

Ш/30

1-89-397

УДК 539.172.5

ШАФАРИК Карел

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ  
ОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТИЦ  
С БОЛЬШИМ ПОПЕРЕЧНЫМ ИМПУЛЬСОМ  
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПИОНОВ  
НА ПРОТОНАХ И ЯДРАХ  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 38 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.

**Научные руководители:**

кандидат физико-математических наук  
кандидат физико-математических наук

Я. БЭМ  
З. В. КРУМШТЕЙН

**Официальные оппоненты:**

доктор физико-математических наук, профессор  
доктор физико-математических наук

В. Г. ГРИШИН  
В. И. КРЫШКИН

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Ленинградский институт ядерной физики, г. Гатчина, Ленинградской области.

Защита диссертации состоится " " 1989 г.  
в " " часов на заседании специализированного совета Д 047.01.03  
при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

О диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1989 г.

Ученый секретарь Совета  
доктор физико-математических наук

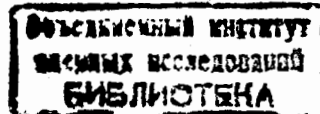
  
В. А. Батусов

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Актуальность проблемы. Изучение процессов образования частиц с большим поперечным импульсом в адрон-адронных и адрон-ядерных взаимодействиях при высоких энергиях является одним из методов исследования внутренней структуры адронов и пространственно-временной картины образования частиц в сильном взаимодействии. Уже в первых экспериментах в начале 70-тых годов было обнаружено изменение поведения инклюзивного сечения рождения частиц при поперечных импульсах выше 1 ГэВ/с, что интерпретировалось как проявление структуры адронов. Предложенная для объяснения этих данных феноменологическая партонная модель жестких столкновений получила впечатляющее подтверждение обнаружением адронных струй с большим поперечным импульсом. Дальнейшее ее развитие связано с применением квантовой хромодинамики (КХД), в рамках которой оказалось возможным использование методов теории возмущений благодаря малости константы связи при большой передаче импульса, необходимой для образования частицы большого  $p_{\perp}$ . В настоящее время модель, основанная на жестком КХД взаимодействии кварков и глюонов с их последующей фрагментацией в адроны, является общепринятой для объяснения рождения частиц с большим поперечным импульсом, а ее основные предсказания качественно подтверждены.

В дальнейших исследованиях необходима детальная количественная проверка КХД, претендующей на роль теории сильных взаимодействий, включая ряд предсказанных на ее основе дополнительных эффектов. Одним из них является механизм "высших твистов", на который существуют экспериментальные указания в ряде процессов (образование прямых лептонных пар в адрон-адронных взаимодействиях, глубоконеупругое рассеяние лептонов на адронах,  $\mu\mu$ -события с двумя струями большого  $p_{\perp}$  при отсутствии спектаторной струи по направлению пучка, рождение прямых мезонов с большим  $p_{\perp}$ ). В рождении частиц с большим поперечным импульсом такой механизм должен проявляться, в основном, прямым образованием мезонов с большим  $p_{\perp}$ . Для выделения таких событий можно воспользоваться тем, что прямо рожденные мезоны не делят поперечный импульс с другими адронами, как в случае образования частиц во фрагментации кварков или глюонов.

При изучении адрон-ядерных событий с рождением частицы большого  $p_{\perp}$  было обнаружено явление аномального увеличения сечения таких процессов с ростом атомного веса ядра. Наиболее предпочтительным из



предложенных объяснений этого эффекта является предположение об образовании частицы с большим поперечным импульсом в нескольких перерасеяниях на отдельных нуклонах ядра.

К настоящему времени проведено много экспериментов по изучению адрон-адронных и адрон-ядерных взаимодействий с образованием одной или нескольких частиц с большими поперечными импульсами. Большинство из этих экспериментов выполнено в инклюзивной или полуйнклюзивной постановке. Выяснилось, однако, что для детального изучения механизма таких процессов и проверки описывающих их моделей желательна получение более полной информации о событии в целом.

