

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

p-865

1-80-842

РУМЯНЦЕВ
Виктор Семенович

ИССЛЕДОВАНИЕ
ИНКЛЮЗИВНЫХ $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \gamma + X$ И
ПОЛУИНКЛЮЗИВНЫХ $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \gamma + n_{ch} + X$ РЕАКЦИЙ
ПРИ 5 ГэВ/с

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1980

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований и в Институте физики АН БССР.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук старший научный сотрудник БУДАГОВ Клиан Арамович.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук профессор ГРИШИН Валентин Григорьевич (ЛВЭ ОИЯИ), кандидат физико-математических наук младший научный сотрудник ТОЛСТЕНКОВ Анатолий Николаевич (ИФВЭ, г.Серпухов).

Ведущая организация: Московский инженерно-физический институт.

Защита состоится " " _____ 198 г. в " " час. на заседании Специализированного совета Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, г.Дубна, Московской обл., ЛЯП ОИЯИ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Автореферат разослан " " _____ 198 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета

БАТУСОВ
Юрий Александрович

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность проблемы. Процессы множественного образования частиц играют доминирующую роль в адрон-адронных взаимодействиях при высоких энергиях. Одним из наиболее плодотворных методов извлечения информации о динамике этих процессов является инклюзивный подход. В результате интенсивного теоретического и экспериментального исследования инклюзивных реакций был установлен ряд закономерностей, присущих процессам множественного образования частиц. Однако в этих исследованиях основным источником экспериментальной информации служили данные об инклюзивных реакциях с заряженными частицами.

Ко времени начала работ по теме диссертации инклюзивные реакции с образованием λ -квантов (от распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$) и π^0 -мезонов в пион-протонных взаимодействиях представляли собой весьма малоизученную область физики высоких энергий. Для реакций этого типа оставались невыясненными характер энергетической зависимости дифференциального сечения в различных кинематических областях; границы применимости частотной инвариантности; вопрос о возможном проявлении закономерностей, обнаруженных ранее в инклюзивных реакциях с заряженными частицами и т.п.

Актуальность изучения указанных вопросов определяется двумя факторами: во-первых, тем, что в пион-протонных взаимодействиях нейтральные пионы составляют примерно одну треть полного числа вторичных частиц и уносят более 20% полной энергии сталкивающихся адронов. Во-вторых, тем, что данные о процессах образования π^0 -мезонов содержат важную информацию, необходимую для понимания изоспиновой структуры механизма множественной генерации частиц.

Работы, проведенные по теме диссертации, являются частью программы систематического исследования процессов взаимодействия π^+ -мезонов с нуклонами и ядрами при энергии 5 ГэВ, выполняемой с помощью 200-литровой пропановой пузырьковой камеры (ТК 200) Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Исследования проводятся под общим научным руководством члена-корреспондента АН СССР профессора В.П.Джелепова.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

Цель работы заключалась в экспериментальном исследовании процессов образования γ -квантов и Π^0 -мезонов в инклюзивных

$$\bar{\pi}^- p \rightarrow \gamma + X, \quad (1)$$

$$\bar{\pi}^- p \rightarrow \bar{\pi}^0 + X \quad (2)$$

и полунклюзивных

$$\bar{\pi}^- p \rightarrow \gamma + n_{ch} + X, \quad (3)$$

$$\bar{\pi}^- p \rightarrow \bar{\pi}^0 + n_{ch} + X \quad (4)$$

реакциях при энергии 5 ГэВ. Главное внимание уделялось анализу энергетической зависимости дифференциальных сечений реакций (1) и (2) в различных кинематических областях и проверке в реакциях (3) и (4) ряда закономерностей, обнаруженных ранее в полунклюзивных реакциях с выделенной заряженной частицей.

Экспериментальные данные о реакциях (1)–(4) основаны на результатах обработки событий, отобранных в ходе просмотра 230000 стереофотографий, полученных с помощью ПК 200. В массив суммарных результатов включено 5587 событий реакции (1) с 7940 γ -квантами, что представляло собой наиболее полную статистику среди экспериментов, выполненных на пузырьковых камерах.

Научная новизна и значимость работы. Высокая статистическая обеспеченность данных в сочетании с преимуществами 4П-детектора, которым является пузырьковая камера, позволили получить новые, неизвестные ранее сведения о реакциях (1)–(4).

Так, например, для реакции (1) были получены первые данные о "двумерном" дифференциальном сечении $(E^*/\pi p_{\max}^*) d^2\sigma/dx dp_{\perp}^2$, зависящем одновременно от двух кинематических переменных — x и p_{\perp} , и оценена зависимость этого сечения от энергии.

Впервые для реакций с образованием γ -квантов и Π^0 -мезонов (реакции (3) и (4)) обнаружены закономерности, предсказываемые гипотезой "скейлинга в среднем" для спектров по продольным и поперечным компонентам импульсов. Тем самым были расширены границы применимости "скейлинга в среднем" как по диапазону энергий (5–300 ГэВ), так и по типу реакций.

Полученные нами сведения о параметрах распределения по множественности заряженных частиц, ассоциированных с Π^0 -мезоном (реакция (4)), ранее были известны лишь для pp -взаимодействий при энергиях ISR.

Выведено новое интегральное уравнение, связывающее "двумерные"

распределения $d^2\sigma/dE dp_{\perp}$ для нестабильных частиц и продуктов их изотропного распада на пару массивных частиц. Известные ранее уравнения (для "одномерных" распределений $d\sigma/dE$, $d\sigma/dp_{\perp}$) и приближенные формулы (для "двумерных" распределений), которые широко используются для восстановления спектров Π^0 -мезонов из данных о спектрах γ -квантов, являются частным случаем полученного уравнения.

