

УДК 539.1.074.6
539.171.12./6
539.126

Ц - 379

ЦЕНОВ
Румен Василев

1-86-447

СОЗДАНИЕ ЧЕРЕНКОВСКОГО ДЕТЕКТОРА
ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЕ С ЕГО ПОМОЩЬЮ
ИНКЛЮЗИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ
 η -МЕЗОНОВ НА НУКЛОНАХ И ЯДРАХ
ПИОНАМИ И КАОНАМИ С ИМПУЛЬСОМ 10,5 ГэВ/с

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор

П.А.Будагов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор

М.Н.Хачатурян

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

С.В.Клименко

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Московский
инженерно-физический институт.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1986 г.

в _____ часов на заседании специализированного Совета
Д.047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного инсти-
тута ядерных исследований, г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1986 г.

Ученый секретарь специализированного Совета
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

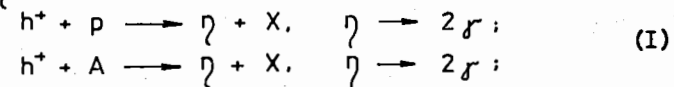
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Исследования процессов инклюзивного образования адронов различного кваркового состава в адрон-нуклонных и адрон-ядерных столкновениях с небольшой передачей импульса выявили ряд существенных закономерностей, обусловленных кварк-партоной структурой взаимодействующих частиц. Изучение соударений адронов с атомными ядрами, оставаясь пока единственным способом получения информации о пространственно-временной картине процессов столкновения и адронизации, позволяет оценить, например, такой важный динамический параметр, как длина формирования адронов. В современных представлениях имеются существенные различия в отношении как величины, так и интерпретации этого параметра.

Для экспериментального исследования этой проблемы особенно эффективно изучение закономерностей выходов адронов из ядер при умеренных энергиях (~ 10 ГэВ), где соответствующие длины формирования оказываются порядка размеров ядер (несколько фм), и эффекты их существования должны отчетливо проявляться как в величинах сечений образования, так и в импульсных спектрах рожденных частиц и их зависимости от массового числа A ядра-мишени.

Поэтому изучение процессов множественной генерации в адрон-ядерных взаимодействиях при умеренных энергиях, получение экспериментальных данных о соответствующих инклюзивных дифференциальных сечениях, их зависимости от массового числа ядра-мишени и извлечение информации о длине формирования лидирующих частиц составляют одно из актуальных направлений современной физики высоких энергий.

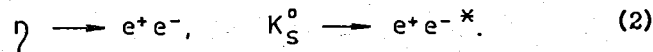
Конкретно, мы изучали мало исследованные процессы инклюзивного образования η -мезонов в реакциях



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

где $h^+ = \pi^+, K^+$; $A = D, Li, Be, Al, Cu$, при импульсе 10,5 ГэВ/с в области фрагментации частиц пучка ($x_F > 0,5$, $p_T < 1$ ГэВ/с).

Исследование образования η -мезонов на высоком уровне статистической обеспеченности открывает возможность поиска редких мод распадов нейтральных мезонов (η, K_S^0), что является актуальной задачей для современной теории электрослабого взаимодействия. Поэтому при подготовке эксперимента по изучению реакций (I) ставилась задача создания исследовательской аппаратуры, как нацеленной на регистрацию η -мезонов в канале $\eta \rightarrow 2\gamma$, так и обеспечивающей возможность регистрации и выделения распадов



Цель работы – создание годоскопического электромагнитного калориметра, обеспечивающего эффективную регистрацию нейтральных мезонов (η, K_S^0) по их распадам на два гамма-кванта или e^+e^- -пару; изучение с его помощью инклюзивных процессов образования η -мезонов на протоне, дейтоне и сложных ядрах в пучках различного кваркового состава при энергии ≈ 10 ГэВ, получение новых данных о динамике множественного образования адронов в этой области энергии и их анализ в рамках современных теоретических моделей.

Научная новизна. Впервые исследованы отношения выходов η -мезонов из дейтериевой мишени в π^+ - и K^+ -пучках. Измерены относительные выходы η -мезонов во взаимодействиях π^+ -мезонов с протонами, дейтонами и ядрами Li, Be, Al, Cu и их зависимость от x_F в области фрагментации пучка, ранее не исследовавшаяся. Установлена зависимость сечений от массового числа A ядра-мишени: $\frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+A \rightarrow \eta X) \sim A^\alpha(x_F)$. Проведен анализ результатов измерений в рамках современных кварк-партоновых моделей, позволивший получить новые данные о пространственно-временной картине и динамике инклюзивных процессов образования адронов в исследуемой кинематической области.

Практическая ценность. Создан 76-канальный электромагнитный калориметр годоскопической структуры из свинцового стекла и измерены его основные характеристики в пучках e^+, μ^+, π^+ с импульсами 3-5 ГэВ/с. По достигнутым параметрам калориметр обеспечивает возможность регистрации нейтральных мезонов (η, K_S^0) по их распадам на два гамма-кванта или e^+e^- -пару с эффективным подавлением (в последнем случае) фона от заряженных адронов.

* K^0 -мезоны образуются в реакции $K^+A \rightarrow K^0X$.

С использованием калориметра в качестве основного детектирующего прибора выполнен завершённый цикл исследований инклюзивных процессов образования η -мезонов на нуклонах и ядрах при энергии 10,5 ГэВ. Создано соответствующее математическое обеспечение для полной обработки полученных данных.

Экспериментально исследована и обоснована весьма перспективная возможность прецизионной регистрации гамма-квантов в комбинированном устройстве, включающем активный конвертер, широкозонарную дрейфовую камеру и ливневый годоскопический детектор.

Достигнутые в работе результаты и накопленный опыт составили основу дальнейшего совершенствования методики регистрации электромагнитных ливней и развития физической программы исследований процессов с образованием гамма-квантов, электронов и позитронов на спектрометре "Гиперон".

