

A-697

1-83-458

АНОШИН

Александр Иванович

СВОЙСТВА ЗАРЯЖЕННЫХ АДРОНОВ  
В ОБЛАСТЯХ ФРАГМЕНТАЦИИ  
ПЕРВИЧНОГО  $\pi^-$ -МЕЗОНА И ЯДРА-МИШЕНИ  
В  $\pi^-$ - $^{12}\text{C}$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ  $P_{\pi^-} = 40 \text{ ГэВ}/c$

Специальность 01.04.01 – экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований и в Научно-  
исследовательском институте ядерной физики Московского  
государственного университета им. М.В.Ломоносова.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук  
профессор

Л.И. Сарычева

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

В.Б. Любимов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

И.М. Дремлин

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

В.А. Никитин

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Физико-технический институт АН УзССР, Ташкент.

Защита диссертации состоится " 8 " сентября 1983 г.  
в II час. на заседании Специализированного совета  
Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного  
института ядерных исследований, г. Дубна Московской области,  
Лаборатория высоких энергий ОИЯИ, конференц-зал.

Автореферат разослан " 4 " августа 1983 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Ученый секретарь Специализированного совета  
кандидат физико-математических наук

М.Ф. Лихачев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Изучение механизмов взаимодействия адронов с ядрами и проявлений кварк-партоновых степеней свободы является одной из актуальных проблем физики высоких энергий. В ряде работ рассматривалась возможность коллективного возбуждения ядерной материи, носящего характер ударной волны и предшествующего полному развалу ядра при адрон-ядерных столкновениях. Обсуждалась также и возможность генерации адронного черенковского излучения. В соответствии с теоретическими указаниями поиск ударных волн проводился в ядро-ядерных столкновениях при энергиях  $\leq 1$  ГэВ/нуклон, но не дал положительных результатов. Большой интерес представляет вопрос об изобарных возбуждениях нуклонов ядра. Диссертация посвящена экспериментальному исследованию этих вопросов.

Цель работы - изучить свойства заряженных адронов в областях фрагментации  $\pi^-$ -мезона (снаряда) и ядра углерода (мишени) в  $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях; выделить, изучить и сравнить характеристики лидирующих и "сохранившихся"  $\pi^-$ -мезонов в пион-нуклонных и пион-ядерных взаимодействиях; исследовать поведение инвариантного инклюзивного сечения образования  $\pi^-$ -мезонов в пион-углеродных взаимодействиях в области фрагментации ядра в зависимости от их кумулятивного числа ( $\beta^\circ$ ), угла испускания ( $\theta$ ), квадрата поперечного импульса ( $P_\perp^2$ ) и множественности ( $N_{\pi^-}$ ) заряженных  $\pi^-$ -мезонов в задней полусфере лабораторной системы координат (л.с.); разработать критерии, соответствующие задаче поиска ядерных ударных волн и изучить события, удовлетворяющие этим критериям; исследовать возможность рождения изобар в пион-углеродных взаимодействиях при  $P_{\pi^-} = 40$  ГэВ/с.

Новизна работы заключается в том, что впервые:

- 1) в  $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях при  $P_{\pi^-} = 40$  ГэВ/с выявлены лидирующие и "сохранившиеся"  $\pi^-$ -мезоны и изучены их свойства;
- 2) получена экспериментальная информация о распределении по фейнмановской переменной  $x$  "сохранившихся"  $\pi^-$ -мезонов в пион-нуклонных и пион-углеродных взаимодействиях, определены средние полные коэффициенты неупругости в этих взаимодействиях при  $P_{\pi^-} = 40$  ГэВ/с;
- 3) обнаружено, что инвариантное инклюзивное сечение рождения

Объединенный институт  
ядерных исследований  
Библиотека

$\pi^-$ -мезонов, испущенных в заднюю полусферу л.с. ( $P_{\pi^-}$ ) слабо зависит от  $\theta$  и  $N_{\pi^-}$ , а поведение  $\rho_{\pi^-}(P_{\pi^-}^2)$  имеет различный характер в некумулятивной и кумулятивной областях  $\pi^-C$ -взаимодействий;

4) в  $\pi^{12}C$ -взаимодействиях, отобранных по вновь разработанным критериям, целесообразным с точки зрения поиска ядерных ударных волн, в угловом распределении протонов обнаружен пик при  $\sim 60^\circ$  (в л.с.); исследованы характеристики отобранных событий;

5) получено указание на то, что вероятность рождения изобар в пион-углеродных взаимодействиях, особенно в событиях с полным развалом ядра, выше по сравнению с  $\pi^-p$ -взаимодействиями при той же энергии пиона-снаряда.

