

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

C - 896

1-80-191

СУЛЕЙМАНОВ
Маис Кязим оглы

СВОЙСТВА $\pi^{-12}\text{C}$ - ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ,
СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ ИСПУСКАНИЕМ АДРОНОВ
В ЗАДНЮЮ ПОЛУСФЕРУ
В ЛАБОРАТОРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ
ПРИ $R_{\pi^{-}} = 40$ ГЭВ/С

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1980

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

ЛИБИМОВ
Валентин Борисович

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

ЧЕРНОВ
Гилель Мордухович,

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

МОРОЗ
Владимир Иванович

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского государственного университета.

Защита диссертации состоится "____" _____ 1980 года
в _____ 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.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ

Автореферат разослан "____" _____ 1980 года

Учёный секретарь специализированного
совета

М. Ф. Лихачев

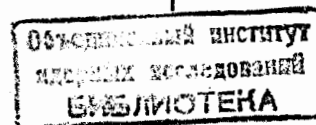
М. Ф. Лихачев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Изучение множественного рождения частиц в глубоконеупругих соударениях адронов высоких энергий с ядрами приобрело в последнее десятилетие особую актуальность как один из основных источников информации о свойствах адронной материи. Для этих исследований разработаны идеи и методы, позволяющие извлекать из них информацию фундаментального характера (например, масштабная инвариантность; корреляционный анализ, свойства одночастичных распределений и т.п.).

Масштабная инвариантность – один из важнейших законов, определяющих динамику взаимодействия. Эффект масштабной инвариантности ярко проявляется в процессах кумулятивного рождения частиц. Кумулятивный эффект можно рассматривать как многокварковые взаимодействия, включающие большие расстояния по сравнению с размерами нуклона. Поэтому изучение кумулятивного эффекта может внести ясность в вопрос о взаимодействии кварков на больших расстояниях, что очень важно для понимания проблемы "кваркового плена". В то же время кумулятивное рождение частиц является частным случаем процесса множественной генерации адронов. Исследование кумулятивного эффекта имеет важное значение и для понимания механизма множественного рождения частиц при соударении адронов высоких энергий с ядрами.

Основные закономерности процессов кумулятивного образования частиц были получены в результате изучения большого класса ядерных реакций с вылетом вторичных частиц в заднюю полусферу (ЗП) лабораторной системы координат (л.с.к). Это не случайно, так как кумулятивный эффект наиболее ярко проявляется в области предельной фрагментации ядер. Поэтому исследование адрон-ядер-



ных взаимодействий с испусканием частиц в ЭП является актуальной проблемой физики высоких энергий.

Цель работ - исследовать свойства $\Pi^{-12}C$ -взаимодействий с испусканием адронов в ЭП, в том числе и кумулятивных адронов, и провести аналогию со свойствами всех неупругих $\Pi^{-12}C$ -и Π^-p -взаимодействий, а также выявить и исследовать при этом такую специфическую особенность адрон-ядерных взаимодействий, как явление полного развала ядра мишени.

Новизна работ. В работе впервые:

I. Получены:

1) свойства $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий,

- с адронами, испущенными в ЭП;

- с кумулятивными адронами,

- с полным развалом ядра углерода при $P_{\text{ж}} = 40$ ГэВ/с;

2) инклюзивные спектры заряженных частиц, образованных во всех $\Pi^{-12}C$ - взаимодействиях при $P_{\text{ж}} = 40$ ГэВ/с;

3) парциальные коэффициенты неупругости Π^+ , Π^- , Π^0 -мезонов.

II. Исследованы:

1) свойства $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий с Π^{\pm} - мезонами и протонами, испущенными в заднюю полусферу, а также свойства таких частиц;

2) свойства кумулятивных $\Pi^{-12}C$ - соударений, а также свойства кумулятивных Π^{\pm} - мезонов и протонов;

3) свойства $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий с полным развалом ядра углерода в условиях, когда измерены энергии всех вторичных заряженных частиц, причем с использованием дополнительного, не применявшегося ранее критерия отбора событий, позволившим значительно расширить класс исследуемых событий.

III. Сравнены:

1) свойства $\Pi^{-12}C$ -взаимодействий с полным развалом ядра углерода с аналогичными для всех $\Pi^{-12}C$ - соударений;

2) свойства $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий с Π^{\pm} - мезонами, испущенными в ЭП, с аналогичными для Π^-p - соударений с Π^{\pm} - мезонами в ЭП, а также со свойствами всех Π^-p -и $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий;

3) свойства $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий с протоном, испущенным в ЭП, с аналогичными для всех $\Pi^{-12}C$ - соударений;

4) свойства кумулятивных $\Pi^{-12}C$ - соударений с аналогичными для всех $\Pi^{-12}C$ -событий, в том числе и для $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий с вылетом адронов в ЭП;

5) свойства Π^{\pm} - мезонов, испущенных в ЭП в $\Pi^{-12}C$ - соударениях, с аналогичными для Π^{\pm} - мезонов, испущенных в ЭП в Π^-p - соударениях.