Целью диссертационной работы является изучение  $\pi^+p$  и  $\pi^-$ -ядро событий с рождением частицы большого поперечного импульса, в которых детектируются практически все вторичные заряженные частицы. Используя эту информацию, можно провести более детальное сравнение с предсказаниями моделей, предложенных для описания образования частиц с большим  $p_{\perp}$ . Конкретно перед автором диссертации стояли следующие задачи:

- проведение моделирования на ЭВМ для определения геометрии установки, оценок выходов полезных событий и фоновых условий при разработке постановки эксперимента;

- участие в подготовке экспериментальной аппаратуры и наборе статистики на ускорителе;

- выбор критериев отбора исследуемых событий, участие в создании программного обеспечения системы обработки пленочного материала и анализе полученных данных;

- изучение основных характеристик заряженных частиц сопровождения в  $\pi^+p$  и  $\pi^-$ -ядро событиях с рождением частицы большого поперечного импульса;

- сравнение данных по  $\pi^+p$  взаимодействиям с КХД-моделью жестких столкновений в стандартной схеме фрагментации кварков и глюонов (например, используя модель струны ЛУНД), а также оценка вклада механизма высших твистов, предсказанного в рамках КХД, в образование частиц с большим поперечным импульсом.

Исследования, положенные в основу диссертационной работы, были выполнены автором совместно с участниками сотрудничества ОИЯИ (Дубна) - ИФВЭ АН КазССР (Алма-Ата) - ИФВЭ (Цойтен-Берлин) - ЦИФИ (Будапешт) - ИЭФ Варшавский университет (Варшава) - ИФ ЧСАН и Ядерный центр Карлова университета (Прага) - ИИЯЭ БАН (София) - ИФ АН ГССР (Тбилиси).

Научными результатами, на которых основана диссертация, являются следующие:

1. Проведены расчеты для постановки эксперимента по изучению адрон-адронных и адрон-ядерных взаимодействий с образованием заряженной частицы большого поперечного импульса в центральной области быстрой при импульсе 38 ГэВ/с на установке РИСК (стримерная камера в магнитном поле).

2. Предложены и реализованы алгоритмы для пространственной реконструкции вершин событий, распадов  $V^0$ -частиц и взаимодействий  $\gamma$ -квантов в конверторах, а также алгоритм для интегрирования дифференциальных уравнений прохождения заряженной частицы в неоднородном магнитном поле.

3. Разработана система динамического распределения наборов данных на магнитных лентах и обслуживания НМЛ для режима разделения времени в операционной системе ОС ЕС ЭВМ.

4. Предложена структура хранения экспериментального материала и разработано программное обеспечение для интерактивного режима обработки данных в системе разделения времени.

5. Получены средние значения множественностей заряженных частиц, сопровождающих частицу большого поперечного импульса в  $\pi^+p$ ,  $\pi^+p$  и  $\pi^-p$  событиях. Наблюдается увеличение числа вторичных частиц обоих знаков заряда по сравнению с неупругими  $\pi^-$ -ядро взаимодействиями, причем наиболее заметно растет множественность идентифицированных протонов (с импульсом  $\leq 0,5$  ГэВ/с) на тяжелых ядрах.

6. Получены спектры быстрой и поперечных импульсов заряженных  $\pi$ -мезонов, сопровождающих частицу большого поперечного импульса в  $\pi^+p$ ,  $\pi^-d$ ,  $\pi^+p$  и  $\pi^-p$  взаимодействиях. С ростом атомного веса ядра мишени А быстрое распределение сдвигается в область фрагментации мишени, а средние поперечные импульсы уменьшаются. Ширины быстрых распределений слабо зависят от А и заметно уже, чем соответствующие ширины обычных неупругих  $\pi^+p$  событий.