Научная и практическая ценность работы заключается в том, что на большом статистическом материале (примерно 18000 неупругих взаимодействий) изучены свойства заряженных адронов в областях фрагментации пиона-снаряда и ядра углерода-мишени. Экспериментальный материал получен на основе отбора и анализа  $\sim 300000$  стереофотоснимков с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной  $\pi^-$ -мезонами с импульсом 40 ГэВ/с. Экспериментальные данные имеют важное значение для построения теории сильных взаимодействий, в частности, для понимания механизмов множественного и кумулятивного рождения адронов, генерации ядерных ударных волн. Полученные результаты и разработанные методы могут быть использованы при планировании новых экспериментов по исследованию взаимодействий частиц и ядер с ядрами.

Публикации. В диссертацию вошли работы, опубликованные в журнале "Ядерная физика"/1-5/, а также в виде препринта и сообщения ОИЯИ.

Апробации. Основные результаты диссертации докладывались на семинарах ЛВЭ ОИЯИ, Лаборатории адронных взаимодействий ОИТ НИИЯФ МГУ, на международных совещаниях стран-участниц ОИЯИ по обработке снимков с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, на научной сессии Отделения ядерной физики АН СССР, посвященной физике высоких энергий (Москва, 1981 г.).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 125 страниц машинописного текста, 27 рисунков, 15 таблиц и библиографию из 84 наименований.

Автор защищает:

1. Результаты проделанной работы по получению и обработке примерно 18000 неупругих  $\pi^{12}C$ -взаимодействий при  $P_{\pi^-} = 40$  ГэВ/с с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ.

2. Метод выделения и результаты исследования свойств лидирующих и "сохранившихся"  $\pi^-$ -мезонов в пион-нуклонных и пион-ядерных взаимодействиях.

3. Полученные результаты по инвариантным инклюзивным сечениям испускания  $\pi^-$ -мезонов в заднюю полусферу л.с. в  $\pi^-C$ -взаимодействиях.

4. Результаты исследования  $\pi^{12}C$ -взаимодействий, отобранных по вновь разработанным критериям поиска ядерных ударных волн.

5. Результаты анализа и сравнения спектров эффективных масс ( $\pi^\pm +$  протон) пар в неупругих пион-протонных и пион-углеродных взаимодействиях при  $P_{\pi^-} = 40$  ГэВ/с.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и основная цель работы - изучение свойств заряженных адронов в областях фрагментации  $\pi^-$ -мезона-снаряда и ядра-мишени в  $\pi^{12}C$ -взаимодействиях. Кратко описаны основные понятия и величины, используемые в диссертации.

В первой главе приведены основные технические характеристики пропановой пузырьковой камеры, созданной в ЛВЭ ОИЯИ, и дано краткое описание процедуры обработки фотоснимков с камер. Облучение камеры производилось вторичным пучком  $\pi^-$ -мезонов с импульсом  $(40 \pm 0,24)$  ГэВ/с на синхрофазотроне ИФВЭ (г. Серпухов). Экспериментальный материал, представленный в диссертации, получен при обработке более 300 тысяч стереофотоснимков. По стандартным критериям, принятым для пропановых пузырьковых камер, события идентифицировались как  $\pi^-p$ -,  $\pi^-n$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействия. Частицы с отрицательным зарядом считались  $\pi^-$ -мезонами. Протоны идентифицировались по пробегу и ионизации в интервале импульсов  $0,14 \leq P_p \leq 0,70$  ГэВ/с. Медленные  $\pi^+$ -мезоны идентифицировались по распадам. Положительно заряженные частицы с импульсом более 0,70 ГэВ/с были отнесены к  $\pi^+$ -мезонам. Примесь протонов среди них была оценена по линейной плотности  $\delta$ -электронов и оказалась равной  $(12 \pm 5)\%$ .  $\pi^{12}C$ -взаимодействия реконструировались из  $\pi^-p$ -,  $\pi^-n$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействий.\* Полное число пион-углеродных взаимодействий (включая соударения с квазисвободными нуклонами) определялось по формуле:

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

где  $\alpha = 0,44 \pm 0,03$  - примесь взаимодействий на квазисвободных про-

\* Так как эти взаимодействия отбирались на различном числе кадров, то перед слагаемыми в (1) вводились соответствующие весовые множители.

тонах ядра углерода среди событий, отнесенных к  $\pi^-p$ -взаимодействиям.

