\pm -мезонов

Экспериментальная информация о свойствах кумулятивных π^\pm -мезонов (n_c^\pm) суммирована в табл. 1 и 2. Здесь приведены данные о средних импульсах этих частиц (\bar{P}), средних перпендикулярных импульсах (\bar{P}_\perp), средних углах вылета в л.с.к. ($\bar{\Theta}$), а также средние значения порядка кумулятивности \bar{n}_c . В последней колонке таблиц показаны вероятности наблюдения соответствующих событий, определенные как отношение числа этих событий к полному числу КВ с π_c^+ -мезоном, либо к полному числу КВ с π_c^- -мезоном. Отдельно в табл. 1 и 2 эти величины даны для кумулятивных π^\pm -мезонов, испущенных в ЗП (n_{bc}^\pm). В табл. 1 события разделены по множественности всех вторичных заряженных π -мезонов (n_π) на две группы (с $n_\pi \leq 6$ и $n_\pi > 6$), в табл. 2 - по множественности протонов n_p ($n_p \leq 1$ и $n_p \geq 2$).

* По нашим оценкам, при этом мы теряем не больше 10% кумулятивных событий.

Таблица 1. Свойства кумулятивных π^\pm -мезонов в событиях с разной множественностью заряженных π -мезонов (n_π)

n_π	Кум. частица	\bar{P} (ГэВ/с)	\bar{P}_\perp (ГэВ/с)	$\bar{\Theta}$ (град)	\bar{n}_c	W %
≤ 6	π_c^+	$1,0 \pm 0,1$	$0,79 \pm 0,09$	$115,2 \pm 4,4$	$1,30 \pm 0,05$	42 ± 8
	π_{bc}^+	$0,79 \pm 0,03$	$0,59 \pm 0,05$	$124,6 \pm 3,6$	$1,31 \pm 0,06$	50 ± 10
> 6	π_c^+	$1,2 \pm 0,2$	$1,00 \pm 0,09$	$104,6 \pm 3,5$	$1,26 \pm 0,03$	60 ± 10
	π_{bc}^+	$0,83 \pm 0,04$	$0,71 \pm 0,05$	$118,6 \pm 2,6$	$1,29 \pm 0,05$	50 ± 10
≤ 6	π_c^-	$0,77 \pm 0,09$	$0,5 \pm 0,2$	$123,6 \pm 14,1$	$1,3 \pm 0,2$	20 ± 20
	π_{bc}^-	$0,77 \pm 0,09$	$0,5 \pm 0,2$	$123,6 \pm 14,1$	$1,3 \pm 0,2$	40 ± 20
> 6	π_c^-	$1,6 \pm 0,4$	$1,2 \pm 0,3$	$100,5 \pm 12,8$	$1,29 \pm 0,06$	80 ± 30
	π_{bc}^-	$0,7 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,1$	$137,7 \pm 9,8$	$1,30 \pm 0,09$	60 ± 40

Таблица 2. Свойства кумулятивных π^\pm -мезонов в событиях с разной множественностью протонов (n_p)

n_p	Кум. частица	\bar{P} (ГэВ/с)	\bar{P}_\perp (ГэВ/с)	$\bar{\Theta}$ (град)	\bar{n}_c	W %
≤ 1	π_c^+	$0,94 \pm 0,08$	$0,79 \pm 0,09$	$112,6 \pm 4,2$	$1,24 \pm 0,03$	37 ± 8
	π_{bc}^+	$0,77 \pm 0,03$	$0,61 \pm 0,05$	$122,7 \pm 3,5$	$1,24 \pm 0,04$	38 ± 9
≥ 2	π_c^+	$1,2 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,1$	$106,5 \pm 3,7$	$1,30 \pm 0,04$	60 ± 10
	π_{bc}^+	$0,84 \pm 0,04$	$0,69 \pm 0,05$	$120,3 \pm 2,8$	$1,33 \pm 0,05$	60 ± 10
≤ 1	π_c^-	$1,6 \pm 0,5$	$1,3 \pm 0,4$	$91,7 \pm 14,0$	$1,16 \pm 0,05$	50 ± 30
	π_{bc}^-	$0,7 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,2$	$122,7 \pm 13,5$	$1,07 \pm 0,02$	40 ± 20
≥ 2	π_c^-	$1,2 \pm 0,4$	$0,8 \pm 0,3$	$121,4 \pm 14,6$	$1,41 \pm 0,09$	50 ± 30
	π_{bc}^-	$0,77 \pm 0,09$	$0,4 \pm 0,1$	$138,4 \pm 10,1$	$1,4 \pm 0,1$	60 ± 40