Научная ценность. Получен и проанализирован большой экспериментальный материал по $\Pi^{-12}C$ - взаимодействиям при $P_{\text{ж}} = 40$ ГэВ/с с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ (ДТПК-500)^{1/1}, облученной пучком Π^- мезонов Серпуховского ускорителя.

Данные о свойствах $\Pi^{-12}C$ - соударений имеют важное значение для получения информации о пространственно-временном развитии процессов множественного рождения частиц, о взаимодействиях резонансов с нуклонами, о фрагментации ядер и т.д.

Такая информация необходима для построения теории взаимодействия частиц высоких энергий с веществом.

Изучение $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий, сопровождающихся испусканием адронов в ЭП, это прежде всего анализ явлений, связанных с фрагментацией ядра мишени, и поэтому из них можно получить существенную информацию о свойствах ядерной материи. Эти данные необходимы для понимания механизма кумулятивного рождения адронов во взаимодействиях частиц высоких энергий с ядрами.

Практическая ценность. Полученные в настоящей диссертации результаты могут быть использованы при планировании новых экспериментов по исследованию взаимодействий частиц и ядер высоких энергий с атомными ядрами.

Публикации. В основу диссертации легли результаты шести работ, опубликованных в виде препринтов ОИЯИ и статей в журнале "Ядерная физика"^{1/1-6/}.

Апробации. Основные результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на семинарах Научно-экспериментального камерного отдела ЛВЭ ОИЯИ, на семинарах ЛВЭ ОИЯИ, на международных совещаниях стран-участниц ОИЯИ по обработке снимков с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, на Международной конференции по физике высоких энергий в Тбилиси (1976 г.).

Объем работ. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения и содержит 77 страниц машинописного текста, 34 страницы рисунков и библиографию, включающую 92 наименования.

Автор защищает:

1. Прделанную работу в получении и обработке ≈ 10000 $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий при $R_{\pi^{-}} = 40$ ГэВ/с с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ.
2. Результаты, полученные при исследовании общих свойств $\Pi^{-12}C$ - соударений.
3. Метод выделения и результаты исследования $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий с полным развалом ядра углерода.
4. Полученные экспериментальные результаты при исследовании свойств $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий, сопровождаемых адронами, испущенными в ЗП, а также свойств таких адронов.
5. Результаты изучения особенностей $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий с испусканием кумулятивных адронов и свойств таких адронов.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении подчёркивается актуальность изучения процессов множественного рождения частиц в глубоконеупругих взаимодействиях адронов высоких энергий с атомными ядрами. Сформулирована основная цель работ: исследовать $\Pi^{-12}C$ - взаимодействия с испусканием адронов в ЗП, в том числе и кумулятивных адронов, сравнить полученные результаты со свойствами всех неупругих $\Pi^{-12}C$ и $\Pi^{-}p$ - взаимодействий, а также выявить и исследовать при этом такую специфическую особенность адрон-ядерных взаимодействий, как явление полного развала ядра мишени.

В I главе описана методика обработки экспериментальной информации.

Настоящая работа выполнена на основе данных, полученных при обработке снимков с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ - ДППК-500. Камера имеет рабочую область размером 210 x 65 x 40 см.³ В 1972 году она экспонировалась в пучке отрицательных Π^{-} мезонов с импульсом $P = (40,00 \pm 0,24)$ ГэВ/с на Серпуховском ускорителе (У-70).

Отбор событий осуществлялся на просмотрных столах БПС-I. По критериям, принятым для пропановой пузырьковой камеры, события идентифицировались как " $\Pi^{-}p$ ", " $\Pi^{-}n$ " и " $\Pi^{-}C$ ". Эффективность двойного просмотра по поиску звезд составила 99,7% и 99,0% по поиску γ - квантов.

Измерения проводились на полуавтоматах типа "ПУОС", работающих на линии с ЭВМ БЭСМ-4.