Во второй главе исследованы свойства высокоэнергичных пионов. Согласно аддитивной кварковой модели (АКМ), при неупругом взаимодействии  $\pi^-$ -мезона с мишенью один из его составляющих кварков "диссоциирует" на кварк-партоны, другой составляющий кварк может с некоторой вероятностью "сохраниться", т.е. стать кварком-спектатором. Адронизация кварков-партонов порождает частицы в центральной области (области пионизации). Адронизация кварка-спектатора порождает частицы в области фрагментации пиона-снаряда. С вероятностью  $\approx 0,95$  этими частицами будут пионы "прямого рождения" и мезонные резонансы. Вероятностью рождения барионов и барионных резонансов в области фрагментации пиона-снаряда в нашем эксперименте можно пренебречь.

Нашей целью является выделение пионов "прямого рождения". Мы полагаем, что ими с равной вероятностью могут быть  $\pi^0$ - и  $\pi^-$ -мезоны.\*  $\pi^-$ -мезоны "прямого рождения" называем "сохранившимися",  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонами. Метод выделения  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонов основан на следующих предположениях. 1)  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезоны и мезоны от распада быстрых резонансов входят в состав лидирующих мезонов,  $\pi_{\Lambda}^+$ -мезонов,  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонами называем те, которые имеют наибольший импульс в л.с. среди всех  $\pi^{\pm}$ -мезонов в данном событии; 2) разностные распределения по импульсам  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов от распада быстрых нейтральных резонансов равны нулю; 3)  $\pi^-$ -мезоны от распада быстрых отрицательных резонансов имеют более широкое угловое распределение по сравнению с  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонами и сдвинуты в сторону меньших значений фейнмановской переменной  $x = 2P_{\parallel}^*/\sqrt{S} = P_{\parallel}^*/P_{\parallel}^*_{max}$ , где  $P_{\parallel}^*$  - продольный импульс частицы в системе центра масс пион-нуклон (в Ц-системе),  $\sqrt{S} = (E_{\pi}^* + E_N^*) = 8,72$  ГэВ,  $E_{\pi}^*$  и  $E_N^*$  - энергии пиона-снаряда и нуклона-мишени в Ц-системе.

Распределения  $\pi^{\pm}$ -мезонов по импульсам в л.с. ( $dn/dP_{\pi_{\Lambda}}^*$ ) в  $\pi^-p$ -,  $\pi^-n$ -,  $\pi^-C$ - и  $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях имеют максимум в районе  $u_{\pi_{\Lambda}} = P_{\pi_{\Lambda}}^*/P_0 \sim 0,34$  ( $P_0 = 40$  ГэВ/с). При  $u_{\pi_{\Lambda}} > 0,34$   $dn/dP_{\pi_{\Lambda}}^* \sim \exp(-u/u_0)$ , причем  $u_0(\pi_{\Lambda}^+) \sim 0,31$ ,  $u_0(\pi_{\Lambda}^-) \sim 0,19$ . В таблице 1 приведены средние значения полных импульсов, поперечных импульсов и углов испускания в л.с.  $\pi_{\Lambda}^+$ - и  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонов. Величины  $R$  указывают отношения количеств событий с  $\pi_{\Lambda}^+$ - и  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонами. Для сравнения с экспериментальными значениями приведены, вычисленные\*\* по АКМ значения  $R_{\pi} = (N_{\pi \rightarrow k^+}) / (N_{\pi \rightarrow k^-})$ . Из табл. 1 видно:

\*Невысокая эффективность регистрации ( $\sim 25\%$ )  $\pi^0$ -мезонов вынудила ограничиться изучением взаимодействий только по характеристикам заряженных частиц.

\*\*Шабельский Ю.М. - Ядерная физика, 1981, т.33, с.1379.

1) по сравнению со всеми  $\pi^{\pm}$ -мезонами в событии у  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонов средний угол испускания  $\langle \theta \rangle$  меньше в  $\sim 4$  раза, а средний поперечный импульс  $\langle P_{\perp} \rangle$  больше на  $\sim 0,1$  ГэВ/с; 2) средние множественности и импульсы  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонов больше, чем у  $\pi_{\Lambda}^+$ -мезонов; 3)  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезоны более коллимированы вперед, чем  $\pi_{\Lambda}^+$ -мезоны. Эти данные указывают на присутствие среди  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонов продуктов распада быстрых резонансов и  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонов. Исследование разностных спектров

$$[d\sigma(\pi_{\Lambda}^-)/dP_{\parallel}^* - d\sigma(\pi_{\Lambda}^+)/dP_{\parallel}^*] / \sigma_{in} \quad (2)$$

( $\sigma_{in}$  - сечение неупругого взаимодействия) для указанных четырех типов взаимодействий показало: 1) спектры (2) имеют положительное значение при  $P_{\parallel}^* > 0$ ; 2) с уменьшением угла испускания ( $\theta^*$ ) пионов в Ц-системе спектры (1) резко падают в области  $x \lesssim 0,34$ , а в области  $x \gtrsim 0,34$  эти спектры остаются почти неизменными и близки к равномерным.