Впервые оценена скорость роста сечения выхода Π^0 -мезонов в центральной области при увеличении энергии с 5 до 1500 ГэВ (использованы данные о Pp - и pp -взаимодействиях).

Практическая ценность работы. Применение полученного интегрального уравнения для восстановления "двумерного" дифференциального сечения образования Π^0 -мезонов из аналогичного сечения для γ -квантов позволяет освободиться от недостатков, присущих используемой в настоящее время приближенной формуле. Эта формула справедлива только для высокоэнергетических областей спектра γ -квантов и Π^0 -мезонов.

Разработанные в диссертации приемы восстановления "одномерных" распределений Π^0 -мезонов получили распространение и в других экспериментах. Так, формулы, приведенные в третьей главе диссертации, были использованы при исследовании закономерностей "скейлинга в среднем" в спектрах Π^0 -мезонов, образующихся в реакции $\bar{p}p \rightarrow \bar{\pi}^0 + X$ при 22,4 ГэВ.

Экспериментальные данные о реакциях (1) и (2) получены в не исследованной ранее области энергий и имеют высокую статистическую обеспеченность. Благодаря этому, они вносят существенный вклад в объем накопленной ранее информации о процессах образования γ -квантов и Π^0 -мезонов в инклюзивных реакциях.

Апробация работы. Исследования, положенные в основу диссертации, проведены автором в 1973–1980 годах совместно с сотрудниками ЛЯП ОИЯИ, Института физики АН БССР и других научных центров, принимавших участие в проведении экспериментов на ПК 200. Основные результаты диссертации докладывались на семинарах ЛЯП ОИЯИ, Института физики АН БССР, на заседаниях Камерного комитета и сессиях Ученого совета по физике высоких энергий ОИЯИ; представлялись на международных конференциях по физике высоких энергий в Палермо (1975 г.), в Тбилиси (1976 г.), в Будапеште (1977 г.), в Токио (1978 г.), в Мадисоне (1980 г.) и опубликованы в журналах "Ядерная физика" и ЭЧАЯ, в препринтах и сообщениях ОИЯИ /1–8/.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения; содержит 130 страниц машинописного текста, включая 27 рисунков и 8 таблиц. В список литературы включено 135 наименований.

II. СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении отмечена плодотворная роль инклюзивного подхода в исследовании процессов множественного образования частиц. Приведены переменные и распределения, используемые для описания инклюзивных реакций.

В рамках гипотез скейлинга и предельной фрагментации рассмотрены асимптотические свойства дифференциальных сечений инклюзивных реакций. Кратко изложены основные положения мюллер-реджевского подхода, мультипериферической и кварк-партонной моделей. Рассмотрены предсказываемые ими свойства множественных процессов.

Приведен краткий обзор результатов экспериментального изучения инклюзивных реакций, полученных до начала работ по теме диссертации. Обоснована актуальность исследования процессов образования Y -квантов и P^0 -мезонов в адрон-адронных взаимодействиях.

Сформулированы цели диссертационной работы. Обсуждены научная новизна и практическая ценность полученных результатов. Приведены основные положения, выносимые на защиту. Кратко изложено содержание диссертации.

Первая глава посвящена методике проведения эксперимента. Кратко описана ПК 200 ЛЯП ОИЯИ в магнитном поле с напряженностью 17000 Гс, облученная в пучке P^- -мезонов с импульсом 5 ГэВ/с синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Описана система обработки и критерии отбора событий, принадлежащих реакции (I). Окончательная статистика состояла из 5587 P^- -взаимодействий с 7940 Y -квантами, зарегистрированными в камере по e^+e^- -парам конверсии. Средняя эффективность регистрации Y -квантов составляет 16%.

Геометрическая реконструкция событий производилась по программе "I-6" на ЭВМ БЭСМ-4. Средние погрешности измерения импульса p , азимутального φ и глубинного λ углов вторичных частиц составляют $\langle \Delta p/p \rangle \approx 10\%$, $\langle \Delta \varphi \rangle = 0,33^\circ$ и $\langle \Delta \lambda \rangle = 0,66^\circ$.

Результаты определения масс P^0 -мезона, K_S^0 - и Λ^0 -частиц из анализа распределений по эффективным массам их продуктов распада свидетельствуют об отсутствии систематических ошибок в определении кинематических параметров Y -квантов и заряженных частиц.

На начальной стадии описываемых исследований решено несколько самостоятельных методических задач. Первая из них заключалась в просмотре 10000 стереофотографий и обработке отобранных событий с целью накопления экспериментальных данных о P^- -взаимодействиях с

одним зарегистрированным Y -квантом; в создании массива суммарных результатов (MCP), содержащего физические характеристики отдельных событий реакции (I). События с двумя и тремя Y -квантами были отобраны с 230000 стереофотографий.

Две другие задачи состояли в исправлении наблюдаемого в MCP искажения пропорции между числами событий различной топологии и в определении полного инклюзивного сечения σ_{incl} реакции (I) в условиях отсутствия информации о количестве P^- -взаимодействий, не сопровождающихся образованием Y -квантов.

Для решения этих задач проанализирован большой объем информации о сечениях P^- -взаимодействий при 5 ГэВ. В общей сложности были собраны данные о сечениях 110 каналов реакции. В результате анализа этих данных был получен практически полный набор парциальных сечений P^- -взаимодействий.