Математическая обработка проводилась с помощью программы ГЕОФИТ^{1/1}, созданной для быстродействующих ЭВМ типа СДС-1604А и БЭСМ-6. Результаты обработки показали:

а) среднеквадратичные ошибки измерения пространственных координат X, Y, Z для точек взаимодействий первичных Π^{-} мезонов соответственно равны: 0,0078 см, 0,028 см, 0,043 см; для вершин e^{\pm} - пар (от конверсии γ - квантов) 0,0095 см, 0,026 см, 0,050 см;

б) точность определения параметров вторичных частиц зависит как от длины следа, так и от его импульса. Для всех вторичных частиц (удовлетворяющих критериям $X_{xy}^2, X_z^2 < 3,5$):

$$\begin{aligned} \langle \frac{\Delta P}{P} \rangle &= (13,9 \pm 0,3)\% \\ \langle \Delta \epsilon_{\mu} \rangle &= 0,0061 \pm 0,0001 \\ \langle \Delta \beta \rangle &= (0,0037 \pm 0,0001) \text{ рад} \end{aligned}$$

для γ - квантов ($X^2 < 11$):

$$\begin{aligned} \langle \frac{\Delta P}{P} \rangle &= (12,4 \pm 0,1)\% \\ \langle \Delta \epsilon_{\mu} \rangle &= 0,00317 \pm 0,00003 \\ \langle \Delta \beta \rangle &= (0,0045 \pm 0,0001) \text{ рад}; \end{aligned}$$

в) в " $\Pi^{-}p$ " - событиях присутствует примесь $\alpha = 0,44 \pm 0,03$ от взаимодействия на квазисвободных нуклонах ядер углерода;

г) примесь быстрых протонов ($P > 700$ МэВ/с) среди Π^{\pm} мезонов составляет $(12 \pm 5)\%$.

Выбрана эффективная область для регистрации "звезд" и γ - квантов.

Для учёта возможных потерь γ - квантов и медленных протонов были введены соответствующие поправки.

Во II главе рассмотрены общие свойства $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий, в частности, с целью сравнения с результатами, приведенными в последующих главах. Получена средняя множественность Π^{-} ме-

зонов всех знаков $\langle n_x \rangle = 9,23 \pm 0,05$. Отношение этой множественности к множественности Π^- - мезонов в $\Pi^- N^-$ - взаимодействиях при той же энергии первичного Π^- - мезона

$$R_{\Sigma^- N^-} = \frac{\langle n_x \rangle_{\Sigma^- N^-}}{\langle n_x \rangle_{\Pi^- N^-}} = 1,19 \pm 0,01, \text{ что хорошо согласуется с известными данными для широкого диапазона энергий}^{18/}$$

Анализ импульсных и угловых распределений Π^\pm - мезонов в л.с.к. показал, что эти распределения мало отличаются от аналогичных для $\Pi^- p^-$ - соударений, причем импульсные спектры для Π^- - мезонов более жесткие, чем для Π^+ - мезонов, что можно объяснить эффектом "лидирования". В л.с.к. Π^\pm - мезоны резко коллимированы по направлению движения налетающего Π^- - мезона, причем степень коллимации для Π^- - мезонов больше, чем для Π^+ - мезонов. Последнее, скорее всего, связано с существованием "сохранившегося" лидирующего Π^- - мезона^{19/}.

Распределения Π^\pm - мезонов по поперечным импульсам (P_\perp) аппроксимировались выражением вида: $\frac{dN}{dP_\perp} = A_1 P_\perp^{A_2} e^{-A_3 P_\perp}$ и для параметров получены следующие значения: $A_1 = (2,12 \pm 0,11) \cdot 10^4 \text{ мбн} \cdot \text{ГэВ}^{-1} \cdot \text{с}$, $A_2 = 1,08 \pm 0,02$, $A_3 = (5,99 \pm 0,07) \text{ ГэВ}^{-1} \cdot \text{с}$ для Π^+ - мезонов, $A_1 = (1,73 \pm 0,09) \cdot 10^4 \text{ мбн} \cdot \text{ГэВ}^{-1} \cdot \text{с}$, $A_2 = 1,08 \pm 0,02$, $A_3 = (5,58 \pm 0,07) \text{ ГэВ}^{-1} \cdot \text{с}$ для Π^- - мезонов, причем средние значения поперечного импульса не зависят от множественности идентифицированных в событии протонов.

Инклюзивные сечения Π^\pm - мезонов, нормированные на полное неупругое сечение $\Pi^-^{12}\text{C}$ - взаимодействия, имеют максимум при $x = 0$ ($x = P_\perp^* / P_{max}^*$), приблизительно одинаковый по высоте для Π^+ и Π^- - мезонов. Величина отношения этих сечений (R) к аналогичным для Π^- - взаимодействий максимальна в области $x = -1$ (область фрагментации ядра), затем круто спадает, пересекая $R = 1$ в районе $x \approx 0,1$.

Значения парциальных коэффициентов неупругости для $\Pi^-^{12}\text{C}$ - взаимодействий совпадают с аналогичными для $\Pi^- p^-$ - соударений и не зависят в пределах экспериментальных ошибок от числа испущенных в событии протонов (N_p). Таким образом, получено дополнительное указание на слабую зависимость парциальных коэффициентов неупругости от атомного номера ядра мишени.

В III главе приведены результаты, полученные при исследовании процессов полного развала (ПР) ядра углерода Π^- - мезонами с

$\bar{P}_\perp = 40 \text{ ГэВ/с}$. Рассмотрены средние характеристики таких событий, инклюзивные спектры вторичных частиц, образующихся в этих взаимодействиях, парциальные коэффициенты неупругости.