Автор защищает:

1. Результаты разработки, создания и исследования основных характеристик 76-канального черенковского электромагнитного калориметра из свинцового стекла.

2. Результаты изучения – с применением созданной аппаратуры и соответствующего математического обеспечения – инклюзивных процессов образования η -мезонов на нуклонах и ядрах в области фрагментации пучка при импульсе 10,5 ГэВ/с, в частности, результаты исследования:

а) отношений инклюзивных дифференциальных сечений образования η -мезонов в π^+ -пучке на ядрах Li, Be, Al, Cu к сечению на дейтерии и их зависимости от массового числа ядра-мишени и фейнмановской переменной x_F ;

б) отношения выходов η -мезонов в π^+D - и K^+D -столкновениях и его x_F -зависимости.

Апробация и публикации. Диссертация написана на основе работ, выполненных автором в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в 1980-1986 гг. Изложенные в ней материалы докладывались и обсуждались на научных семинарах ЛЯП и ИФВЭ (Серпухов), на совещаниях сотрудничества "Гиперон" и на сессиях Ученого совета ОИЯИ.

По результатам диссертации опубликовано 6 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Каждая глава заканчивается краткими выводами. Работа изложена на 133 страницах, включая 38 рисунков, 11 таблиц и список цитируемой литературы, содержащий 127 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблем, которым посвящена диссертация. Подчеркнуто, что получение сведений о длине формирования лидирующих адронов является важной задачей для современной физики сильных взаимодействий.

В большинстве партонных моделей длина формирования адрона с импульсом p определяется выражением

$$l_f = \frac{p}{\mu^2} \quad (3)$$

где $\mu^2 \sim 0,5 \text{ ГэВ}^2$ — феноменологический параметр.

Между тем существуют модели квантово-хромодинамического типа, в которых эта зависимость не имеет места в области фрагментации частиц пучка ($x_F > 0,5$). В модели цветных струн, например, предложенной в работе Casher A. et al. Phys.Rev.D, 1979, v.20, p.179 и активно развиваемой в ЛЯП ОИЯИ Б.З.Копелковичем, Л.И.Липидусом и Ф.Нидермайером, длина формирования лидирующих адронов, точнее, длина фрагментации лидирующих кварков в синглетные по цвету объекты, способные к взаимодействию, определяется выражением

$$l_{ff} = \frac{p_0}{\varepsilon} (1 - x_F), \quad x_F \rightarrow 1. \quad (4)$$

Здесь p_0 — начальный импульс, x_F — фейнмановская переменная. Параметр ε имеет смысл плотности энергии на единицу длины струны или коэффициента натяжения струны. Его величина определяет спектр ротационных состояний, лежащих на траекториях Редже, и в качестве ее оценки принимают

$$\varepsilon \approx (2\pi\alpha'_R)^{-1} \approx 1 \text{ ГэВ/фм}, \quad (5)$$

где $\alpha'_R \approx 0,9 \text{ ГэВ}^{-2}$ — наклон реджеонных траекторий. Соотношение (4) отражает следующий из основных предположений модели вывод о том, что лидирующий кварк тормозится цветной струной с силой $\varepsilon = -dp/dt$ и на расстоянии l_{ff} теряет импульс $\Delta p = -\varepsilon l_{ff}$.

Имеющиеся экспериментальные оценки для формирования различных адронов довольно противоречивы. Почти во всех работах зависимость (3) постулировалась и результаты измерений анализировались на предмет извлечения параметра μ^2 , для которого получались на порядок отличающиеся значения: от $0,08 \text{ ГэВ}^2$ до $2,3 \text{ ГэВ}^2$. Следует отметить, что эффекты существования зоны формирования исследовались практически только в процессах множественного рождения адронов в центральной области $|x_F| \leq 0,5$. Весьма ограничены данные о длинах формирования частиц с

x_F , близкими к 1, где, в основном, и проявляется различие в предсказаниях партонных и квантово-хромодинамических моделей.

Далее во введении обоснованы интересные с физической точки зрения аспекты изучения именно реакций (1) в рассматриваемой кинематической области.

Во-первых, это возможность получить информацию о длине формирования фрагментационных адронов в процессе, где отсутствует дифракционный вклад и вклад в сечение образования от распадов более тяжелых резонансов. (В этой области энергии образованием резонансов, распадающихся на $\eta + X$, можно пренебречь).

Во-вторых, сравнение инклюзивных дифференциальных сечений образования η -мезона в π^+ - и K^+ -пучках дает возможность получить данные о его кварковом составе и динамике рождения в инклюзивных процессах способом, отличным от применявшихся до сих пор.

В-третьих, ко времени начала наших исследований (1980 г.) сведения по инклюзивному образованию η -мезонов при энергиях выше 5 ГэВ оставались весьма ограниченными и исчерпывались только данными о реакциях на протоне. Экспериментально не изучалось инклюзивное образование на дейтоне и сложных ядрах в пучках различного кваркового состава. Появившиеся впоследствии результаты единственного эксперимента (Акименко С.А. и др. ЯФ, 1983, т.38, с.1212 и ЯФ, 1984, т.39, с.649) восполнили в известной мере этот пробел. В них представлены достаточно полно интегральные выходы η -мезонов во взаимодействиях π^+ , K^+ и p с протонами и ядрами Be, C, Al, Cu, но отсутствует систематическое изучение инклюзивных дифференциальных сечений (последние получены только для бериллиевой мишени) и их A-зависимости.

В заключительной части введения сформулирована цель работы и перечислены кратко по главам основные результаты, полученные в диссертационной работе.

В первой главе обосновывается выбор основных конструктивных параметров и приводится описание 76-канального годоскопического электромагнитного калориметра (рис.1), созданного для изучения реакций (1) и распадов (2) на установке "Гиперон". Калориметр состоит из ливневого годоскопического детектора ЛГД (62 элемента с размерами радиаторов $10 \times 10 \times 35 \text{ см}$) и расположенного перед ним активного конвертера АК (14 каналов, толщина элементов по пучку 2,4 радиационной длины). В качестве радиаторов модулей ЛГД и АК используется свинцовое стекло ТФ1 (радиационная длина $X_0 = 2,5 \text{ см}$) высокой прозрачности. Применение активного конвертера дает возможность эффективно разделять сигналы от заряженных адронов и электронов (позитронов) в детекторе, что необходимо при поиске распадов (2).