На легких ядрах средние  $p_{\perp}$   $\pi$ -мезонов, знак заряда которых противоположен знаку заряда триггерной частицы, заметно больше значений при одинаковых знаках заряда, причем последние мало отличаются от средних  $p_{\perp}$  вторичных  $\pi$ -мезонов в неупругих  $\pi^+p$  и  $\pi^-$ -ядро взаимодействиях. Отмеченная разница в средних  $p_{\perp}$  уменьшается с ростом А, и в  $\pi^-p$  событиях практически исчезает.

7. Инклюзивные спектры по поперечному импульсу частиц, отобранных триггерной системой в  $\pi^+p$ ,  $\pi^-d$ ,  $\pi^+p$  и  $\pi^-p$  взаимодействиях, аппроксимированы зависимостью  $e^{-b \cdot p_{\perp}}$  в области  $p_{\perp} > 1,4$  ГэВ/с.

Уменьшение параметра  $b$  с ростом атомного веса ядра мишени означает изменение  $A$ -зависимости сечения образования частиц большого  $p_{\perp}$  с ростом  $A$ , наблюдавшееся в экспериментах, в которых было обнаружено аномальное увеличение сечения таких процессов с ростом атомного веса ядра.

8. Изучены азимутальные корреляции заряженных частиц сопровождения с триггерной частицей в  $\pi^+p$ ,  $\pi^+d$  и  $\pi^+C$  событиях. Вероятность вылета частиц сопровождения под азимутальными углами, близкими к  $180^\circ$  относительно направления поперечного импульса триггерной частицы, заметно увеличивается с ростом азимутального угла. Такое увеличение корреляции больше для частиц из центральной области быстрот, чем для частиц из областей фрагментации, и намного сильнее для частиц сопровождения с повышенным  $p_{\perp}$  ( $> 0,6$  ГэВ/с).

9. При изучении пар противоположно заряженных частиц, суммарный поперечный импульс которых практически полностью компенсирует  $p_{\perp}$  триггерной частицы, обнаружен четкий сигнал от  $\rho^0$ -мезона. При неполной компенсации поперечных импульсов сигнал  $\rho^0$ -мезона исчезает. Отношение сечения процесса  $\pi^+p \rightarrow h^+(p_{\perp} > 1,0 \text{ ГэВ/с}) + \rho^0 + X$ , где  $\rho^0$ -мезон вылетает против триггерной частицы и имеет большой поперечный импульс ( $\Delta p_{\perp} > 0,25$  ГэВ/с), к сечению такого же процесса без образования  $\rho^0$ -мезона, составляет  $0,03 \pm 0,01$ .

10. Проведен анализ угловых распределений продуктов распада, выделенных таким образом  $\rho^0$ -мезонов. Обнаружена выстроенность по спину: элемент спиновой матрицы плотности  $\rho_{\infty}^{\sigma}$  в поперечной системе отсчета (вероятность равенства нулю проекции спина  $\rho^0$ -мезона на ось, перпендикулярную плоскости его рождения) составляет  $0,86 \pm 0,23$ .

11. Проведено сравнение полученных данных для  $\pi^+p$  взаимодействий с результатами расчета по ЛУНД-модели с учетом механизма высших твистов для образования прямых мезонов с большим поперечным импульсом.  $P_{\perp}$ -спектр триггерных частиц хорошо согласуется с результатами вычислений по модели, но средняя множественность частиц сопровождения выше, а их поперечный импульс ниже, чем предсказанные по модели значения. В предположении, что образование выделенных по экспериментальным данным прямых  $\rho^0$ -мезонов обусловлено механизмом высших твистов, о чем свидетельствует выстроенность их спина, выход таких  $\rho^0$ -мезонов в  $4 \div 6$  раза выше, чем предсказано моделью.

Научная новизна исследований состоит в получении данных о всех заряженных частицах сопровождения в событиях с образованием частицы большого поперечного импульса. До проведения описанного в диссертации эксперимента полного исследования сопровождения специально не

делалось, а имеющиеся данные являются выборкой с ограниченной статистикой результатов измерения событий неупругих взаимодействий, полученных на пузырьковых камерах. Представленные результаты являются независимым подтверждением существующих экспериментальных указаний на вклад механизма высших твистов в образование частиц с большим  $p_{\perp}$ . При этом изучение спиновых характеристик  $\rho^0$ -мезонов с большим поперечным импульсом при такой высокой энергии проводилось впервые.