На основе этого набора сечений были вычислены "веса событий", позволившие перенормировать содержащиеся в MCP данные к пропорции, соответствующей топологическим и парциальным сечениям P^- -взаимодействий при 5 ГэВ.

Этот же набор сечений был использован для вычисления $\sigma_{incl} = 61,4 \pm 2,1$ мб и средней множественности Y -квантов $\langle n_Y \rangle = 2,58 \pm 0,07$ в реакции $P^- \rightarrow Y + X$ при 5 ГэВ.

Приведены оценки содержащейся в MCP примеси событий от фоновых реакций. В частности, показано, что искажение формы инклюзивных распределений, обусловленное примесью взаимодействий на квазисвободном протоне ядра углерода, оказывается весьма незначительным.

Вторая глава посвящена изучению энергетической зависимости дифференциального сечения и интегральных характеристик одночастичных инклюзивных реакций $P^- \rightarrow Y + X$ и $P^- \rightarrow P^0 + X$.

В результате анализа данных о средней множественности P^0 -мезонов $\langle n_{P^0} \rangle$ в P^- -взаимодействиях в интервале энергий 5-205 ГэВ показано, что значения $\langle n_{P^0} \rangle$ с ростом энергии увеличиваются. По сравнению со средней множественностью заряженных частиц $\langle n_{ch} \rangle$ возрастание $\langle n_{P^0} \rangle$ происходит более медленно: величина отношения $\langle n_{ch} \rangle / \langle n_{P^0} \rangle$ в интервале 5-205 ГэВ составляет примерно 2,2. Имеющиеся данные не позволяют провести различие между степенным и логарифмическим ростом $\langle n_{P^0} \rangle$.

Величина парциального коэффициента неупругости α_{P^0} (доля полной энергии, уносимая P^0 -мезонами) при 5 ГэВ составляет $0,23 \pm 0,01$ и с ростом энергии возрастает весьма незначительно, достигая при 40 ГэВ величины $0,25 \pm 0,01$.

На рис. I представлены инвариантные распределения по p_{\perp}^2 для Y -квантов, образующихся в P^- -, P^+ - и pp -взаимодействиях при энергии

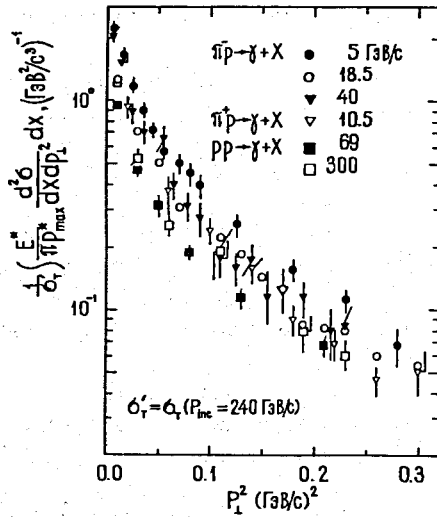


Рис. I

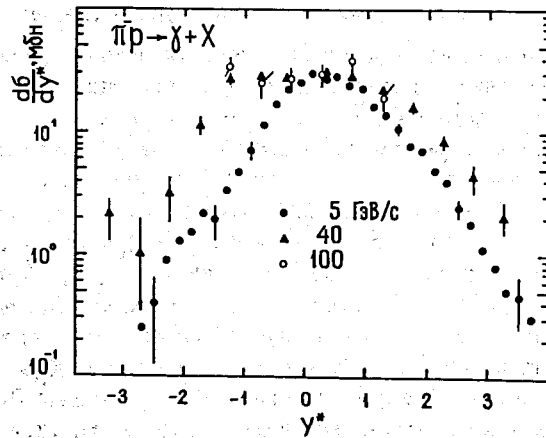


Рис. 2

5–300 ГэВ. Данные каждого типа взаимодействий нормированы на соответствующие полные сечения при энергии 240 ГэВ. Аппроксимация этих распределений зависимостью $(A/p_1) \exp(-p_1^2/B)$ в области $0,01 \leq p_1^2 \leq 0,30$ (ГэВ/с)² показала, что в пределах 2-кратных погрешностей значения параметра B не зависят от энергии. Этот факт свидетельствует о факторизации исследуемого распределения $F_2(s, p_1^2)$ по переменным s и p_1^2 и независимости его формы от энергии.

Для изучения формы сечения выхода γ -квантов в центральной области, его зависимости от энергии и типа частиц пучка рассмотрены дифференциальные сечения $d\sigma/dy^*$, где y^* – продольная быстрота в с.и.м. Экспериментальные данные о реакции (I) при энергиях 5, 40 и 100 ГэВ представлены на рис.2. При 5 ГэВ сечение $d\sigma/dy^*$ в области $0 \leq y^* \leq 0,6$ достигает максимума и в пределах погрешностей совпадает с сечениями при 40 и 100 ГэВ. Область максимальных значений $d\sigma/dy^*$ с ростом энергии расширяется.

На рис.3 приведены дифференциальные сечения $(1/\sigma_T') d\sigma/dy^*$ для Π^-p , Π^+p и pp -взаимодействий. Сечение σ_T' имеет тот же смысл, что и на рис.1. Из данных рис.3 можно сделать вывод, что в интервале энергий 5–205 ГэВ сечение реакции (I) $(1/\sigma_T') d\sigma/dy^*$ в области ($0 \leq y^* \leq 0,3$) утрачивает зависимость от энергии и от типа частиц пучка.