Для ядра углерода явление ПР исследуется впервые, причем в условиях, когда известны импульсы всех вторичных заряженных частиц. Полученные результаты сравниваются с аналогичными для всех остальных $\Pi^-^{12}\text{C}$ - взаимодействий при тех же энергиях первичного Π^- - мезона.

Для отбора событий с ПР ядра углерода использовались два критерия. По первому критерию к событиям с ПР были отнесены $\Pi^-^{12}\text{C}$ - взаимодействия, в которых число идентифицированных протонов $N_p \geq 4$ (критерия I). Этот критерий аналогичен применяемому в фотоэмульсионных работах^{10,11/}. В условиях, когда известны импульсы всех вторичных частиц, оказалось возможным использовать второй критерий по суммарному заряду частиц:

$Q = (N_p + N_{\pi^+} - N_{\pi^-}) \geq 4$, где N_{π^+} и N_{π^-} - число Π^+ и Π^- - мезонов, соответственно. В отличие от критерия I этот критерий учитывает число испущенных быстрых протонов. Всего по двум критериям было отобрано 435 событий среди полного числа 6177 $\Pi^-^{12}\text{C}$ - взаимодействий.

Использование только критерия I дает для значения вероятности ПР ядра углерода $W = (2,7 \pm 0,2)\%$, которое в пределах ошибок совпадает с результатами, полученными для ядер Ag и Bc в диапазоне энергий налетающих Π^- - мезонов 20 + 60 ГэВ^{10/}.

При отборе событий с ПР ядра углерода по двум критериям получено: $W = (7,0 \pm 0,3)\%$.

Анализ свойств вторичных заряженных частиц, испущенных из этих событий, показал:

а) средний импульс (\bar{P}) Π^\pm - мезонов в событиях с ПР меньше, множественность (\bar{n}) и средний угол испускания ($\bar{\theta}$) этих частиц в л.с.к. больше, чем в "обычных" $\Pi^-^{12}\text{C}$ - соударениях;

б) в событиях с полным развалом ядра углерода испускание Π^\pm - мезонов в заднюю полусферу происходит в $\approx 1,5$ раза чаще, чем в "обычных" $\Pi^-^{12}\text{C}$ - взаимодействиях;

в) свойства идентифицированных протонов в событиях с ПР и "обычных" $\Pi^-^{12}\text{C}$ - взаимодействиях в пределах ошибок не отличаются;

д) эффект "лидирования" в событиях с ПР ядра мишени слабее, чем во всех остальных $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях.

В IV главе представлены результаты, полученные при исследовании свойств $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий с адронами, испущенными в ЗП в л.с.к., а также свойства таких адронов.

Сюда включены:

- 1) вероятность обнаружения $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий с адронами, испущенными в ЗП;
- 2) средние характеристики $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий с адронами, испущенными в ЗП;
- 3) инклюзивные спектры адронов, испущенных в ЗП.

При анализе около 10000 $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий при $P_{\text{пр}} = 40$ ГэВ/с было найдено ≈ 1800 событий с одним и более протонами, испущенными в ЗП, которые в $\approx 50\%$ случаев имеют импульс $p > 300$ МэВ/с. Для вероятностей излучений разного числа протонов ($N_p = 1, 2, 3$) в ЗП (а также разного числа протонов с $P > 300$ МэВ/с в ЗП) в пределах ошибок выполняется эмпирическое выражение:

$$W_{N_p} \approx W_1 N_p \quad (I)$$

где W_1 - вероятность испускания одного, $W_{N_p} - N_p$ протонов в ЗП. Это выражение указывает на независимость излучения разного числа протонов в ЗП.

Для вероятностей наблюдения $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий, в которых в ЗП испускается Π^+ -мезон, Π^- -мезон, одновременно Π^+ и Π^- -мезон, Π^+ (Π^-)-мезон вместе с протоном и Π^+ и Π^- -мезоны с протонами, получены соотношения, указывающие на то, что процессы, приводящие к испусканию Π^+ и Π^- -мезонов в ЗП в $\Pi^{-12}\text{C}$ и в Π^-p -взаимодействиях, по-видимому, взаимосвязаны. Процессы, приводящие к одновременному испусканию протонов (в том числе и протонов с $P_p > 300$ МэВ/с) и Π^\pm -мезонов в ЗП, являются независимыми друг от друга.