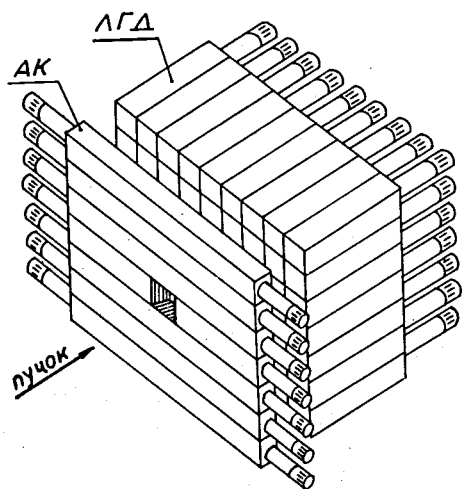


Рис.1. Общий вид 76-канального $e-\gamma$ -детектора. АК - активный конвертер, ЛГД - ливневый фотоэлектрический детектор.

Далее в этой главе кратко описываются конструкция элементов ЛГД (она следует, в основном, принятой на установке "Сигма" в ИФВЭ) и АК, системы питания, слежения за дрейфом спектрометрических трактов, съема данных.

Созданный $e-\gamma$ -детектор имеет апертуру $\approx 0,63 \text{ м}^2$, обеспечивающую исследование реакций (I) при импульсе $\approx 10 \text{ ГэВ/с}$ в области фрагментации частиц пучка ($x_F > 0,5$, $p_T < 1 \text{ ГэВ/с}$), где, как указывалось выше, экспериментальная информация по ряду существенных вопросов динамики множественного рождения адронов до начала наших исследований оставалась весьма ограниченной.

Вторая глава посвящена исследованию характеристик детектора в пучках позитронов, мюонов и π^+ -мезонов с импульсами 3-5 ГэВ/с. Типичный пример распределения числа зарегистрированных позитронов по измеренной в калориметре энергии показан на рис.2а. Энергетическое разрешение детектора определялось путем аппроксимации подобных спектров распределением Гаусса (рис.2б) и в случае попадания позитронов в центр модуля ЛГД оставляет $\delta_A/E \approx 0,08/\sqrt{E} (\text{ГэВ})$. По достигнутому значению энергетического разрешения в области энергии 3-5 ГэВ ($\approx 4\%$) созданный нами детектор не уступает другим известным калориметрам из свинцового стекла с примерно таким же размером ячейки.

Использование индивидуальных кокухов (из жести) приводит к потерям (до 40% в самых неблагоприятных случаях) энергии ливня в зазорах между радиаторами элементов детектора. Нами был выработан и экспериментально исследован эффективный алгоритм их учета, использование которого дало возможность сохранить высокое энергетическое разрешение прибора и в этих случаях - при регистрации ливня в четырех счетчиках (потери в двух "целях") разрешение ухудшается менее чем на 20%.

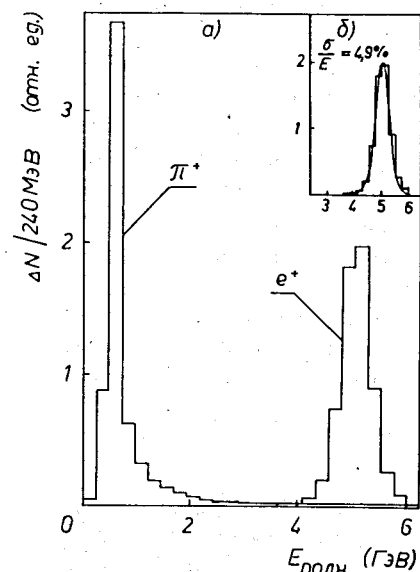


Рис.2. а) Распределения сигналов от позитронов и π^+ -мезонов по измеренной в АК + ЛГД энергии ливня $E_{\text{полн}}$. б) Пик от позитронов. Сплошная линия - распределение Гаусса.

нами тестовых измерений с использованием широкозазорной дрейфовой камеры (ЩК) с длиной дрейфа до 10 см в качестве такого детектора. Установлено, что применение ЩК и специально разработанного нами математического обеспечения для обработки поступающей с нее информации обеспечивает рекордное пространственное разрешение $\delta_x \approx 2 \text{ мм}$ при энергии частиц 3 ГэВ.

Далее в этой главе на основе сравнения результатов измерения без АК и с АК разной толщины делается вывод о том, что наличие активного конвертера из свинцового стекла высокой прозрачности толщиной 2,4-4 X_0 не ухудшает основных характеристик детектора при условии тщательной калибровки его элементов. Исследуются различные возможности использования информации о АК и ЛГД для осуществления эффективного разделения сигналов от электронов (позитронов) и заряженных адронов и

Для измерения координат места попадания в детектор гамма-квантов, электронов и позитронов мы применили известный метод определения координат с помощью экспериментально измеренной зависимости распределения энергии ливня в соседних счетчиках детектора от места попадания электрона (позитрона) в нем. В работе показано, что при принятых значительных размерах ячейки (10x10 см) и конструкции модулей с использованием этого метода достигается высокое координатное разрешение $\Delta x = 10 \text{ мм}$ (среднеквадратичное отклонение) при энергии 5 ГэВ и равномерном засвечивании всей площади ячейки.

Наличие активного конвертера дает возможность применить специальный координатный детектор, располагаемый между АК и ЛГД, для существенного улучшения пространственного разрешения прибора. В диссертации приводится описание выполненных

приводятся экспериментально достигнутые значения уровня подавления адронного фона в калориметре ($\approx 2,5 \cdot 10^{-3}$ при $E_{e^{\pm}} \approx 5$ ГэВ).