На основе анализа данных, приведенных на рис.4 (дифференциальные сечения $(1/\sigma_T') (E^* d^2 \sigma / (d p_{||}^* d p_1^2)) d p_1^2$ при $p_{||}^* = 0$ для γ -квантов в интервале энергий 5–1500 ГэВ), оценена скорость роста сечения выхода Π^0 -мезонов в центральной области: в интервале 5–1500 ГэВ возрастание этого сечения не превышает 15%. Такой режим энергетической зависимости свидетельствует о существенном вкладе механизмов, характерных для реакций с сильным эффектом лидирующей частицы.

Для проверки гипотезы предельной фрагментации рассмотрены сечения реакции (I) $E d\sigma/dp_{||}$ в лабораторной и антилабораторной системах при 5 и 40 ГэВ. Показано, что сечение $E d\sigma/dp_{||}$ в областях фрагментации пучка и мишени согласуется с гипотезой предельной фрагментации в интервале энергий 5–40 ГэВ.

На рис.5 представлены первые данные о дифференциальном сечении реакции (I) $E d^3 \sigma / d^3 p$, зависящем одновременно от двух кинематических переменных: $\chi = p_{||}^* / p_{max}^*$ и p_1^2 . Шпильками нанесены значения аппроксимирующей функции

$$f(a_i, \chi, p_1) = a_1 \exp(-B|\chi| - a_4 p_1),$$

$$B = a_2 \exp(-a_3 p_1^2),$$

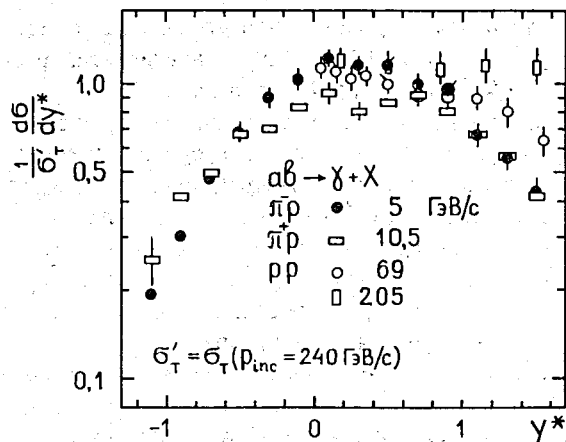


Рис.3

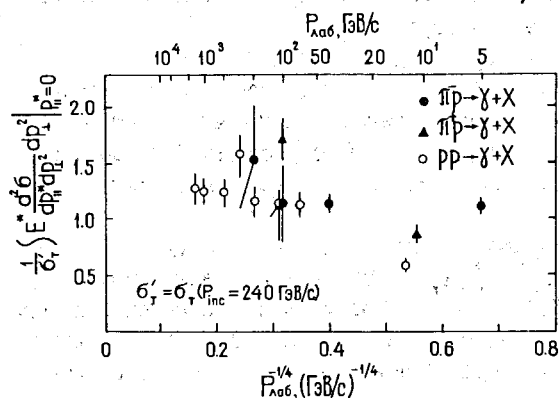


Рис.4

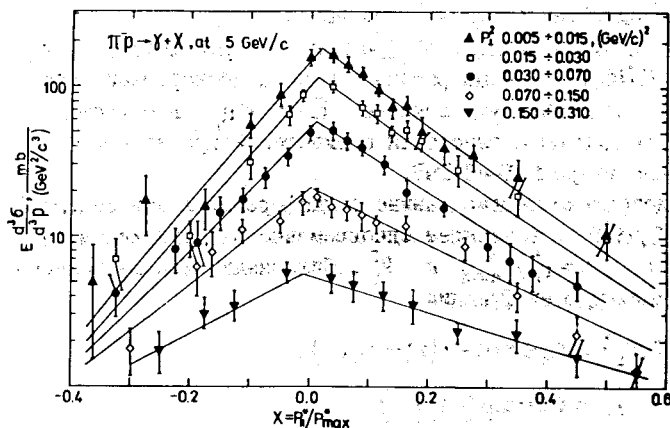


Рис.5

где α_i – свободные параметры. Значения этих параметров были получены путем подгонки функции $f(\alpha_i, X, p_{\perp})$ к экспериментальным данным методом наименьших квадратов.

Предложенная форма зависимости параметра наклона B от p_{\perp} обеспечивает уменьшение B с ростом p_{\perp} и положительность B при любых значениях p_{\perp} . Найденная функция $f(\alpha_i, X, p_{\perp})$ позволила представить исчерпывающую информацию об исследуемой инклюзивной реакции в наиболее удобной (аналитической) форме.

Для проверки гипотезы фейнмановского скейлинга в строгом соответствии с ее формулировкой необходимо определить зависимость структурной функции $f(s, X, p_{\perp})$ от s при фиксированных X и p_{\perp} . Данные о значениях $f(s, X, p_{\perp})$ для реакции (I) при более высоких энергиях отсутствовали. В этих условиях мы показали, что для оценки отношения между значениями $f(s, X, p_{\perp})$ при разных s достаточно иметь данные о параметрах наклона B и о значениях распределений $F_2(s, p_{\perp}^2)$.