Изучение спектров\* (3) + (8) в  $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях

$$[d\sigma(\pi_{\bar{n}})/d|\cos\theta^*| - d\sigma(\pi_{\bar{z}})/d|\cos\theta^*|] / \sigma_{in} = F_{\pi^-}(|\cos\theta^*|) \quad (3)$$

$$[d\sigma(\pi_{\bar{z}})/d|\cos\theta^*| - d\sigma(\pi_{\bar{n}})/d|\cos\theta^*|] / \sigma_{in} = F_{\pi^+}(|\cos\theta^*|) \quad (4)$$

$$[d\sigma(\pi_{\bar{n}})/d|P_{\parallel}^*| - d\sigma(\pi_{\bar{z}})/d|P_{\parallel}^*|] / \sigma_{in} = F_{\pi^-}(|P_{\parallel}^*|) \quad (5)$$

$$[d\sigma(\pi_{\bar{z}})/d|P_{\parallel}^*| - d\sigma(\pi_{\bar{n}})/d|P_{\parallel}^*|] / \sigma_{in} = F_{\pi^+}(|P_{\parallel}^*|) \quad (6)$$

$$F_{\pi^-}(|\cos\theta^*|) - F_{\pi^+}(|\cos\theta^*|) = \varphi(|\cos\theta^*|) \quad (7)$$

$$F_{\pi^-}(|P_{\parallel}^*|) - F_{\pi^+}(|P_{\parallel}^*|) = \psi(|P_{\parallel}^*|) \quad (8)$$

показало, что спектры (3) + (6) имеют положительное значение при всех значениях соответствующих аргументов, а спектры

$$\varphi = \begin{cases} 0, & \text{при } |\cos\theta^*| \leq 0,9 \\ >0, & \text{при } |\cos\theta^*| > 0,9 \end{cases}; \quad \psi = \begin{cases} 0, & \text{при } |x| < 0,34 \\ >0, & \text{при } |x| \geq 0,34 \end{cases} \quad (9)$$

На основании этих исследований сделаны следующие выводы.

1. Спектры (2) в области  $x \gtrsim 0,34$  являются спектрами  $\pi_{\Lambda}^-$ -мезонов и в таблице 2 приведены средние значения их множественностей  $\langle n \rangle$ , импульсов  $\langle P^* \rangle$ , величин  $\langle u \rangle_{\pi_{\Lambda}^-} = \langle n \rangle \langle P^* \rangle / \sqrt{S}$

\*\*Индексы  $\bar{n}$  и  $\bar{z}$  соответствуют пионам, испускаемым в переднюю и заднюю полусферы Ц-системы.



Таблица 1

Тип события	Тип $\pi\Delta$	$\langle P \rangle$ ГэВ/с	$\langle P_{\parallel} \rangle$ ГэВ/с	$\langle \theta \rangle$ град	Кол-во событий	R	R <sub>ш</sub>
$\pi\text{-}p$	$\pi\Delta^+$	11,6±0,2	0,47±0,01	5,1±0,1	1473	0,45±0,01	0,40
	$\pi\Delta^-$	16,9±0,2	0,49±0,01	3,9±0,1	3308		
$\pi\text{-}n$	$\pi\Delta^+$	12,5±0,3	0,47±0,01	5,4±0,1	506	0,35±0,02	
	$\pi\Delta^-$	15,0±0,3	0,45±0,01	7,6±0,1	1445		
$\pi\text{-}C$	$\pi\Delta^+$	9,8±0,3	0,52±0,02	6,7±0,1	487	0,58±0,03	
	$\pi\Delta^-$	14,2±0,4	0,50±0,01	4,5±0,1	833		
$\pi\text{-}^{12}C$	$\pi\Delta^+$	11,1±0,2	0,51±0,01	8,6±0,1	1089	0,48±0,02	0,47
	$\pi\Delta^-$	15,3±0,2	0,49±0,01	6,1±0,1	2265		