Сравнение значений средних множественностей (\bar{n}), средних импульсов (\bar{P}) и средних поперечных импульсов (\bar{P}_1)

для вторичных заряженных Π -мезонов, образованных в $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях, сопровождающихся испусканием, по крайней мере, одного протона в ЗП ($(\Pi^{-12}\text{C})_b$) с аналогичными для всех $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий ($(\Pi^{-12}\text{C})_{all}$), показало, что средние характеристики Π^\pm -мезонов в событиях $(\Pi^{-12}\text{C})_b$ такие же, как и в $(\Pi^{-12}\text{C})_{all}$. Отметим, что средние множественности Π^\pm -мезонов оказались одинаковыми и для событий, имеющих протоны, испущенные в ЗП с импульсом $P > P_k$, где $P_k = 300, 400, 500$ МэВ/с. Средние множественности протонов в событиях $(\Pi^{-12}\text{C})_b$ почти вдвое больше, чем в $(\Pi^{-12}\text{C})_{all}$.

В таблице I приведены отношения средних множественностей ($R(\bar{n})$), средних импульсов ($R(\bar{P})$) и средних поперечных импульсов ($R(\bar{P}_1)$) частиц в событиях с Π -мезонами в ЗП (события "ЗП") к этим же величинам во всех Πp и $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях (здесь индексами "all" обозначены все частицы, "b" - протоны, испущенные в ЗП, "s" - протоны с $P > 300$ МэВ/с). Как видно из данных, представленных в таблице I, средняя множественность Π^\pm -мезонов в событиях "ЗП" на 20% превышает среднюю множественность для всех $\Pi^{-12}\text{C}$ и Π^-p -взаимодействий, средние же импульсы этих частиц несколько меньше, чем во всех Π^-p - и $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях. Средние множественности протонов, испущенных в ЗП в пределах ошибок, такие же, как и во всех $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях. Такой же вывод был получен и для всех протонов, испущенных в событиях ЗП. Исключением являются средние множественности протонов с $P > 300$ МэВ/с. В $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях с Π^\pm -мезонами в ЗП их множественность на $\approx 20\%$ больше, чем во всех $\Pi^{-12}\text{C}$ -соударениях. Отметим, что в Π^-p -взаимодействиях с Π -мезонами в ЗП \bar{n}_p меньше на $\approx 30\%$, чем во всех Π^-p -взаимодействиях.

ТАБЛИЦА I

Отношение	Тип события	$\Pi^{-12}\text{C}$	Π^-p
$R(\bar{n}_{\pi^+})_{all}$		$1,23 \pm 0,02$	$1,22 \pm 0,02$
$R(\bar{n}_{\pi^-})_{all}$		$1,15 \pm 0,02$	$1,18 \pm 0,02$
$R(\bar{n}_p)_b$		$1,07 \pm 0,06$	-
$R(\bar{n}_p)_s$		$1,23 \pm 0,05$	$0,71 \pm 0,07$
$R(\bar{P}_{\pi^+})_{all}$		$0,83 \pm 0,02$	$0,89 \pm 0,04$
$R(\bar{P}_{\pi^-})_{all}$		$0,83 \pm 0,02$	$0,80 \pm 0,03$
$R(\bar{P}_{1\pi^+})_{all}$		$0,98 \pm 0,01$	$0,92 \pm 0,03$
$R(\bar{P}_{1\pi^-})_{all}$		$0,97 \pm 0,02$	$0,89 \pm 0,01$

ность для всех $\Pi^{-12}\text{C}$ и Π^-p -взаимодействий, средние же импульсы этих частиц несколько меньше, чем во всех Π^-p - и $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях. Средние множественности протонов, испущенных в ЗП в пределах ошибок, такие же, как и во всех $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях. Такой же вывод был получен и для всех протонов, испущенных в событиях ЗП. Исключением являются средние множественности протонов с $P > 300$ МэВ/с. В $\Pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях с Π^\pm -мезонами в ЗП их множественность на $\approx 20\%$ больше, чем во всех $\Pi^{-12}\text{C}$ -соударениях. Отметим, что в Π^-p -взаимодействиях с Π -мезонами в ЗП \bar{n}_p меньше на $\approx 30\%$, чем во всех Π^-p -взаимодействиях.

Наблюдается существенная разница в средних импульсах Π^{\pm} -мезонов, испущенных в ЗП из $\Pi^{-12}\text{C}$ - и Π^-p - взаимодействий:

$$P_{\Pi^{\pm}} (\Pi^{-12}\text{C}) / P_{\Pi^{\pm}} (\Pi^-p) = 1,29 \pm 0,06, \quad (2)$$

в то время как средние импульсы всех Π^{\pm} - мезонов в Π^-p - взаимодействиях систематически больше средних импульсов этих мезонов в $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействиях.

Этот факт вместо с отмеченным выше ростом множественности быстрых протонов ($P > 300$ МэВ/с) в событиях "ЗП" можно рассматривать как указание на существование в $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействиях кумулятивных событий, результаты исследования которых изложены в У главе диссертации.