В конце главы излагается разработанный нами усовершенствованный вариант известного метода калибровки элементов годоскопических детекторов по регистрируемым распадам π^0 - и η -мезонов на два гамма-кванта и результаты его применения для 76-канального e^- -детектора. Наш вариант метода, в отличие от ранее разработанных другими авторами, учитывает наличие АК, значительные энергетические потери в зазорах между радиаторами элементов и алгоритм определения координат гамма-квантов по энергораспределению в счетчиках ЛГД. Использование описанного метода позволило, не прибегая к общепринятому длительному способу калибровки в монохроматическом пучке электронов (позитронов), откалибровать элементы АК и ЛГД с достаточно высокой точностью.

В третьей главе рассматривается постановка, проведение и обработка результатов эксперимента по изучению инклюзивного образования η -мезонов в пучках различного кваркового состава на протоне, дейтоне и ядрах. η -мезоны регистрировались по их распадам на два гамма-кванта.

Набор статистики по реакциям (I) проводился с использованием созданного e^- -детектора и другого оборудования спектрометра "Гиперон", расположенного на 18-м канале ускорителя ИФВЭ (Серпухов). Установка включала:

а) пучковые детекторы (спинтилляционные и черенковские, пропорциональные камеры) для идентификации и измерения направлений первичных частиц;

б) криогенную мишень, заполняемую жидким водородом и дейтерием, и ядерные мишени разной толщины;

в) аппаратуру для регистрации частиц - продуктов взаимодействия пучка с мишенью (рис.3). Восемь плоскостей пропорциональных камер ПК и спинтилляционный годоскоп Н служили для восстановления траекторий вылета заряженных частиц из мишени Т. В электромагнитном калориметре осуществлялась регистрация гамма-квантов, электронов и позитронов.

Детекторы установки были включены "в линию" с ЭВМ ЕС-1010, которая осуществляла контроль за аппаратурой, накопление и запись поступающей информации на магнитные ленты.

Измерения проводились в пучке положительных частиц с импульсом 10,5 ГэВ/с (разброс $\approx 1\%$) и интенсивностью $\approx 10^6$ с $^{-1}$. В пучке содержалось приблизительно 67% π^+ -мезонов, 6% K^+ -мезонов, 25% протонов и 2% мюонов и позитронов.

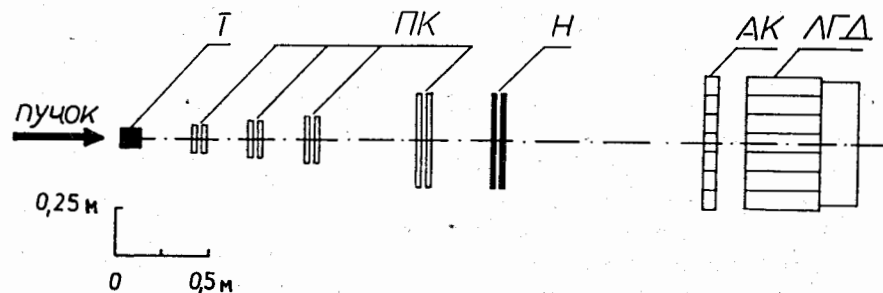


Рис.3. Аппаратура для регистрации вторичных частиц. Т - мишень, ПК - пропорциональные камеры, Н - спинтилляционный годоскоп, АК - активный конвертер, ЛГД - ливневый годоскопический детектор.

Для подавления фона от π^0 -мезонов в триггере требовалось одновременное энерговыделение больше 2 ГэВ не менее чем в двух группах элементов ЛГД (из четырех). Разбиение счетчиков ЛГД на триггерные группы было осуществлено таким образом, что данное требование обеспечивало преимущественную регистрацию $\gamma\gamma$ -состояний с эффективной массой больше 400 МэВ/с 2 .

В качестве мишени использовались жидкие водород и дейтерий и четыре ядерные мишени - Li, Be, Al, Cu. Измерения на Be, Al и Cu проводились при нескольких толщинах для последующего учета потерь гамма-квантов и экстраполяции данных к "нулевой" толщине мишени.

За время набора через установку было пропущено $4,6 \cdot 10^9$ π^+ -мезонов и $4,7 \cdot 10^9$ K^+ -мезонов. На магнитные ленты было записано 1,7 млн. событий.

Далее в этой главе описывается обработка экспериментальных данных. Программный комплекс, обеспечивающий все ее этапы - от реконструкции событий до получения соответствующих дифференциальных сечений, содержит около 30 тысяч строк исходного текста, в основном, на языке ФОРТРАН и поставлен на базовые ЭВМ ЦК ОИЯИ ЕС-1060 и ЕС-1061.

Основное внимание при рассмотрении вопросов реконструкции событий уделяется алгоритму распознавания ливней и вычисления их энергий в условиях крупной (10×10 см) ячейки калориметра. В отличие от применяемых для подобных целей способов в других детекторах с такими же большими размерами ячейки здесь достигнуто эффективное разделение перекрывающихся ливней вплоть до расстояния между их осями на передней плоскости детектора 1,5-2 D (D - ширина ячейки). Это удалось сделать путем введения в процедуру вычисления энергий ливней весовых

множителей, учитывающих характерный размер поперечного профиля ливня в свинцовом стекле и подобранных по результатам моделирования.

При обработке данных анализировались события с числом найденных гамма-квантов (ливней) $N_{\gamma} \geq 2$. Средняя множественность последних в отобранных событиях составляла $\bar{N}_{\gamma} = 2,13$. Для каждой пары гамма-квантов вычислялась их эффективная масса $M_{\gamma\gamma}$, поперечный импульс p_{\perp} и фейнмановская переменная $x_F = p_{\parallel}^* / (p_{\parallel}^*)_{\max}$. Величина $(p_{\parallel}^*)_{\max}$ была определена из реакций $\pi^+ n \rightarrow \eta p$ и $K^+ p \rightarrow K^+ \eta$ в случае взаимодействия π^+ и K^+ -мезона соответственно. При вычислениях кинематических параметров использовались координаты точки взаимодействия, найденной по пересечению трека пучковой частицы с треками заряженных вторичных частиц. В случаях, когда последние не были зарегистрированы, за точку взаимодействия принималась середина мишени.