Таблица 2

Тип события	$\langle n \rangle$	$n_{ш}$	$\langle P_{\parallel}^* \rangle$ ГэВ/с	$\langle u \rangle_{\pi\Delta C}$	$\langle k \rangle$
$\pi\text{-}p$ $\pi\text{-}n$ $\pi\text{-}C$ $\pi\text{-}^{12}C$	0,24 ± 0,02	0,26	3,08 ± 0,03	0,17 ± 0,01	0,66 ± 0,01
	0,23 ± 0,03		2,80 ± 0,04	0,15 ± 0,02	0,70 ± 0,03
	0,14 ± 0,04		3,06 ± 0,07	0,10 ± 0,01	0,80 ± 0,01
	0,20 ± 0,01	0,22	2,96 ± 0,03	0,14 ± 0,01	0,72 ± 0,01

средних полных коэффициентов неупругости  $\langle k \rangle = 1 - 2\langle u \rangle_{\pi\Delta C}$  (где  $\langle u \rangle_{\pi\Delta C}$  - средняя доля от начальной энергии  $E_0$ , уносимая  $\pi\Delta C$ -мезонами) для указанных типов взаимодействий. Значения  $n_{ш} = (N_{\pi\Delta^- \rightarrow h^-}) - (N_{\pi\Delta^+ \rightarrow h^+})$ , вычисленные по АКМ, приведены для сравнения с  $\langle n \rangle$ .

2.  $\pi\Delta^-$ -мезоны, определяющие вид спектра (3) в области  $x \lesssim 0,34$ , являются продуктами распада быстрых отрицательных мезонных резонансов и адронизации кварк-партонов, возникших при "диссоциации" составляющих кварков  $\pi\Delta^-$ -мезона-снаряда. Столкновения составляющих кварков снаряда и мишени приводят к их "диссоциации". Получено указание на то, что в  $\pi\Delta^{12}C$ -взаимодействиях в области  $|x| \lesssim 0,34$  "диссоциация"  $\pi\Delta^-$ -мезона-снаряда и ядра-мишени имеет одинаковый характер. В передней полусфере Ц-системы наблюдается избыток  $\pi\Delta^-$ -мезонов, а в задней полусфере - такой же избыток  $\pi\Delta^+$ -мезонов; избыток последних наблюдается и при  $|x| > 0,34$ , экспоненциально убывая с ростом  $|x|$ .

В третьей главе исследовано поведение инвариантного инклюзивного сечения  $\rho_{\pi\Delta N} = Ed^3\sigma/dP^3$  рождения в  $\pi\Delta C$ -взаимодействиях\*  $\pi\Delta N$ -мезонов, испущенных в заднюю полусферу л.с. в зависимости от их кумулятивного числа  $\beta^0 = (E - P_{\parallel})/m_N$  ( $E$  и  $P_{\parallel}$  - энергия и продольный импульс в л.с.  $\pi\Delta N$ -мезона,  $m_N$  - масса нуклона), угла испускания ( $\theta$ ) и от множественности ( $N_{\pi\Delta N}$ )  $\pi\Delta N$ -мезонов в задней полусфере л.с. Результаты аппроксимации экспериментальных распределений  $2\rho_{\pi\Delta N}(\beta^0)/\sigma_{in}(\pi\Delta C)$  выражением  $A \cdot \exp(-\beta^0/\langle \beta^0 \rangle)$  приведены в таблице 3.

Таблица 3

Тип события	$A$ (ГэВ <sup>-2</sup> с <sup>3</sup> .ср <sup>-1</sup> )	$\langle \beta^0 \rangle$	$\chi^2/ст.своб.$
$N_{\pi\Delta N} \geq 1$	12,2±0,9	0,141±0,004	35,5/15
$N_{\pi\Delta N} = 1$	8,3±0,8	0,143±0,004	7,6/8
$N_{\pi\Delta N} \geq 2$	5,2±0,7	0,130±0,005	14,1/11
$-0,25 < \cos\theta \leq 0$	9,1±1,7	0,128±0,007	14,1/11
$-1 \leq \cos\theta \leq -0,25$	14,9±1,5	0,139±0,004	29,6/14

Было установлено\*\*<sup>жж</sup>, что область значений  $\beta^0$ , характерная для кумулятивных взаимодействий, начинается в районе  $\beta^0 \approx 0,6$  вместо  $\beta^0 \gg 1$ , как это считалось ранее. В связи с этим, а также для выяснения

\*Сечение неупругого  $\pi\Delta C$ -взаимодействия равно  $\sigma_{in}(\pi\Delta C) = (87,5 \pm 1)$  мб.  
\*\*Аношин А.И. и др. - Ядерная физика, 1982, т.36, с.409.