Практическая ценность полученных результатов состоит в следующем:

Результаты сравнения полученных данных с моделью, основанной на КХД, могут стимулировать дальнейшее ее развитие и создание новых моделей для адрон-ядерных событий с образованием частицы большого  $p_{\perp}$ , а также теоретические вычисления  $K$ -факторов для диаграмм с прямым рождением мезонов. События, полученные при реконструкции измерений, а также при генерации данных по модели, будут использованы для проектирования новых экспериментов по изучению образования прямых мезонов с большим поперечным импульсом.

В настоящее время в связи с проектируемыми экспериментами на новых ускорителях возрастает внимание к быстрым алгоритмам нахождения вершин многолучевых событий в пространстве, и предложенные в диссертации решения можно рассматривать как вклад в эти исследования. Аналогичная программа для нахождения вершин и структура данных используется при обработке результатов эксперимента по изучению событий с образованием  $\mu^+\mu^-$ -пар, выполненном на установке РИСК. Изложенные принципы обработки данных применяются в эксперименте по исследованию  $\bar{p}$ -ядро неупругих взаимодействий, проведенном на том же спектрометре.

Реализованная система динамического распределения наборов данных на магнитных лентах включена в операционные системы на ЭВМ ЕС-1033 и ЕС-1060, и используется также остальными пользователями режима разделения времени, работающими с магнитными лентами.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 86 наименований. Объем диссертации 130 страниц, включая 26 рисунков и 12 таблиц.

Апробация работы. Основные методические и физические результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались автором на международных рабочих совещаниях сотрудничества РИСК; были представлены на Международную конференцию по физике высоких энергий в Брайтоне (1983), на XXII Международную конференцию по физике высоких

энергий в Лейпциге (1984), на Еврофизическую конференцию по физике высоких энергий в Упсале (1987), на XXVI Международную конференцию по физике высоких энергий в Мюнхене (1988) и опубликованы в виде препринтов ОИЯИ [1,2,4+6]; а также в зарубежном журнале [3].

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении сформулирована цель диссертационной работы, обосновываются актуальность, научная новизна и практическая ценность проведенных исследований, кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе приводится описание постановки эксперимента по изучению  $\pi^+$  и  $\pi^-$ -ядро событий с образованием частицы большого поперечного импульса на базе магнитного спектрометра со стримерной камерой (установка РИСК). Спектрометр расположен на несепарированном пучке отрицательно заряженных частиц (канал 4э) Серпуховского ускорителя У-70. Состав пучка при импульсе 38 ГэВ/с:  $\pi^-:K^0:\bar{p} = 98\% : 1,7\% : 0,3\%$ . Интенсивность первичных частиц составляла  $\approx 5 \cdot 10^5$  за цикл, а его разброс по импульсу был  $\approx 1\%$ . Первичные частицы регистрировались телескопом из 6 сцинтилляционных счетчиков, для выделения сорта взаимодействующей частицы использовались 4 газовых пороговых черенковских счетчика.

Основной частью спектрометра является трехзорная стримерная камера размерами 4,7 x 0,9 x 0,8 м<sup>3</sup>, помещенная в магнитное поле напряженностью  $\approx 1,5$  Т. Синхронные высоковольтные импульсы с амплитудой  $\approx \pm 400$  кВ и длительностью 18 нс, вырабатываемые генератором Маркса и формирователем типа Блэкмайн, создавали в камере электрическое поле напряженностью  $\approx 20$  кВ/см. Камера наполнялась газовой смесью при атмосферном давлении, состоящей из  $\approx 70\%$  Ne,  $\approx 30\%$  He и  $\approx 1\%$  изобутана. Время памяти 1-2 мкс достигалось с помощью малой добавки SF<sub>6</sub>. Чувствительный объем камеры просматривался восемью объективами (четыре стереопара), каждый из которых имел двухкаскадный электростатический усилитель яркости. С помощью телевизионного монитора, на экран которого выводилась проекция внутреннего объема камеры после срабатывания высоковольтной системы, осуществлялся непрерывный контроль качества фотографируемых событий.