После нормировки на соответствующие мониториные числа и вычитания "пустой мишени" количество событий ($\gamma\gamma$ -комбинаций) в каждом (x_F, p_{\perp}) -интервале корректировалось на эффективность регистрации гамма-пар с инвариантной массой в области массы η -мезона $E_{\gamma\gamma}(x_F, p_{\perp})$, рассчитанную методом Монте-Карло с учетом особенностей геометрии установки, триггерной логики и эффективности восстановления событий реконструирующей программой. Далее для каждого x_F -интервала строились распределения по $M_{\gamma\gamma}$, проинтегрированные по p_{\perp} в области $p_{\perp} = 0-0,8$ ГэВ/с. Типичный пример такого распределения показан на рис.4.

Количество η -мезонов в каждом x_F -интервале для каждой мишени (или толщины мишени, где их несколько) определялось путем аппроксимации спектров по $M_{\gamma\gamma}$ функцией

$$F(M_{\gamma\gamma}) = N^{\pi^0} \cdot G^{\pi^0}(M_{\gamma\gamma}) + N^{\eta} \cdot G^{\eta}(M_{\gamma\gamma}) + N^{\text{фон}} \cdot \text{BG}(M_{\gamma\gamma}),$$

где $G^{\pi^0, \eta}$ - распределения Гаусса для пиков от распадов π^0 - и η -мезонов, $\text{BG}(M_{\gamma\gamma})$ - гамма-распределение, описывающее нерезонансный фон, а $N^{\pi^0, \eta, \text{фон}}$ - соответствующие вклады этих распределений в данный спектр.

В конце главы приводятся полученные результаты для отношений инклюзивных дифференциальных сечений образования η -мезонов в кинематической области $x_F \geq 0,57$, $p_{\perp} \leq 0,8$ ГэВ/с, которые анализируются в следующей главе:

$$R_D(x_F) = \frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ D \rightarrow \eta X) / \frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ p \rightarrow \eta X); \quad (6)$$

$$R_A(x_F) = \frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ A \rightarrow \eta X) / \frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ D \rightarrow \eta X); \quad (7)$$

A = Li, Be, Al, Cu;

$$R_{\theta}(x_F) = \frac{d\sigma}{dx_F}(K^+ D \rightarrow \eta X) / \frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ D \rightarrow \eta X). \quad (8)$$

Отношения R_A хорошо ($\chi^2/\text{NDF} \approx 0,9$) параметризуются зависимостью

$$R_A(x_F) \sim A^{\alpha(x_F)}, \quad (9)$$

откуда следует, что и сами сечения $\frac{d\sigma}{dx_F}(\pi^+ A \rightarrow \eta X) \sim A^{\alpha(x_F)}$.

Полученные в девяти интервалах по x_F значения параметра $\alpha(x_F)$ представлены на рис.5.

Четвертая глава посвящена теоретической интерпретации полученных результатов.

В первом параграфе главы показано, что наблюдавшийся быстрый рост отношения $R_D(x_F)$ с ростом x_F (рис.6) можно объяснить в рамках реджевского подхода к описанию инклюзивных процессов, учитывая значительное влияние возбуждений барионных резонансов на поведение ин-

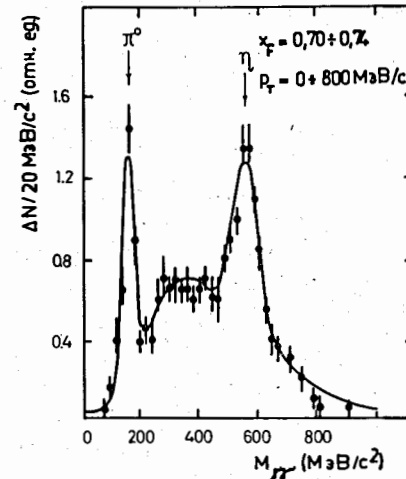


Рис.4. Пример распределения событий по инвариантной массе пар гамма-квантов в реакции $\pi^+ D \rightarrow \gamma\gamma X$. $M_{\eta} = 546_{\pm 2}$ MeV/c², $\sigma_{\eta} = 47_{\pm 3}$ MeV/c².

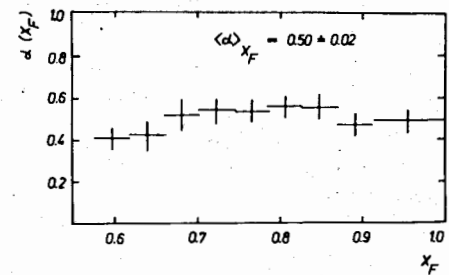


Рис.5. Показатель степени $\alpha(x_F)$ в параметризации (9).

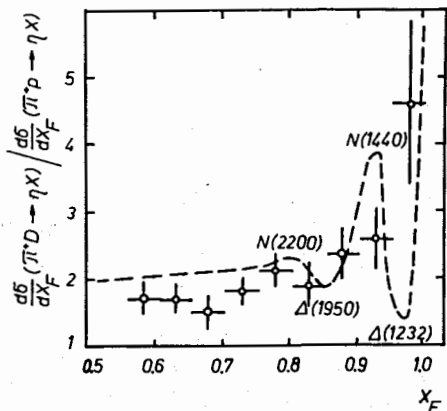


Рис.6. Отношение дифференциальных сечений образования η -мезонов на дейтоне и протоне. Пунктирная кривая - результат расчета с учетом возбуждений указанных барийных резонансов.