вопроса о факторизуемости зависимости  $\rho$  от  $\beta^\circ$  и квадрата поперечного импульса ( $P_\perp^2$ ), исследовано поведение  $\rho_{\pi\pi}(P_\perp^2)$  в следующих интервалах по  $\beta^\circ$ : а)  $0 \leq \beta^\circ < 0,5$ ; б)  $0,5 \leq \beta^\circ < 1$ ; в)  $1 \leq \beta^\circ < 2$ . Оказалось, что поведение  $\rho_{\pi\pi}(P_\perp^2)$  в интервале а) отличается от ее поведения в интервалах б) и в). Результаты аппроксимации  $\rho_{\pi\pi}(P_\perp^2)$  выражением  $B \cdot \exp(-P_\perp^2/\langle P_\perp^2 \rangle)$  приведены в таблице 4.

Таблица 4

Интервал по $\beta^\circ$	$B$ (мб·ГэВ <sup>-2</sup> ·с <sup>3</sup> ·ср <sup>-1</sup> )	$\langle P_\perp^2 \rangle$ (ГэВ <sup>2</sup> ·с <sup>-2</sup> )	$\chi^2/\text{ст. своб.}$
$0 \div 0,5$	$52,2 \pm 3,0$	$0,034 \pm 0,002$	15,4/15
$0,5 \div 2,0$	$4,7 \pm 0,4$	$0,18 \pm 0,02$	6,7/10

Экспоненциальный характер зависимости  $\rho_{\pi\pi}(\beta^\circ)$  со значением  $\langle \beta^\circ \rangle \approx 0,14$ , близким к значениям, полученным на разных ядрах при облучении их дейтонами, адронами и мюонами, подтверждает универсальный характер кварк-партоновых структурных функций ядер. Практическая независимость  $\langle \beta^\circ \rangle$  от  $N_{\pi\pi}$  (при ранее установленной коррелированности испускания  $\pi^-$  и  $\pi^+$ -мезонов), подтверждает гипотезу о мягкости струйной адронизации кварков. Смена режима зависимости  $\rho_{\pi\pi}(P_\perp^2)$  при  $\beta^\circ \approx 0,5$  служит еще одним признаком, выделяющим область кумулятивных взаимодействий, и свидетельствует об отсутствии полной факторизации зависимости сечений от  $\beta^\circ$  и  $P_\perp^2$ .

В четвертой главе на основе простых качественных предположений разработаны критерии / (K1)+(K6) / отбора  $\pi^-p$ -взаимодействий с целью поиска ударной волны (УВ). Эффективность критериев может быть подтверждена достаточно четким выявлением нетривиальной особенности в угловом распределении протонов (конус Маха). При этом в критериях не содержится информация о форме указанной особенности. Вот эти критерии:

$\Sigma Q = N_p + N_{pS} \geq 4$  (K1);  $N_p \geq 3$  (K2);  $n_{\pi^+(\pi^-)} > \bar{n}_{\pi^+(\pi^-)}$  (K3);  $N_{pF} > N_{pB}$  (K4);  $1 \leq N_{pS} \leq 3$  (K5);  $0,93 < P_p < 0,67$  ГэВ/с (K6), где  $\Sigma Q$  - суммарный заряд всех зарегистрированных частиц,  $N_p$  - число идентифицированных протонов,  $n_{\pi^+(\pi^-)}$  - число  $\pi^+$  ( $\pi^-$ )-мезонов,  $N_{pF}$  и  $N_{pB}$  - число протонов, испущенных в переднюю (F) и заднюю (B) полусферы л.с.,  $N_{pS} = (n_{\pi^+} - n_{\pi^-} + 1)$  - величина, пропорциональная числу быстрых протонов (вне возможной в наших условиях области идентификации),  $\bar{n}_{\pi^+(\pi^-)}$  - средняя по всем  $\pi^-p$ -взаимодействиям множественность  $\pi^+$  ( $\pi^-$ )-мезонов (принято  $\bar{n}_{\pi^+(\pi^-)} = 3$ ),  $P_p$  - импульс протона в л.с. Предположения и соответствующие