Получены структурные функции для протонов $f(P^2) = \frac{1}{6} E \frac{d^2N}{dP^2}$, испущенных "назад" ($\theta_1 \gg 90^\circ$) из $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий "вперед" ($\theta_1 < 90^\circ$) из $\Pi^{-12}\text{C}$ - и Π^-p - взаимодействий.

Эти функции аппроксимировались выражениями вида:

$$f_1(P^2) = A_1 \exp(-B_1 P^2), \quad (3)$$

либо

$$f_2(P^2) = A_2 \exp(-B_2 P^2) + A_3 \exp(-B_3 P^2) \quad (4)$$

в зависимости от условий достижения наилучшей аппроксимации.

Отметим наиболее существенные факты:

Значение параметра B_1 для Π^-p - взаимодействий совпадает со значением параметра B_3 для протонов, испущенных "вперед" из $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий, в том числе и в разных интервалах "передних" углов. Таким образом среди протонов, испущенных из $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий "вперед", существует группа, которая не чувствует влияния ядра.

С увеличением угла испускания намечается рост величин параметров B_2 . Причем в $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействиях с $N_p = 1$ и $N_p \gg 2$ эти параметры оказываются одинаковыми по величине.

Параметр B_2 для протонов, испущенных из $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий "вперед" и "назад", в пределах ошибок одинаковы и не зависят от множественности протонов. По-видимому, это связано с большим вкладом испарительных протонов в "крутой" части спектров.

Последнее подтверждается характером угловых распределений протонов с $P < 0,2$ ГэВ/с и $P \gg 0,2$ ГэВ/с. Протоны первой группы более изотропны, чем второй.

В импульсных распределениях Π^{\pm} - мезонов, испущенных в ЗП из $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий, наблюдается значительная доля частиц за пределами кинематически разрешенной области для адрон-нуклонных соударений. Угловые распределения Π^{\pm} - мезонов, испущенных в ЗП, близки к изотропным.

В У главе получены:

вероятности обнаружения кумулятивных $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий (КВ) при $P_{\Pi^-} = 40$ ГэВ/с,
 средние характеристики кумулятивных Π^{\pm} - мезонов (Π^{\pm}_C),
 средние характеристики КВ,
 инклюзивные спектры Π^{\pm}_C , испущенных в заднюю полусферу (ЗП) (Π^{\pm}_{bc}).

Возможным способом выделения КВ является отбор событий, имеющих адроны с энергией, превышающей кинематически допустимые значения для адрон-адронных взаимодействий или в нашем случае пион-нуклонных взаимодействий.

Для выделения таких событий использовалась величина:

$$N_c = \frac{E(1 - \cos\theta)}{M_N}, \quad (5)$$

которую условно можно назвать порядком кумулятивности. В этом выражении E, θ - полная энергия и угол вылета Π - мезона в л.с.к., соответственно, M_N - масса нуклона. Отбирались события, имеющие хотя бы один Π^{\pm} - мезон с $N_c \geq 1$. Отметим, что в анализ были включены только такие события, в которых импульс Π - мезонов был измерен с ошибкой, не большей 30% *).

При анализе 10000 $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий было найдено 99 событий, имеющих 101 Π^{\pm} - мезон с $N_c \geq 1$. В отобранных событиях 90% случаев кумулятивным оказался Π^+ - мезон, причем как Π^+_C - мезоны, так и Π^-_C - мезоны в 80% случаев испускаются в ЗП (Π^{\pm}_{bc}).

Вероятность образования Π_C - мезонов больше в событиях с

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

большей множественностью Π - мезонов (N_{Σ}) и протонов (N_p). Средние значения параметра кумулятивности (N_c) не зависят от N_{Σ} и остаются одинаковыми для событий с Π^+ и Π^- мезонами, но зависят от множественности протонов (в событиях с $N_p \geq 2$ они оказываются больше, чем в событиях с $N_p = 1$). Средние значения полных импульсов (P) для Π^+ мезонов больше в событиях с большими значениями N_{Σ} и N_p . Абсолютные значения средних поперечных импульсов \bar{P}_1 для Π^+ в 2,5 раза больше средних значений P_1 для Π^{\pm} мезонов из всех $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий и, в том числе, для всех Π^{\pm} мезонов, испущенных в ЗП.

Структурная функция $f(P^2)$ для Π^+ мезонов имеет экспоненциальный вид^{*)}: $f(P^2) = A \exp(-BP^2)$, для параметров A и B получены значения: $A = (0,8 \pm 0,2) (\text{ГэВ})^{-2} \text{с}^3$ (стерад)⁻¹, $B = (1,9 \pm 0,2) (\text{ГэВ/с})^{-2}$ ($\chi^2 = 1,0$ на одну степень свободы). Экспоненциальный вид имеет также и распределение Π_{bc}^+ мезонов по величине n_c , определяемой выражением (5), т.е.: $dN/dn_c \sim \exp(-B_1 n_c)$ с параметром наклона $B_1 = 3,0 \pm 0,5$ ($\chi^2 = 0,55$ на одну степень свободы). Угловые распределения кумулятивных Π^{\pm} мезонов в пределах ошибок можно считать изотропными. Такой же вывод получен для всех Π - мезонов, испущенных в ЗП (IV глава).