где $\frac{d\delta}{dx_F}(\pi^+N \rightarrow \eta X)$ - сечение образования на отдельном нуклоне, а $A_{eff}(x_F)$ - зависящее от x_F эффективное число нуклонов в ядре, то специфический вид зависимости (4) должен приводить к падению $A_{eff}(x_F)$ при x_F , близких к 1, из-за поглощения в ядре η -мезонов, сформировавшихся на малых расстояниях. Эффект падения $A_{eff}(x_F)$ при $x_F \rightarrow 1$ наблюдался при импульсе $p_0 = 100$ ГэВ/с в инклюзивных реакциях $pPb \rightarrow pX$ и $\pi^+Pb \rightarrow \pi^+X$, однако его интерпретация затруднена при отсутствии дифракционного вклада.

Результаты расчета для $R_{Cu}(x_F) = \frac{1}{2} A_{eff}(x_F)$, где ожидается самое сильное падение $A_{eff}(x_F)$, выполненного с применением стандартной глауберовской техники с учетом длины фрагментации (4) при нескольких значениях ϵ , показаны на рис.8. Видно, что при $\epsilon \geq 3$ ГэВ/фм для $x_F \geq 0,6$ (захватываемая нами кинематическая область) вычисленное R_{Cu} практически перестает зависеть от x_F . Это можно объяснить тем, что в этой области $l_{fr} \leq 1,4$ фм (при $\epsilon = 3$ ГэВ/фм), т.е. меньше среднего междуклонного расстояния в ядре меди (≈ 2 фм).

Поскольку наши экспериментальные данные не обнаруживают убывающей зависимости $R_{Cu}(x_F)$, то в работе делается вывод о том, что

инклюзивных сечений рождения η -мезонов при x_F , близких к 1 (см. пунктирную кривую на рис.6).

Во втором параграфе полученные данные для отношений $R_A(x_F)$ (рис.7) анализируются на предмет извлечения информации о длине формирования лидирующих адронов в модели цветных струн.

Если инклюзивное дифференциальное сечение образования η -мезонов представим в виде

$$\begin{aligned} \frac{d\delta}{dx_F}(\pi^+A \rightarrow \eta X) &= \\ &= \frac{d\delta}{dx_F}(\pi^+N \rightarrow \eta X) \cdot A_{eff}(x_F), \end{aligned} \quad (10)$$

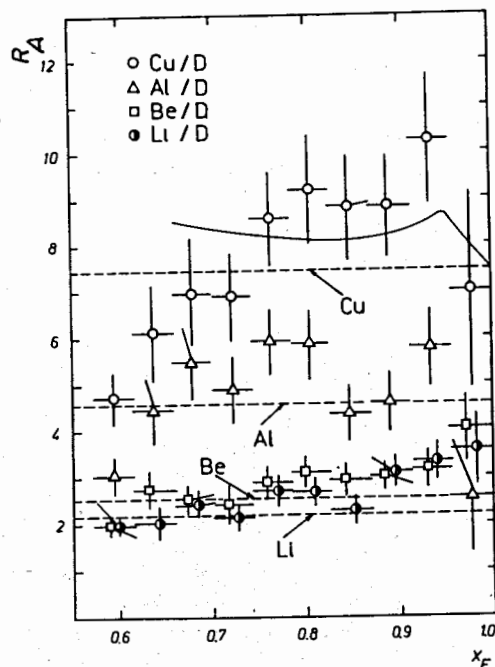
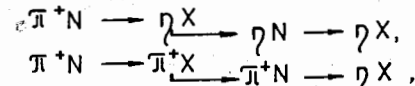


Рис.7. Отношения $R_A(x_F)$. Пунктирные прямые - расчет по глауберовской модели при отсутствии длины формирования. Сплошная кривая - расчет для $R_{Cu}(x_F)$ с учетом двукратных перерассеяний.

отчетливо проявляется в зависимости $R_{Cu}(x_F)$. Выполненные в реджевском подходе расчеты для учета поправок в отношения R_A , возникающих при рассмотрении процессов перерассеяния типа



также не устраняют указанного расхождения (см. кривую на рис.7).

* Уровень достоверности $P_{\chi^2}(\epsilon = 3 \text{ ГэВ/фм}) \approx 7\%$, тогда как $P_{\chi^2}(\epsilon = 1 \text{ ГэВ/фм}) \approx 0,01\%$.

длина фрагментации лидирующих кварков при $p_0 \approx 10$ ГэВ/с меньше среднего расстояния между нуклонами в ядре, т.е. $\epsilon \geq 3$ ГэВ/фм. Это значение заметно превышает оценку (5) для статической струны*, но согласуется со значением $\epsilon \approx 3$ ГэВ/фм, найденным при анализе данных по образованию пар адронов с большими p_T на ядрах и данных по адронному рождению J/ψ на ядрах (В.З.Копелиович, F.Niedermaier. Preprints JINR, E2-84-714 and E2-84-834, Dubna, 1984).

Далее в этой главе показано, что при длине формирования, меньшей среднего расстояния между нуклонами в ядре, $A_{eff} \approx \text{const}$, и отношения $R_A = \frac{1}{2} A_{eff}$ тоже должны быть постоянными (прямые пунктирные линии на рис.7), что не согласуется с данными. Заметен некоторый рост R_A с ростом x_F , который особенно

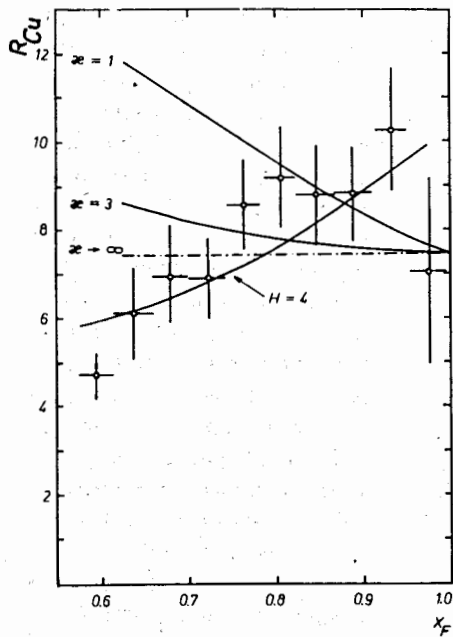


Рис. 8. Результаты расчетов для $R_{Cu}(x_F)$ с длиной формирования (4) при нескольких значениях коэффициента натяжения цветной струны α и по формуле (12) с фактором гало $H = 4$.