им критерии: УВ полностью разваливает ядро - (K1), (K2); сильное возбуждение ядерной материи снимается за счет повышенного мезообразования - (K3); УВ движется по направлению частицы-снаряда - (K4); УВ возникает при взаимодействии снаряда с флуктоном при малом параметре удара, что приводит к большой передаче импульса некоторым нуклонам флуктона - (K5); условием существования фронта УВ является ограниченность разброса импульсов частиц в нем - (K6). На рисунке 1 показано угловое распределение протонов в событиях, удовлетворяющих критериям (K1) + (K6), события (6K). Видно, что в районе  $\theta_{\max} \sim 60^\circ$  для событий (6K) имеется четко выделенный пик, которого нет во всех остальных  $\pi^-p$ -взаимодействиях. Средний импульс протонов под пиком составляет  $\langle P_p \rangle_{\max} = 0,327 \pm 0,008$  ГэВ/с, в то время как для всех протонов в событиях типа (6K)  $\langle P_p \rangle = 0,366 \pm 0,004$  ГэВ/с. Такие же результаты получены позже в аналогичном исследовании при  $P_{\pi^-} = 5$  ГэВ/с. (Абдинов О.Б. и др. Сообщение ОИЯИ 1-80-859.)

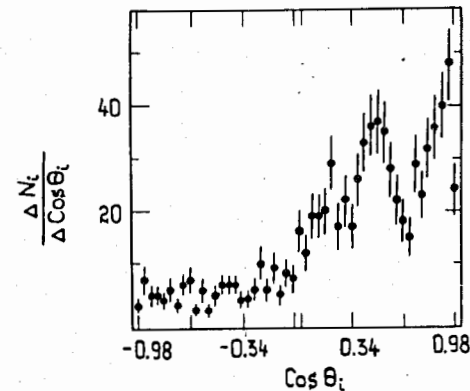


Рис. 1  
Угловое распределение протонов, испущенных в  $\pi^-p$ -взаимодействиях, отобранных по критериям (K1) + (K6). События типа (6K) составляют  $\sim 2\%$  от всех  $\pi^-p$ -взаимодействий.

Сравнение распределений по модулю разности азимутальных углов, косинусу угла между импульсами, эффективной массе пар протонов, а также зависимостей от  $P_p^2$  инвариантного инклюзивного сечения рождения протонов в событиях (6K) и в остальных  $\pi^-p$ -взаимодействиях не выявило каких-либо различий между ними.

В пятой главе получены спектры эффективных масс  $m$  ( $\pi^+p$ ) пар в  $\pi^-p$ - и  $\pi^-p$ -взаимодействиях при  $P_{\pi^-} = 40$  ГэВ/с. Сравнение спектров, нормированных на входящее в них число пар, указывает на большой избыток пар в области  $m < 2$  ГэВ/с в  $\pi^-p$ -взаимодействиях по сравнению с  $\pi^-p$ -взаимодействиями. Спектр ( $\pi^+p$ ) пар в  $\pi^-p$ -взаимодействиях имеет "плечо" в районе  $m \sim 1,6$  ГэВ/с<sup>2</sup>, чего не наблюдается в случае  $\pi^-p$ -взаимодействий. Для оценки числа пар, обязанных своим происхождением распадам изобар, возникших в неупругих

$\pi$ - $C$ -взаимодействиях с различным числом идентифицированных протонов ( $N_p$ ), спектры аппроксимировались выражением  $dN/dm = \exp(-dm + \beta m^2) \times [Aq + B \cdot f_{BW}(1232) + C \cdot f_{BW}(1650)]$ , где коэффициенты  $A, B, C$  соответственно определяют искомые вклады в спектр фона, изобар  $\Delta^{++}(1232)$  и  $\Delta^{++}(1650)$ ,  $q$  - импульс частицы ( $\pi$  и  $p$ ), испускаемой при двухчастичном распаде частицы с массой  $m$  в системе покоя последней,  $f_{BW}$  - распределения Брейта-Вигнера. Результаты аппроксимации приведены в таблице 5, где  $n(\Delta)$  - число ( $\pi^+p$ ) пар, обусловленных распадом соответствующих изобар,  $n(\Delta)/N_{пар}$  - отношение числа пар от изобар к числу пар, вошедших в аппроксимируемый спектр эффективных масс.

Таблица 5

$N_p$	Изобара	$\Delta^{++}(1232)$	$\Delta^{++}(1650)$
1	$n(\Delta)$ $\chi^2/cm. свобод.$	$304 \pm 64$	$228 \pm 82$
$\geq 4$	$n(\Delta)$ $\chi^2/cm. свобод.$	$305 \pm 62$	$127 \pm 52$
		169/72	158/72
1	$n(\Delta)/N_{пар}$	$0,027 \pm 0,006$	$0,020 \pm 0,006$
$\geq 4$	$n(\Delta)/N_{пар}$	$0,07 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$

Данные табл. 5 указывают на повышенную вероятность рождения изобар в событиях с полным развалом ядра ( $N_p \geq 4$ ).