Отметим ряд существенных на наш взгляд особенностей приведенных данных:

1. Намечается тенденция к тому, что вероятности образования кумулятивных π -мезонов больше в событиях с большей множественностью π -мезонов (n_π) и протонов (n_p).

2. Средние значения порядка кумулятивности (n_c) не зависят от n_π и остаются одинаковыми для событий с π_c^+ и π_c^- -мезонами, но зависят от множественности протонов (в событиях с $n_p \geq 2$ они оказываются больше, чем в событиях с $n_p \leq 1$).

3. Величины \bar{P}_\perp для π_c^+ -мезонов больше в событиях с большим значением n_π и n_p . Для π_c^- -мезонов такого вывода сделать нельзя, скорее всего, из-за малости статистики случаев с π_c^- .

4. Абсолютные значения \bar{P}_\perp в 2-2,5 раза больше средних значений P_\perp для π^\pm -мезонов из всех $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий в том числе для всех π^\pm -мезонов, испущенных в ЗП (см. ^{12/}).

§4. Инклюзивные спектры

Из-за недостатка статистики событий с кумулятивными π^- -мезонами мы ограничились изучением спектров только π^+ -мезонов (π_{bc}^+). На рис.1 приведена структурная функция $f(P^2) = \frac{1}{\sigma} E \frac{d^3\sigma}{dP^3}$ для π_{bc}^+ -мезонов в зависимости от P^2 . Спектр начинается со значений $P^2 \approx 0,3$ (ГэВ/с)² и в пределах экспериментальных ошибок имеет экспоненциальный вид. Он был аппроксимирован выражением $f(P^2) = Ae^{-BP^2}$, и для параметров А и В получены значения

$$A = (0,8 \pm 0,2) (\text{ГэВ})^{-2} \text{с}^3 (\text{ср})^{-1}$$

$$B = (1,9 \pm 0,2) (\text{ГэВ/с})^{-2}$$

при $\chi^2 = 1,0$ на одну степень свободы. Значение параметра В в 5-7 раз меньше параметра наклона для кумулятивных протонов (см., например, ^{4/}). Если связывать наблюдаемые π -мезоны с температурой их источника, то наблюдаемый параметр В будет соответствовать очень большим температурам (≈ 600 МэВ).

Экспоненциальный вид имеет распределение π_{bc}^+ -мезонов по величине n_c , определяемой выражением 1 (рис.2), т.е. $dN/dn_c \sim e^{-B_1 n_c}$ с параметром наклона $B_1 = 3,0 \pm 0,5$ ($\chi^2 = 0,55$ на одну степень свободы).

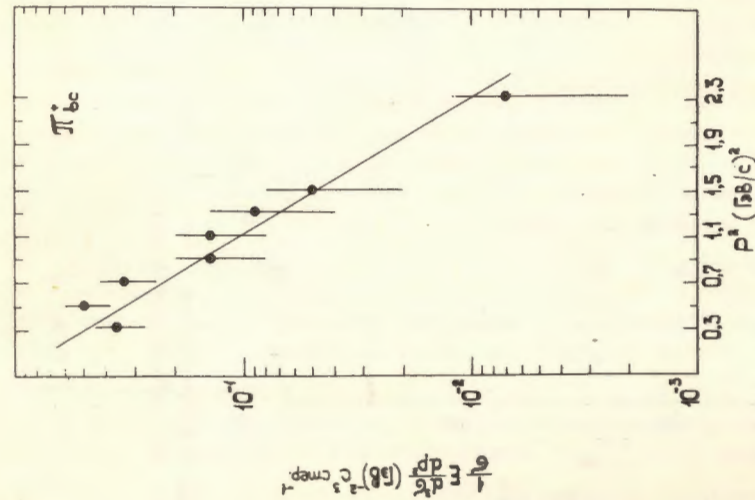


Рис.1. Структурная функция для кумулятивных π^+ -мезонов, испущенных в ЗП, прямая - результат аппроксимации.