$$R_A(x_F) = \frac{H}{H+1} \left(1 - \frac{H-1}{HR_D(x_F)} \right) \cdot A_{eff} \quad (12)$$

Отсюда видно, что если $H > 1$, то $R_A(x_F)$ будет расти с ростом x_F ($A_{eff} = \text{const}$), поскольку измеренное нами отношение $R_D(x_F)$ быстро растет при $x_F \rightarrow 1$.

Аппроксимация экспериментальных данных для $R_{Li, Be, Cu}(x_F)$ с использованием формулы (12) и измеренного нами отношения $R_D(x_F)$ дает для фактора гало значение $H = 4,0 \pm 1,5$ ($\chi^2/\text{NDF} = 1,35$). Результат для R_{Cu} показан на рис. 8. Достигнутое согласие с данными представляется вполне удовлетворительным во всей захватываемой области по x_F .

В последнем параграфе главы отношение (8) выходов η -мезонов в K^+D - и π^+D -столкновениях (рис. 9), не измерявшееся до проведе-

Растущую зависимость $R_A(x_F)$ при $x_F > 0,5$ можно получить, если предположить существование в нейтроноизбыточных ядрах значительного превышения плотности нейтронов ρ_n над плотностью протонов ρ_p на периферии ядра. Их отношение на поверхности

$$H = \frac{\rho_n}{\rho_p} \quad (11)$$

называемое фактором нейтронного гало, по данным исследований столкновений адронов с ядрами при энергиях ≤ 1 ГэВ, может быть довольно большим: $H \approx 2-5$.

Сильное отличие значения степенного показателя $\alpha(x_F)$ в параметризации (9) от единицы указывает на то, что процесс $\pi^+A \rightarrow \eta X$ происходит в основном на нуклонах, расположенных на ядерной периферии. Тогда для $R_A(x_F)$ из (6), (7), (10) и (11) следует:

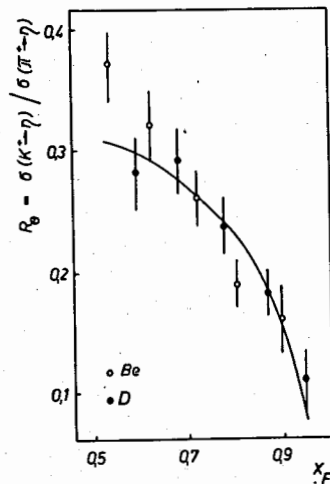


Рис. 9. Отношение инклюзивных дифференциальных сечений образования η -мезонов в пучках K^+ - и π^+ -мезонов. Темные точки - наши данные. Светлые точки - данные работы Акименко С.А. и др. ЯФ, 1984, т. 39, с. 649 при той же энергии. Кривая - расчет по модели "слияния" кварков при $r^2 = 0,35$.

ния настоящего эксперимента, анализируется с привлечением кварк-партоновой модели "слияния" кварков. В этой модели оно может быть представлено в виде

$$R_\theta(x_F) = \frac{Q^K(x_F) + r^2 S^K(x_F)}{Q^\pi(x_F) + r^2 S^\pi(x_F)},$$

$$r^2 = 2 \frac{\alpha^2}{\beta^2} \frac{g_{S\bar{S}}^2}{g_{q\bar{q}}^2} \quad (13)$$

Здесь $g_{S\bar{S}}$ и $g_{q\bar{q}}$ - константы "слияния" обычных и странных кварков в η -мезон, $Q^{\pi, K}$ и $S^{\pi, K}$ содержат комбинации из структурных функций нуклонов, пионов и каонов, а также параметр $\lambda_S = 0,43$ подавления "моря" странных кварков. α и β определяют соотношение странных и обычных кварков в η -мезоне:

$$|\eta\rangle = (\beta/\sqrt{2}) (|u\bar{u}\rangle + |d\bar{d}\rangle) - \alpha |s\bar{s}\rangle$$

$$\alpha^2 + \beta^2 = 1, \text{ и, соответственно, угол } \theta \text{ синглет-октетного смешивания в нонете псевдоскалярных мезонов:}$$

$$\text{tg } \theta = (\alpha - \beta\sqrt{2}) / (\beta + \alpha\sqrt{2}).$$

Удовлетворительное описание экспериментальных данных (рис. 9) с помощью соотношения (13) достигается при $r^2 = 0,35 \pm 0,08$. Далее, пред-

положение $g_{S\bar{S}} = g_{q\bar{q}}$ приводит к значениям $\alpha = 0,38 \pm 0,04$ и, соответственно, $\theta = (-32 \pm 3)^\circ$, сильно отличающимся от других экспериментальных оценок этих величин ($\alpha \approx 0,60$, $\theta \approx -18^\circ$). Согласно с последними наступает при условии

$$g_{q\bar{q}}/g_{S\bar{S}} = 1,8 \pm 0,2 \quad (14)$$

Полученная нами оценка (14) отношения констант "слияния" обычных и странных кварков согласуется со значением $g_{q\bar{q}}/g_{S\bar{S}} \approx 1,4$, следующим из сравнения ширин распадов $\phi \rightarrow K^+K^-$ и $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-$.