В таблице 2 приведены средние множественности (\bar{n}) вторичных заряженных частиц, образованных в $\Pi^{12}C$ - взаимодействиях с Π_{bc}^+ и Π_{bc}^- (тип событий " Π_{bc}^+ " и " Π_{bc}^- ", соответственно). В последней колонке таблицы приведены значения \bar{n} для Π^{\pm} мезонов и протонов, испущенных из всех $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий. Как видно из данных, представленных в этой таблице, \bar{n} для Π^{\pm} мезонов и протонов в событиях с " Π_{bc}^+ " больше, чем во всех $\Pi^{-12}C$ - взаимодействиях. Такой же вывод был сделан и при анализе свойств $\Pi^{-12}C$ - взаимодействий с Π - мезонами в ЗП (глава IV).

*)

Из-за недостаточности статистики событий с кумулятивными Π^- мезонами мы ограничились данными только для Π^+ мезонов.

ТАБЛИЦА 2

Тип частиц	Тип события		
	" Π_{bc}^+ "	" Π_{bc}^- "	Все $\Pi^{-12}C$
Π^+	$4,4 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,7$	$3,10 \pm 0,02$
Π^-	$3,4 \pm 0,2$	$4,3 \pm 0,6$	$3,22 \pm 0,02$
P	$1,9 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,3$	$0,80 \pm 0,01$

В таблице 3 для событий типа " Π_{bc}^+ " приведены значения средних импульсов (\bar{P}), средних поперечных импульсов (\bar{P}_1) и средних углов вылета в л.с.к. ($\bar{\theta}$) для всех Π^{\pm} мезонов и протонов.

ТАБЛИЦА 3

Тип частиц	Характеристики	\bar{P} (ГэВ/с)	\bar{P}_1 (ГэВ/с)	$\bar{\theta}$ (град)
Π^+		$1,7 \pm 0,1$	$0,43 \pm 0,02$	$59,4 \pm 2,5$
Π^-		$3,3 \pm 0,4$	$0,34 \pm 0,02$	$30,8 \pm 2,9$
P		$0,34 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,01$	$66,8 \pm 2,5$

Видно, что значения \bar{P} в событиях с " Π_{bc}^+ " меньше, а значения $\bar{\theta}$ - больше, чем во всех $\Pi^{-12}C$ - взаимодействиях. Последнее можно объяснить тем, что в КВ полный развал ядра углерода происходит в 5 раз чаще (его вероятность $0,38 \pm 0,09$), чем в обычных $\Pi^{-12}C$ - взаимодействиях.

Средние значения импульсов (\bar{P}), поперечных импульсов (\bar{P}_1) и углов вылета в л.с.к. ($\bar{\theta}$) были получены и для КВ с разным числом Π^{\pm} мезонов (n_{Π}) и протонов (N_p). Значения \bar{P} , \bar{P}_1 и $\bar{\theta}$ оказались не зависящими как от n_{Π} , так и от N_p .

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

I. В период с 1975 по 1979 гг. с участием автора обработаны по стандартным критериям, принятых для двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЗ ОИЯИ (ДТПК-500), около 30000 стерео-

фотоснимков. Найдено около 10000 $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий с 65000 Π^{\pm} - мезонами, с 8000 протонами и с 17000 γ - квантами. Вся экспериментальная информация с помощью стандартных программ записана на магнитных лентах суммарных результатов (DST) для быстродействующих ЭВМ CDC - 1604A и CDC - 6500.

2. Средняя множественность вторичных Π - мезонов в $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействиях при $P_{\pi} = 40$ ГэВ/с в $(1,19 \pm 0,01)$ раза больше, чем для Π^{-N} - событий при той же энергии первичного Π - мезона. Этот результат хорошо согласуется с известными данными для широкого диапазона первичных энергий.

3. Значения парциальных коэффициентов неупругости совпадают с аналогичными для Πp - взаимодействий. Таким образом, получено дополнительное указание на слабую зависимость этих коэффициентов от атомного номера ядра мишени.

4. Вероятность полного развала ядра углерода (при использовании критерия отбора событий, аналогичного применявшемуся в фотоэмульсионных работах: $N_p \geq 4$) составляет $(2,7 \pm 0,2)\%$, которое в пределах ошибок совпадает с результатами, полученными для ядер A_9 и B_2 в диапазоне энергий налетающих Π - мезонов $20 + 60$ ГэВ.