Приведем здесь окончательные результаты такой оценки, полученной на основе данных о реакции (I) при 5 и 40 ГэВ:

– в области $p_{\perp} \leq 0,15$ ГэВ/с, где $B_{40} \geq B_5$, функции $f(s, X, p_{\perp})$ должны совпадать при некоторых значениях $|X| \neq 0$. Для $|X| \approx 0$ значение $f(s, X, p_{\perp})$ при 40 ГэВ должно быть больше, чем при 5 ГэВ;

– в области $p_{\perp} \approx 0,20$ ГэВ/с, где $B_{40} \approx B_5$, функции $f(s, X, p_{\perp})$ при 5 и 40 ГэВ должны совпадать при всех значениях X . Здесь индексами 5 и 40 обозначены величины параметров наклона при соответствующих энергиях.

В третьей главе исследовано возможное проявление в полунинклюзивных реакциях (3) и (4) закономерностей "скейлинга в среднем"; рассмотрена связь между асимметрией спектров $d\sigma/dp_{\perp}^*$ и кварковой структурой сталкивающихся адронов; изучена зависимость параметров распределения по ассоциативной множественности в реакции (4) от кинематических характеристик P^0 -мезона.

Согласно гипотезе "скейлинга в среднем" одночастичные инклюзивные распределения $(1/6) d\sigma/d(p_{\perp}/\langle p_{\perp} \rangle)$ и $(1/6) d\sigma/d(p_{\perp}/\langle p_{\perp} \rangle)$ при $s \rightarrow \infty$ в реакциях множественного образования частиц не должны зависеть от начальной энергии, от множественности вторичных частиц, а также от типа сталкивающихся частиц. Здесь и ниже p_{\perp} – продольная компонента импульса в с.ц.м., а $\langle p_{\perp} \rangle$ и $\langle p_{\perp} \rangle$ – средние значения p_{\perp} и p_{\perp} .

На рис.6 представлены экспериментальные распределения $(1/6) d\sigma/d(p_{\perp}/\langle p_{\perp} \rangle)$ для событий заданной топологии из реакции

(3) в передней полусфере ($p_{||} > 0$). Плотная группировка точек относительно некоторой общей кривой свидетельствует о независимости (в пределах погрешностей) исследуемых распределений для γ -квантов от множественности заряженных частиц. Для распределений по $p_{||} / \langle p_{||} \rangle$ в задней полусфере ($p_{||} < 0$) наблюдались аналогичные свойства.

Соответствующие данные при других энергиях, необходимые для проверки энергетической зависимости распределений по $p_{||} / \langle p_{||} \rangle$, отсутствуют. Это затруднение было разрешено следующим образом. Во-первых, на основе анализа интегральных уравнений Г.И.Копылова, предварительно преобразованных для описания спектров γ -квантов и Π^0 -мезонов в представлении переменных "скейлинга в среднем", было показано, что независимость от энергии распределений по $p_{||} / \langle p_{||} \rangle$ и $p_{\perp} / \langle p_{\perp} \rangle$ для Π^0 -мезонов приводит к независимости от энергии аналогичных распределений для γ -квантов.

Во-вторых, распределения $(1/6) d\delta/d(p_{||} / \langle p_{||} \rangle)$ для Π^0 -мезонов из реакции (4) были восстановлены (с помощью соответственно преобразованного интегрального уравнения) из данных о распределениях для γ -квантов в реакции (3). Восстановленные распределения в пределах погрешностей совпали с распределениями $(1/6) d\delta/d(p_{||} / \langle p_{||} \rangle)$ для Π^0 -мезонов из pp -взаимодействий при 13-300 ГэВ. Это совпадение в силу приведенных выше утверждений свидетельствовало о независимости от энергии распределений по $p_{||} / \langle p_{||} \rangle$ как для Π^0 -мезонов, так и для γ -квантов.

Из данных, приведенных на рис.7, видно, что распределения $(1/6) d\delta/d(p_{\perp} / \langle p_{\perp} \rangle)$ для γ -квантов из реакции (3) в пределах погрешностей не зависят от множественности заряженных частиц. На основе анализа энергетической зависимости распределений по $p_{\perp} / \langle p_{\perp} \rangle$ было показано, что распределения $(1/6) d\delta/d(p_{\perp} / \langle p_{\perp} \rangle)$ для Π^0 -мезонов и γ -квантов не зависят также и от энергии в интервале 5-300 ГэВ.

При столкновении частиц неодинаковой массы спектр продольных импульсов вторичных частиц в с.ц.м. $d\delta/dp_{||}^*$ асимметричен относительно точки $p_{||}^* = 0$. Асимметрия заключается в том, что параметр наклона $B = |\partial \ln(d\delta/dp_{||}^*) / \partial p_{||}^*|$ в задней полусфере ($p_{||}^* < 0$) больше, чем в передней ($p_{||}^* > 0$).

Согласно аддитивной кварковой модели адронов существует система отсчета, движущаяся вдоль направления импульса первичной частицы, в которой симметрия восстанавливается. В этой системе отсчета параметр $R = -p_T / p_p$, где p_T (p_p) - импульс частицы мишени (налетающей частицы), например, в случае Pr - и Kp -взаимодействий принимает значение 1,5. Из данных о спектрах заряженных пионов в Pr -взаимо-