В заключении приводятся основные результаты, полученные в диссертации:

1. Создан 76-канальный черенковский электромагнитный калориметр годоскопической структуры из свинцового стекла. Калориметр включает годоскоп черенковских счетчиков полного поглощения с размерами радиаторов $10 \times 10 \times 35$ см и активный конвертер толщиной 2,4 радиационной длины. Разработаны и экспериментально обоснованы эффективные алгоритмы обработки данных с калориметра, учитывающие значительные размеры ячейки (10×10 см) и конструктивные особенности детектора. Их применение обеспечило достижение высоких энергетического ($b_{\Delta}/E \approx 0,08/\sqrt{E(\text{ГэВ})}$) и пространственного ($\Delta x \approx 10$ мм) разрешений в области энергий 3-5 ГэВ.

2. Пространственное разрешение прибора можно существенно улучшить, если за активным конвертером расположить специальный координатный детектор для точной локализации оси электромагнитного линня. Разработаны программы и исследованы методы обработки информации с широкозазорной дрейфовой камеры, используемой в качестве такого детектора. Экспериментально установлено, что наилучшее пространственное разрешение $b_x \approx 2$ мм, рекордное в области энергии 3-5 ГэВ, достигается одним из разработанных методов - методом "взвешенного максимума".

3. Разработан усовершенствованный вариант известного метода калибровки элементов годоскопического калориметра по регистрируемым распадам π^0 - и η -мезонов на два гамма-кванта. Его применение позволило не прибегать к длительному способу калибровки в монохроматическом пучке электронов.

4. С использованием созданной аппаратуры проведен набор статистики для изучения инклюзивного образования η -мезонов в адрон-адронных и адрон-ядерных взаимодействиях при импульсе 10,5 ГэВ/с в области фрагментации пучка. При этом на магнитные ленты записано 1,7 млн. событий.

5. Создан комплекс программ, обеспечивающий все этапы обработки записанных на магнитные ленты событий - от геометрической реконструкции до получения соответствующих дифференциальных сечений. Его основу составили специально разработанные программные модули, характеризующиеся быстротой и удобством в обращении.

6. Впервые измерены относительные выходы η -мезонов с дейтериевой мишени в π^+ - и K^+ -пучках:

$$R_{\theta}(x_F) = \frac{d\delta}{dx_F}(K^+D \rightarrow \eta X) / \frac{d\delta}{dx_F}(\pi^+D \rightarrow \eta X).$$

Из интерпретации зависимости $R_{\theta}(x_F)$ в партонной модели "слияния" кварков получена оценка отношения констант "слияния" обычных и стран-

ных кварков, $g_{q\bar{q}}/g_{s\bar{s}} = 1,8 \pm 0,2$, согласующаяся со значением этого отношения, следующего из сравнения ширины распадов легких мезонов.

7. Измерена x_F -зависимость относительных выходов η -мезонов во взаимодействиях π^+ -мезонов с протонами, дейтонами и ядрами в области фрагментации пучка:

$$R_D(x_F) = \frac{d\delta}{dx_F}(\pi^+D \rightarrow \eta X) / \frac{d\delta}{dx_F}(\pi^+p \rightarrow \eta X),$$

$$R_A(x_F) = \frac{d\delta}{dx_F}(\pi^+A \rightarrow \eta X) / \frac{d\delta}{dx_F}(\pi^+D \rightarrow \eta X), \quad A - \text{Li, Be, Al, Cu}.$$

Данные для величин $R_D(x_F)$ и $R_A(x_F)$ получены впервые. Установлено, что имеет место зависимость $\frac{d\delta}{dx_F}(\pi^+A \rightarrow \eta X) \sim A^{\alpha(x_F)}$, причем параметр $\alpha(x_F)$, измеренный в 9 интервалах в области $0,57 \leq x_F < 1$, приблизительно постоянен; его среднее значение составляет $\langle \alpha \rangle_{x_F} = 0,50 \pm 0,02$.

8. На основе анализа зависимости $R_{Cu}(x_F)$ в модели цветных струн установлено, что длина фрагментации лидирующих кварков ($x_F > 0,5$) при импульсе налетающих частиц $p_0 \approx 10$ ГэВ/с меньше среднего междуклонного расстояния в ядре меди (≈ 2 фм), и получено ограничение на величину коэффициента натяжения цветной триплетной струны, $\kappa \geq 3$ ГэВ/фм, являющееся одной из трех первых оценок этой величины, извлеченных из результатов независимых экспериментов и согласующихся между собой.

9. Совместный анализ данных для $R_D(x_F)$ и $R_A(x_F)$ указывает на возможное существование значительной "нейтронной периферии" в нейтронизбыточных ядрах Li, Be, Cu с фактором "гало" $N = 4,0 \pm 1,5$. До сих пор подобные указания получались лишь из изучения столкновений адронов с ядрами при энергиях $\lesssim 1$ ГэВ.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бцадзе Г.С., ..., Ценов Р.В. и др. Характеристики годоскопического электромагнитного калориметра с апертурой 2 м^2 . - Дубна, 1986. - 12 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: I3-86-105).
2. Budagov Yu.A., ..., Tsenov R.V. Measurement of electromagnetic shower position with an electrodeless drift chamber. - Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., 1985, v. A238, p. 74-78.
3. Бцадзе Г.С., ..., Ценов Р.В. и др. Улучшение точности определения координат электромагнитных линней с помощью широкозазорной дрейфовой камеры. - Дубна, 1985. - 11 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: Д13-85-694).

4. Малюков С.Н., ..., Ценов Р.В. и др. Обработка данных в экспериментах с использованием ливневого годоскопического детектора с размером ячейки $10 \times 10 \text{ см}^2$ установки "Гиперон". - Дубна, 1986. - 10 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн. исслед.: П10-86-138).
5. Bitsadze G.S., ..., Tsenov R.V. et al. A dependence of η -meson inclusive production at 10,5 GeV/c. - Dubna, 1986. - 14 p. (Preprint/Joint Institute of Nucl.Res.: E1-86-129).
6. Акименко С.А., ..., Ценов Р.В. и др. Относительные выходы η -мезонов, образованных пионами и каонами с энергией 10 ГэВ. - ЯФ, 1986, т.43, с.615-618.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 июля 1986 года.