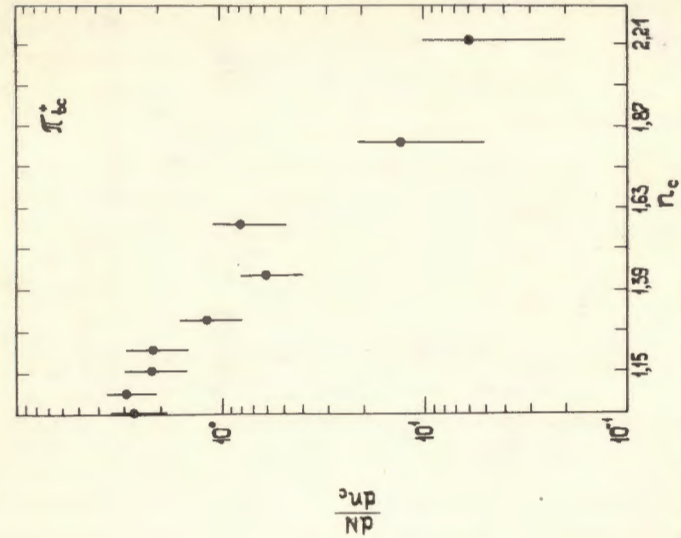


Рис.2. Распределение кумулятивных π^+ -мезонов по величине n_c (см. текст).

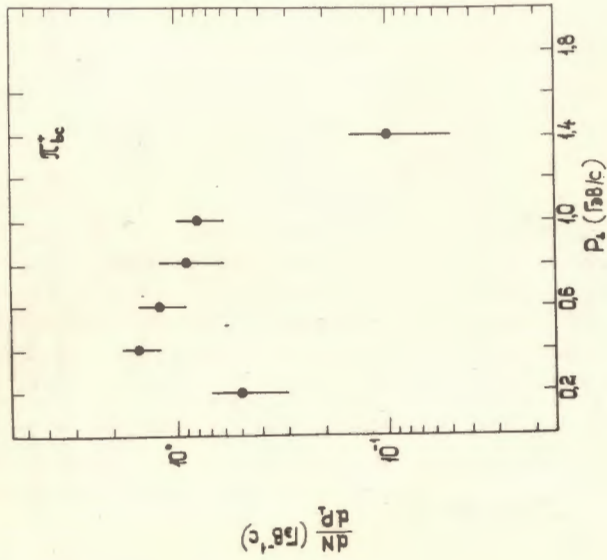


Рис.3. Распределение кумулятивных π^+ -мезонов по перпендикулярным импульсам.

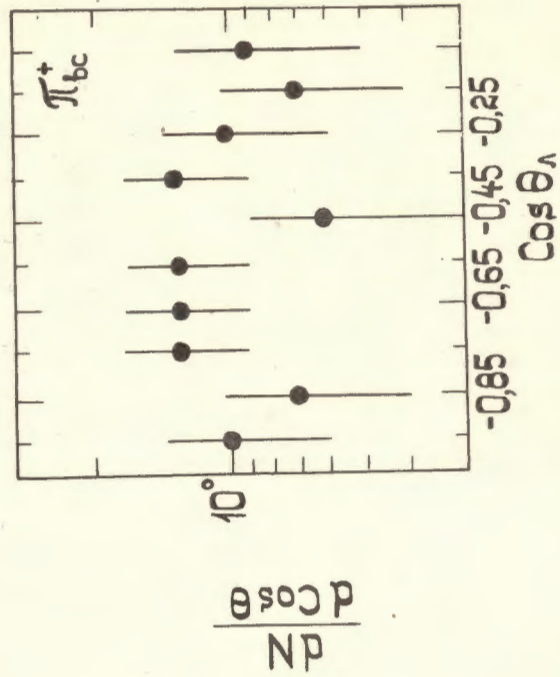


Рис.4. Угловое распределение кумулятивных π^+ -мезонов.