Использование дополнительного неприменявшегося ранее критерия отбора событий по суммарному заряду всех вторичных частиц позволило значительно расширить класс событий с полным развалом ядра углерода и впервые для вероятности этого процесса получить значение $(7,0 \pm 0,3)\%$.

В событиях с полным развалом ядра углерода наблюдается отличие свойств Π^{\pm} - мезонов (таких, как \bar{n} , \bar{p} , $\bar{\theta}$) от аналогичных для всех $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий.

5. Получена полная информация о свойствах $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий с адронами, испущенными в заднюю полусферу в лабораторной системе координат. Оказалось:

а) в $(15 \pm 1)\%$ случаев в заднюю полусферу испускаются Π^+ - мезоны и в $(11 \pm 1)\%$ случаев Π^- - мезоны;

б) процессы, приводящие к испусканию Π - мезонов и протонов в заднюю полусферу, являются независимыми друг от друга. Процессы, приводящие к испусканию Π^+ - мезонов и Π^- - мезонов в заднюю полусферу как в $\Pi^{-12}\text{C}$ -, так и Πp - взаимодействиях, взаимозависимы;

в) значения средних импульсов всех Π^{\pm} - мезонов в событиях с Π - мезонами в задней полусфере меньше, чем во всех остальных взаимодействиях;

г) основные характеристики взаимодействий, сопровождающихся испусканием протонов в заднюю полусферу, совпали с аналогичными для всех $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий;

д) средние импульсы Π^{\pm} - мезонов, испущенных в заднюю полусферу из $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий, в $(1,29 \pm 0,06)$ раз больше, чем для Π^{\pm} - мезонов, испущенных в заднюю полусферу из Πp -соударений, что связано с существованием в $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействиях кумулятивных событий.

6. При взаимодействии Π - мезонов с ядрами углерода в $(1,0 \pm 0,1)\%$ случаев наблюдаются кумулятивные Π - мезоны, которые в 80% случаев испускаются в заднюю полусферу и в 90% случаев имеют положительный знак.

Причем:

а) средние значения поперечных импульсов (\bar{P}_T) для кумулятивных Π - мезонов в 2 - 2,5 раза больше значений P_T - для Π^{\pm} - мезонов из всех $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействий и в том числе для Π^{\pm} - мезонов, испущенных в заднюю полусферу;

б) средние множественности вторичных частиц в $\Pi^{-12}\text{C}$ - взаимодействиях, имеющих кумулятивные Π - мезоны, заметно больше, чем во всех $\Pi^{-12}\text{C}$ - событиях;

в) в кумулятивных взаимодействиях полный развал ядра углерода происходит примерно в 5 раз чаще, чем во всех $\Pi^{-12}\text{C}$ - соударениях.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Н. Ангелов, К. П. Вишневецкая, В. Г. Гришкин, ... М. Сулейманов и др. Препринт ОИЯИ, Р1-9792, Дубна, 1976; ЯФ, т. 25, 1013, 1977.
2. Н. Ангелов, И. А. Ивановская, Т. Канарек, ... М. Сулейманов и др. Препринт ОИЯИ, Р1-10513, Дубна, 1977; ЯФ, т. 27, 190, 1978.
3. Н. Ангелов, А. И. Аношин, В. Б. Любимов, М. И. Соловьев, М. Сулейманов, Д. Тувдендорж. Препринт ОИЯИ, Р1-11258, Дубна, 1978; ЯФ, т. 39, 684, 1978.

4. Н. Ангелов, А. И. Аношин, В. Г. Гришин, В. Б. Любимов, М. И. Соловьев, М. К. Сулейманов, Д. Тувдендорж. Препринт ОИЯИ, I-12108, Дубна, 1979; ЯФ, т. 30, 400, 1979.
5. Н. Ангелов, А. И. Аношин, В. Г. Гришин, В. Б. Любимов, М. И. Соловьев, М. К. Сулейманов, Д. Тувдендорж. Препринт ОИЯИ, PI-11951, Дубна, 1978; ЯФ, т. 29, 1227, 1979.
6. А. И. Аношин, В. Б. Любимов, М. И. Соловьев, М. К. Сулейманов, Д. Тувдендорж. Препринт ОИЯИ, PI-12425, Дубна, 1979.

Цитированные работы.

7. А. У. Абдурахимов, Нгуен Дин Ты, В. Н. Пенев. ОИЯИ, I-5140, Дубна, 1970.
8. K. Gottfried. Phys. Rev. Lett., 32, 957, 1974.
9. В. С. Мурзин, Л. И. Сарычева. Космические лучи и их взаимодействия. М., Атомиздат, 1968.
10. Ю. Ф. Гагарин и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1974, т. 38, № 5, стр. 988.
11. О. А. Ахроров и др. ОИЯИ, PI-9963, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 марта 1980 года.