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В период с 1976 по 1981 гг. с участием автора на стереофотошумках с двухметровой пропановой пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ, помещенной в поле анализирующего магнита и облученной  $\pi^-$ -мезонами с импульсом 40 ГэВ/с, найдено и обработано  $\sim 18000$  неупругих  $\pi^-^{12}C$ -взаимодействий. На основе этого экспериментального материала исследованы характеристики заряженных адронов в областях фрагментации  $\pi^-$ -мезона-снаряда и ядра-мишени в пион-углеродных взаимодействиях.

2. Статистически выделены "сохранившиеся"  $\pi^-$ -мезоны, которые образуются, по-видимому, в результате мягкой адронизации кварк-спектатора из  $\pi^-$ -мезона-снаряда. Их распределение по фейнмановской переменной  $X$  близко к равномерному и заключено в области  $X \approx \geq 0,34$ . При переходе от  $\pi^-p$ - к  $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиям средняя множественность "сохранившихся"  $\pi^-$ -мезонов уменьшается от  $(0,24 \pm 0,02)$  до  $(0,20 \pm 0,01)$ , а средний полный коэффициент неупругости увеличивается от  $(0,66 \pm 0,01)$  до  $(0,72 \pm 0,01)$ .

3. Получено указание на то, что в  $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях в области  $|x| \leq 0,34$  "диссоциация"  $\pi^-$ -мезона-снаряда и ядра-мишени имеет одинаковый характер, причем в передней полусфере наблюдается избыток  $\pi^-$ -мезонов, а в задней -  $\pi^+$ -мезонов; избыток последних наблюдается и при  $|x| > 0,34$  и экспоненциально убывает с ростом  $|x|$ .

4. Исследовано поведение инвариантного инклюзивного сечения образования в  $\pi^-C$ -взаимодействиях  $\pi^-$ -мезонов, испущенных в заднюю полусферу л.с. в зависимости от различных кинематических переменных. Экспериментальные данные подтверждают универсальный характер кварк-партоновых структурных функций ядер и мягкость струйной адронизации кварков. Показано отсутствие полной факторизации зависимости сечений от квадрата поперечного импульса и порядка кумулятивности  $\pi^-$ -мезонов во всей области значений порядка кумулятивности.

5. В событиях с полным развалом ядра углерода в угловом распределении протонов обнаружена структура с пиком в районе  $60^\circ$ .

6. Получено указание на большую вероятность рождения изобар в  $\pi^-C$ -взаимодействиях по сравнению с  $\pi^-p$ -взаимодействиями.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Аношин А.И., Любимов В.Б., Сарычева Л.И., Соловьев М.И., Сулейманов М., Тувдендорж Д. Свойства лидирующих мезонов, образованных во взаимодействиях  $\pi^-$ -мезонов с ядрами углерода и нуклонами при  $P_{\pi^-} = 40$  ГэВ/с. - Ядерная физика, 1978, т.27, вып.4, с.1001-1007.
2. Аношин А.И., Балдин А.М., Любимов В.Б., Соловьев М.И., Сулейманов М.К. Инвариантные инклюзивные сечения образования кумулятивных  $\pi^-$ -мезонов в  $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях при  $P_{\pi^-} = 40$  ГэВ/с в зависимости от их кумулятивного числа и поперечного импульса. Сечения образования кумулятивных струй. - Ядерная физика, 1982, т.36, вып.3, с.685-689.
3. Аношин А.И., Любимов В.Б., Сулейманов М.К., Тувдендорж Д. Структура угловых распределений протонов, испущенных из событий с полным развалом ядра углерода  $\pi^-$ -мезонами с  $P_{\pi^-} = 40$  ГэВ/с. - Ядерная физика, 1981, т.33, вып.1, с.164-168.

4. Аношин А.И., Любимов В.Б., Сулейманов М.К., Тувдендорж Д. Исследование спектров эффективных масс  $\pi p$ -пар в  $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при  $P_{\pi} = 40$  ГэВ/с. - Дубна, 1980. -7 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядер. исслед.: PI-80-313).
5. Аношин А.И., Любимов В.Б., Сулейманов М.К. Инклюзивные сечения рождения изобар в  $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при  $P_{\pi} = 40$  ГэВ/с. - Дубна, 1980. -7 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: PI-80-697).

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 июня 1983 года.