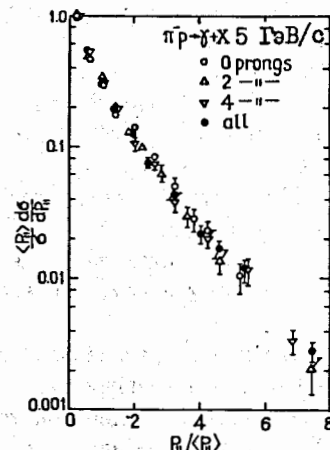


Рис.6

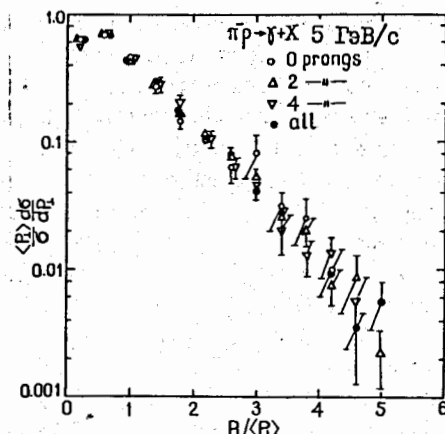


Рис.7

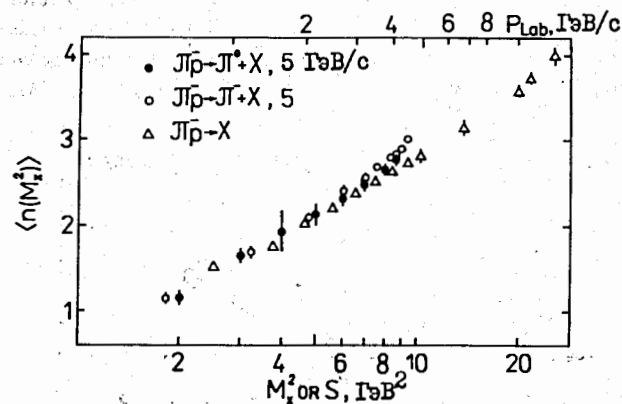


Рис.8

действиях в интервале 5-60 ГэВ для $R_{\text{симм}}$, обеспечивающего симметрию спектра $d\delta/dp_{||}^*$, получено значение 1,75.

Система отсчета, в которой спектр $d\delta/dp_{||}^*$ для γ -квантов из реакции (1) становится симметричным, характеризуется значением $R_{\text{симм}} = 1,77 \pm 0,18$, согласующимся с величиной $R_{\text{симм}}$, полученной для спектров заряженных пионов. Как известно, симметричный спектр

$d\delta/dp_{\parallel}^*$ для γ -квантов порождается симметричным спектром Π^0 -мезонов. Эти факты свидетельствуют о совпадении систем отсчета, в которых спектры $d\delta/dp_{\parallel}^*$ для Π^0 - и Π^{\pm} -мезонов симметричны и согласуются с предсказаниями аддитивной кварковой модели.

Распределения $d\delta_n/dM_x^2$ для реакции (4) с заданной множественностью заряженных частиц n (M_x^2 - квадрат недостающей массы к Π^0 -мезону), использованные при вычислении распределений по ассоциативной множественности $\langle n \rangle$ $P_n(M_x^2)$, были восстановлены из аналогичных распределений γ -квантов в реакции (3). Метод восстановления основан на упоминавшихся выше интегральных уравнениях Г.И. Копылова. Напомним, что экспериментальные данные о распределениях по множественности заряженных частиц, ассоциированных с Π^0 -мезоном, ранее были получены только при энергиях ISR.

На рис.8 приведены экспериментальные данные о средней ассоциативной множественности $\langle n(M_x^2) \rangle$ в реакции (4) и реакции $\pi^+p \rightarrow \pi^+ + (n-1) + X$ при 5 ГэВ, а также данные о средней множественности заряженных частиц $\langle n(s) \rangle$ в π^+ -взаимодействиях. Значения $\langle n(M_x^2) \rangle$ для реакции (4) совпадают в пределах погрешностей со значениями $\langle n(s) \rangle$ в интервале ($2 \leq s \leq 9$) ГэВ² и со средней множественностью, ассоциированной с Π^0 -мезоном. Наши данные хорошо согласуются с зависимостью $\langle n(M_x^2) \rangle = a + b \ln M_x^2$, предсказываемой моделями мультипериферического типа ($\chi^2/\text{число точек} = 1,6/8$).

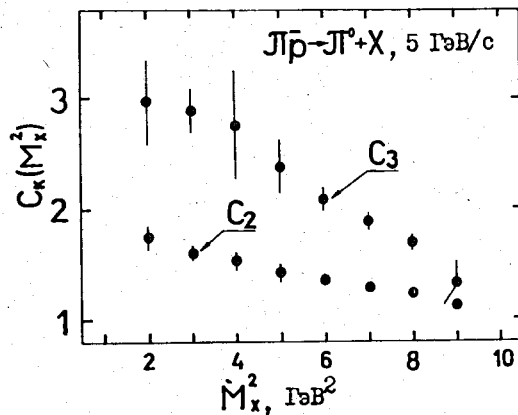


Рис.9

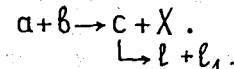
* Здесь и ниже в распределениях $P_n(M_x^2)$ и их параметрах зависимость от S ради простоты не указывается.

Корреляции по множественности между ассоциированными заряженными частицами в реакции (4) были рассмотрены с помощью корреляционного интеграла $f_2^{cc} = \langle n(n-1) \rangle - \langle n \rangle^2$. Показано, что зависимость f_2^{cc} от M_x^2 определяется в основном пороговыми эффектами и законами сохранения энергии-импульса.

Для изучения вопроса о возможном проявлении закономерностей КНО-скейлинга в распределении $P_n(M_x^2)$ для реакции (4) анализировалась зависимость нормированных моментов $C_k(M_x^2) = \langle n(M_x^2)^k \rangle / \langle n(M_x^2) \rangle^k$ от M_x^2 . Монотонное уменьшение $C_2(M_x^2)$ и $C_3(M_x^2)$ с ростом M_x^2 (см. рис.9) свидетельствует о невыполнении КНО-скейлинга в распределении $P_n(M_x^2)$.