На рис.3 показаны распределения π_{bc}^+ -мезонов по перпендикулярным импульсам. Наблюдается значительная доля π_{bc}^+ -мезонов с большими P_{\perp} (большими, чем средние значения для всех π -мезонов), причем в интервале P_{\perp} от 0,2 до 1,2 ГэВ/с число π_{bc}^+ -мезонов уменьшается в $\approx 2,5$ раза, в то время как для всех π -мезонов уменьшение в этих пределах происходит больше чем на порядок.

Угловое распределение кумулятивных π^+ -мезонов в пределах экспериментальных ошибок можно считать изотропным (рис.4). Такой же вывод получен для всех π -мезонов, испущенных в ЗП^{1/2/}.

§5. Средние характеристики кумулятивных $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий

Как отмечалось выше, вероятность испускания кумулятивных π -мезонов больше для взаимодействий с большой множественностью вторичных заряженных частиц (n_{π}). Этот вывод подтверждается данными для средних значений \bar{n}_{π} этих частиц в КВ (табл.3),* которые оказались заметно больше средних множественностей вторичных заряженных частиц во всех неупругих $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействиях (приведены в 3-ей колонке табл.3). Отметим, что такой же вывод был сделан в результате анализа $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий, сопровождающихся испусканием в ЗП всех заряженных π -мезонов, хотя абсолютные значения n_{π} в этих событиях несколько меньше, чем в КВ^{1/2/}.

В табл.4 для событий типа " π_{bc}^+ " приведены средние импульсы (\bar{P}), средние перпендикулярные импульсы (\bar{P}_{\perp}) и средние углы вылета в л.с.к. ($\bar{\Theta}$) всех π^+ -мезонов и всех π^- -мезонов, в том числе отдельно для событий с разным числом n_{π} и n_{p^*} . Видно, что значения этих величин не зависят от множественности как π -мезонов, так и протонов. В пределах ошибок \bar{P} и \bar{P}_{\perp} совпадают с аналогичными данными, полученными для $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий, сопровождающихся испусканием в ЗП π -мезонов всех возможных импульсов (см.^{1/2/}). Исключением является значение среднего импульса π^- -мезонов в событиях с $n_{\pi} \leq 6$, которое оказалось несколько больше, чем во всех КВ.

* В этой таблице события, сопровождающиеся испусканием кумулятивного π^+ -мезона в ЗП, обозначены " π_{bc}^+ ", π^- -мезона " π_{bc}^- ".

** Результаты для всех кумулятивных событий совпадают с данными, приведенными в табл.4.

Таблица 3. Множественности вторичных заряженных частиц в кумулятивных $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействиях

Множественности	Тип события		
	" π^+ "	" π^- "	Все $\pi^{-12}\text{C}$ []
\bar{n}_{π^+}	$4,4 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,7$	$3,10 \pm 0,02$
\bar{n}_{π^-}	$3,4 \pm 0,2$	$4,3 \pm 0,6$	$3,22 \pm 0,02$
\bar{n}_p	$1,9 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,3$	$0,8 \pm 0,01$

Таблица 4. Средние характеристики заряженных вторичных частиц в кумулятивных $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействиях

Характеристика	Вторичная частица	Тип взаимодействия				
		$n_{\pi^+} \leq 6$	$n_{\pi^+} > 6$	$n_p \leq 1$	$n_p \geq 2$	Все
\bar{P} (ГэВ/с)	π^+	$1,6 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,2$	$1,7 \pm 0,1$
	π^-	$5,2 \pm 0,9$	$2,7 \pm 0,4$	$3,6 \pm 0,6$	$3,2 \pm 0,4$	$3,3 \pm 0,4$
	p	$0,30 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,02$	$0,34 \pm 0,04$	$0,34 \pm 0,01$	$0,34 \pm 0,01$
\bar{P}_1 (ГэВ/с)	π^+	$0,45 \pm 0,03$	$0,43 \pm 0,03$	$0,43 \pm 0,04$	$0,43 \pm 0,02$	$0,43 \pm 0,02$
	π^-	$0,33 \pm 0,04$	$0,34 \pm 0,02$	$0,35 \pm 0,03$	$0,33 \pm 0,02$	$0,34 \pm 0,02$
	p	$0,22 \pm 0,01$	$0,26 \pm 0,01$	$0,23 \pm 0,03$	$0,25 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,01$
$\bar{\theta}$ (град)	π^+	$74,2 \pm 5,0$	$53,7 \pm 2,8$	$59,3 \pm 4,1$	$59,4 \pm 3,2$	$59,4 \pm 2,5$
	π^-	$31,5 \pm 5,1$	$30,5 \pm 2,0$	$31,2 \pm 3,5$	$30,5 \pm 5,8$	$30,8 \pm 2,9$
	p	$68,3 \pm 4,3$	$65,7 \pm 3,1$	$64,3 \pm 7,5$	$67,1 \pm 2,6$	$66,8 \pm 2,5$

Возможно, это связано с малой множественностью π^- -мезонов в этих событиях (для них $\bar{n}_{\pi^-} = 1,8 \pm 0,1$), что, в свою очередь, делает более заметным влияние лидирующих π^- -мезонов.

Значения средних углов вылета π^{\pm} -мезонов в КВ в 1,5–2 раза больше, чем во всех неупругих $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях (для них $\bar{\theta}_{\pi^+} = (26,6 \pm 0,2)^\circ$, $\bar{\theta}_{\pi^-} = (21,1 \pm 0,2)^\circ$). Это можно объяснить тем, что в КВ полный развал ядра углерода происходит в ≈ 5 раз чаще (его вероятность $W = 0,38 \pm 0,09$), чем в обычных $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях ($W = (7,0 \pm 0,3)\%$).

Заключение

При взаимодействии π^- -мезонов с ядром углерода ($P_{\pi^-} = 40$ ГэВ/с) в $(1,0 \pm 0,1)\%$ случаев наблюдается π^{\pm} -мезоны с энергиями, превышающими кинематически допустимые значения для пион-нуклонных взаимодействий (кумулятивные π^- -мезоны). Эти π^- -мезоны в 80% случаев испускаются в заднюю полусферу л.с.к. и в 90% случаев имеют положительный знак. Вероятность образования этих мезонов увеличивается с ростом множественности вторичных заряженных частиц. Средние значения перпендикулярных импульсов кумулятивных π^- -мезонов в 2–2,5 раза больше средних значений этих импульсов для π^- -мезонов из всех неупругих $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий.

Инклюзивный спектр кумулятивных π^- -мезонов имеет экспоненциальный вид, с параметром наклона, в 5–7 раз меньшим, чем для кумулятивных протонов.

В кумулятивных событиях явление полного развала ядра углерода происходит в ≈ 5 раз чаще, чем в обычных неупругих $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях.

Авторы благодарны коллективу Сотрудничества по обработке снимков с 2-метровой пропановой камеры за помощь в работе.

Литература

1. Baldin A.M., JINR, 1978, E1-12031.
2. Ангелов Н. и др. Препринт ОИЯИ, P1-11951, Дубна, 1978; ЯФ, 1979, 29, с.1227.
3. В-В-С-D-H-S-T-T-UB-W Collaboration. Phys.Lett., 1972, 38B, p.371.
4. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1975, 22, с.1026.
5. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1978, 28, с.684.
6. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1977, 25, с.1013.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 апреля 1979 года