В эксперименте использовались жидководородная (дейтериевая) мишень или ядерные мишени.

Основными детекторами системы отбора заряженной частицы с большим поперечным импульсом ( $\geq 1$  ГэВ/с) являются три

многопроволочные пропорциональные камеры, установленные в шахте магнита над стримерной камерой (см. рис. 1). Такое положение

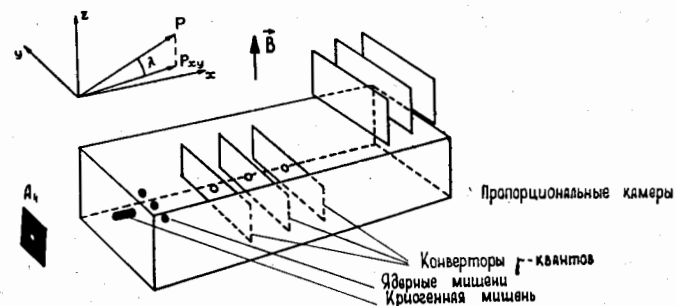


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

соответствует полярному углу в с.ц.м. адрон-нуклон около 90°. С помощью пропорциональных камер регистрируются горизонтальная (y) и вертикальная (z) координаты прохождения частицы через плоскости камер. Задавая корреляционную матрицу совпадений между сигналами от вертикальных проволок двух камер, можно отбирать вторичные частицы по значению горизонтальной составляющей импульса (перпендикулярной главной компоненте магнитного поля), а вследствие их геометрического положения – и по величине поперечного импульса. Реально использовались три матрицы совпадений: между y-координатами в первой и третьей камерах, во второй и третьей камерах, а также между z-координатами в первой и третьей камерах. Порог по поперечному импульсу задавался первой из этих матриц, и менялся в области (1,0 + 1,5) ГэВ/с.

Сигналы от пропорциональных камер поступали в КАМАК-регистры с одновибраторными задержками, где логически суммировались по четырем соседним каналам, что определяло шаг по координате 1,2 см. Объединенные сигналы подавались на матрицы совпадений, выполненные на основе коммутационных полей с диодными или транзисторными ключами. Дополнительно использовалась схема для подавления случаев с большим числом кластеров сработавших соседних проволок в отдельных плоскостях камер. Задержка решения о регистрации события относительно прохождения частицы через установку составляла 0,4 мкс.

Описанная система проработала на ускорителе У-70  $\approx 1500$  часов, и с её помощью было зарегистрировано  $\approx 220$  тысяч кадров на разных мишенях.

Во второй главе описана обработка полученного фильмового материала. Сначала были определены критерии для отбора кадров, которые в основном сводятся к наличию взаимодействия в мишени и присутствию среди вторичных частиц следа от частицы, попадающей в пропорциональные камеры. Отобранные события зарисовывались, и проекции следа, соответствующие одной частице, размечались одинаковыми номерами. Полученные таким образом рисунки использовались при измерении следов на полуавтоматических приборах. Результаты измерений обрабатывались программой геометрической реконструкции (модифицированная версия стандартной программы HUGEOМ CERN-библиотеки), на входе которой каждый след рассматривался как отдельное одночастичное событие. В результате не требовалось программного опознавания следа на разных стереопроекциях, что было затруднительным из-за большой множественности вторичных частиц и особенностей конструкции оптической системы установки. После первого измерения удовлетворительно реконструировалось  $\approx 80\%$  следов, плохо реконструированные следы измерялись повторно.