В четвертой главе представлен вывод интегрального уравнения, которое связывает "двумерное" дифференциальное сечение образования нестабильных частиц $d^2\delta/dE dp_{\parallel}$ с таким же сечением для продуктов их изотропного распада на пару массивных частиц.

Интегральное уравнение получено на основе стандартного интеграла состояний S_3 для системы из трех частиц, образующихся в реакции



Последующие преобразования S_3 проведены в предположении, что частицы a и b не поляризованы, распад $c \rightarrow \ell + \ell_1$ происходит изотропно и регистрируются только частицы типа ℓ .

Пусть M, E, p_{\parallel} обозначают массу, энергию и продольную компоненту импульса частицы c ; а m, ω, k_{\parallel} - аналогичные характеристики частицы ℓ . Частица ℓ_1 имеет массу m_1 . В этих обозначениях полученное интегральное уравнение имеет вид

$$\frac{1}{\delta} \frac{d^2\delta}{d\omega dk_{\parallel}} = \frac{M}{2\pi k^*} \int_{E_-}^{E_+} dE \int_{p_-}^{p_+} dp_{\parallel} \frac{1}{\sqrt{(E^2 - M^2 - p_{\parallel}^2)(\omega^2 - m^2 - k_{\parallel}^2) - R^2}} \frac{1}{\delta} \frac{d^2\delta}{dE dp_{\parallel}}, \quad (5)$$

$$R = E\omega - p_{\parallel}k_{\parallel} - (M^2 + m^2 - m_1^2)/2,$$

$$E_{\pm} = \frac{M}{m^2} (\omega \sqrt{k^*{}^2 + m^2} \pm k^* \sqrt{\omega^2 - m^2}),$$

$$p_{\pm} = \frac{\sqrt{E^2 - M^2}}{\omega^2 - m^2} (k_{\parallel} k'_{\parallel} \pm \sqrt{\omega^2 - m^2 - k_{\parallel}^2} \sqrt{\omega^2 - m^2 - k'_{\parallel}{}^2}),$$

где $k^* = (1/2M) \sqrt{M^2 - (m+m_1)^2} \sqrt{M^2 - (m-m_1)^2}$ - импульс частицы ℓ в системе покоя частицы c ; $k'_{\parallel} = (1/\sqrt{E^2 - M^2}) [E\omega - (M^2 + m^2 - m_1^2)/2]$ - проекция импульса частицы ℓ на импульс частицы c .

Распределение по E и $p_{||}$ простым образом связано с инвариантным дифференциальным сечением в случае независимости последнего от азимутального угла Ψ : $d^2\sigma/dE dp_{||} = 2\pi(E d^3\sigma/d^3p)$.

Показано, что интегрирование уравнения (5) по одной из переменных $K_{||}$ или ω приводит к интегральным уравнениям Г.И.Копылова для "одномерных" распределений $d\sigma/dE$ и $d\sigma/dp_{||}$.

Для высокоэнергетической области спектра ($\omega \gg M$) частицы ν , имеющей нулевую массу ($m=0$, $\omega \equiv K$), найдено решение уравнения (5)

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d^2\sigma}{dE dp_{||}} \Big|_{E=\alpha K, p_{||}=\alpha K_{||}} = -\frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial}{\partial K} \left[K \frac{1}{\sigma} \frac{d^2\sigma}{dK dK_{||}} \right], \quad (6)$$

где $\alpha = M/2K^*$.

Когда масса частицы ν_1 равна нулю ($m_1=0$), тогда параметр $\alpha=1$ и (6) превращается в известную формулу Штернхеймера, которая используется в настоящее время для восстановления дифференциального сечения образования P^0 -мезонов из аналогичного сечения для γ -квантов. Применение уравнения (5) для решения подобных задач позволяет освободиться от ограничений, возникающих при использовании формулы Штернхеймера, справедливой только для высокоэнергетических областей спектра γ -квантов и P^0 -мезонов.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

I. Выполнен комплекс методических разработок, включающий:

- создание "инклюзивного" массива суммарных результатов (MCP), содержащего физические характеристики отдельных событий реакции $\pi^- p \rightarrow \gamma + X$ при 5 ГэВ; события отобраны в ходе просмотра 230000 стереофотографий; в общей сложности в MCP включено 5587 событий с 7940 γ -квантами;

- анализ общих характеристик этого MCP с целью учета погрешностей, обусловленных: анизотропией установки относительно эффективности регистрации γ -квантов; зависимостью эффективности просмотра и потерь событий в процессе обработки от топологии события; примесью фоновых реакций и т.п.

2. Определены инклюзивное сечение образования γ -квантов $\sigma_{incl} = (6.1, 4.2, 1) \text{ мб}$ и их средняя множественность $\langle n_\gamma \rangle = 2, 58 \pm 0, 07$ в реакции $\pi^- p \rightarrow \gamma + X$ при 5 ГэВ.

3. Обнаружено свойство факторизуемости по переменным S и p_{\perp}^2 в инвариантном распределении $F_2(S, p_{\perp}^2)$ для γ -квантов, образующихся в $\pi^- p$ - и pp -взаимодействиях в интервале энергий 5-300 ГэВ.

4. Выполнено систематическое исследование энергетической зависимости дифференциального сечения образования γ -квантов в центральной области. На основе сравнения данных о $\pi^- p$ -взаимодействиях при энергиях $E_{\pi^-} \geq 5$ ГэВ с данными о pp -взаимодействиях при энергиях $E_p \geq 70$ ГэВ показано, что в пределах 9% погрешностей:

- в интервале энергий 5-205 ГэВ сечение не зависит от энергии и от типа частиц пучка;

- в интервале энергий 5-1500 ГэВ сечение характеризуется замедленным - по сравнению с сечениями заряженных частиц - ростом (около 15%);

- возрастание сечения выхода P^0 -мезонов в центральной области при увеличении энергии с 5 до 1500 ГэВ не превышает $\approx 15\%$.

5. Получены первые данные о "двумерном" дифференциальном сечении $(E^*/\pi p_{max}^*) d^2\sigma/dX dp_{\perp}^2$ для реакции $\pi^- p \rightarrow \gamma + X$. Найдена аналитическая функция, описывающая это сечение в измеренной области $-0,4 \leq X \leq 0,6$ и $0 \leq p_{\perp} \leq 0,56$ ГэВ/с. Показано, что в определенных областях изменения X и p_{\perp} сечение не зависит от энергии в интервале 5-40 ГэВ.

6. Впервые для реакций с образованием γ -квантов и P^0 -мезонов ($\pi^- p \rightarrow \gamma + n_{ch} + X$ и $\pi^- p \rightarrow \pi^0 + n_{ch} + X$ при 5 ГэВ) обнаружены закономерности, предсказываемые гипотезой "скейлинга в среднем" для спектров по $p_{||}^*$ и p_{\perp} . Тем самым расширены границы применимости "скейлинга в среднем" как по диапазону энергий (5-300 ГэВ), так и по типу реакций.

7. Впервые при энергии ниже 500 ГэВ изучены распределения по множественности заряженных частиц n_{ch} , ассоциированных с P^0 -мезоном. В частности, для реакции $\pi^- p \rightarrow \pi^0 + n_{ch} + X$ при 5 ГэВ показано, что:

- значения $\langle n_{ch}(M_x^2) \rangle$ совпадают со средними значениями полной множественности заряженных частиц $\langle n_{ch}(S) \rangle$ в интервале $(2 \leq S \leq 9)$ ГэВ²;

- поведение моментов $\langle n_{ch}(M_x^2)^k \rangle / \langle n_{ch}(M_x^2) \rangle^k$ не согласуется с требованиями КНО-скейлинга для распределений $P_{n_{ch}}(M_x^2)$.

8. Выведено новое интегральное уравнение, устанавливающее связь между "двумерным" дифференциальным сечением образования нестабильных частиц $d^2\sigma/dE dp_{||}$ и аналогичным сечением для продуктов их изотропного двухчастичного распада.

9. Показано, что применяемые ранее для восстановления спектра ρ^0 -мезонов из спектра γ -квантов соотношения (для "одномерных" спектров $d\delta/dE$, $d\delta/dp_{\parallel}$) и приближенные формулы (для "двумерных" спектров) являются частным случаем полученного интегрального уравнения.

Работы, опубликованные по теме диссертации:

1. Володько А.Г., Румянцев В.С., Шандор Л., Шошиашвили Ш.С. О мето-
дике исследования реакций $\pi^- p \rightarrow \rho \pi^+ \pi^- \pi^- + m \pi^0$ и
 $\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- + m \pi^0$ при 5 ГэВ/с с помощью метровой пропановой
пузырьковой камеры. - Дубна, 1975. - 23 с. (Препр./Объед. ин-т
ядерн. иссл.: I-85I4).
2. Амаглобели Н.С., ..., Румянцев В.С. и др. Исследование инклюзив-
ных распределений γ -квантов, образующихся в $\pi^- p$ -взаимодействиях
при 5 ГэВ/с. - ЯФ, 1975, т.22, с.1269-1272.
3. Амаглобели Н.С., ..., Румянцев В.С. и др. Анализ парциальных и
топологических сечений $\pi^- p$ -взаимодействий при 5 ГэВ/с. - ЯФ, 1977,
т.25, с.983-989.
4. Амаглобели Н.С., ..., Румянцев В.С. и др. Исследование инвариант-
ной структурной функции реакции $\pi^- p \rightarrow \gamma + X$ при 5 ГэВ/с.
- ЯФ, 1977, т.26, с.120-125.
5. Амаглобели Н.С., ..., Румянцев В.С. и др. Наблюдение скейлинга в
среднем в реакциях $\pi^- p \rightarrow \gamma + X$ и $\pi^- p \rightarrow \pi^0 + X$ при 5
ГэВ/с. - ЯФ, 1978, т.27, с.995-1000.
6. Амаглобели Н.С., ..., Румянцев В.С. и др. Ассоциативная множест-
венность в реакции $\pi^- p \rightarrow \pi^0 + X$ при 5 ГэВ/с. - ЯФ, 1978, т.28,
с.1511-1517.
7. Antov J., Budagov Yu.A., Romyantsev V.S. Relation between two-
dimensional spectra of unstable particles and their decay pro-
ducts. - Dubna, 1979. - 8 p. (Prepr./Joint Inst. for Nucl.
Research.: E2-12708).
8. Будагов Ю.А., ..., Румянцев В.С. Множественное образование ней-
тральных частиц в пион-протонных и протон-протонных взаимодейст-
виях. - ЭЧАЯ, 1980, т.II, с.687-734.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 декабря 1980 года.