Разработанная автором программа VEDIT собирала следы в события и находила вершины в пространстве. Описываются две версии этой программы. В первой реконструированные в пространстве следы частиц события продолжают от первой измеренной точки к вершине и итерационным способом ищется точка, расстояние которой от всех следов минимально. Вторая программа решает задачу определения положения вершины методом наименьших квадратов с использованием корреляционных матриц ошибок, найденных при пространственной реконструкции следов, и использует линеаризацию полученных уравнений. Программа восстановления вершин в пространстве может также заменять информацию об одном следе частицы в событии, что обеспечивает возможность перемера только необходимых следов.

Измерения магнитного поля аппроксимировались аналитическими выражениями. Поле магнита моделировалось эквивалентным магнитным полем, созданным набором отрезков линий с электрическим током. Точность такой аппроксимации составляет  $\leq 0,5\%$  от значения главной компоненты магнитного поля.

Пространственная реконструкция события проводилась в предположении центрального проецирования следов на пленку. Для определения оптических констант (положения центра проецирования и коэффициентов дисторсии) вначале находилось преобразование из плоскости пленки в плоскость верхней реперной сетки, расположенной

над стримерной камерой, в виде разложения по ортогональным полиномам. (до  $7^{10}$  порядка включительно). Коэффициенты при полиномах определялись для каждой стереопроекции по измерениям изображений линий и перекрестий реперной сетки на пленке и соответствующим геодезическим измерениям. Затем методом наименьших квадратов находили центр проекции для каждого объектива как точку пересечения прямых, соединяющих нижние реперные кресты (под стримерной камерой) с их проекциями на плоскость верхней реперной сетки, используя геодезические координаты нижних крестов, измерения их положения на пленке и найденные коэффициенты преобразования.

В конце главы приводятся основные точностные характеристики спектрометра. Ошибка при реконструкции положения точки в пространстве составляет для горизонтальных координат  $\approx 0,35$  мм и по вертикали в 5 раз хуже. Полуширина на полувысоте распределения по эффективным массам для  $K^0$ -мезонов составляет  $8,4$  МэВ/с<sup>2</sup>, для  $\Lambda$ -частиц  $2,2$  МэВ/с<sup>2</sup>. Определена величина затравочной ошибки измерения координаты на пленке - 30 мкм, которая учитывает все неопределенности, связанные с аппроксимацией магнитного поля, нахождением оптических констант и ошибкой самого измерения, и соответствует приведенным точностным характеристикам. Такое значение типично для спектрометров со стримерными камерами.

Третья глава посвящена системе обработки данных, которая была создана в интерактивной системе разделения времени (CPB) на ЕС ЭВМ. Сначала было разработано программное обеспечение для динамического распределения наборов данных на магнитных лентах в CPB. Оно представляет собой два ассемблерных модуля, три командные процедуры и некоторые дополнения к стандартным блокам системы. Динамическое распределение позволяет устанавливать и заменять тома магнитных лент на НМЛ, а также присваивать произвольные dd-имена любым наборам данных и позиционировать магнитную ленту на начало заданного набора данных. Эти возможности отсутствуют в стандартном фирменном обеспечении CPB.

Вся информация о кадрах собирается в наборы данных на т.н. контрольных магнитных лентах, причем один набор данных соответствует одной тысяче кадров. Для одного кадра создается несколько логических записей разных типов, упорядоченных по типу, а информация о разных кадрах упорядочена по номеру кадра. Сначала для всех кадров данной тысячи создаются записи типа ноль - описатели. После этого можно добавлять другие данные: записи типа 1 - информация, записанная на МЛ в ходе эксперимента (триггерные данные), записи типа 2 - данные

просмотра, записи типа 4 - результат сборки одного цикла измерений программой VEDIT, записи типа I5 - сборка события по данным из предшествующих записей. Записи последнего типа, или часть информации из них, переписываются на ленту суммарных результатов (DST). При любом добавлении или замене данных на контрольных лентах происходит перезапись всего набора данных по совокупности магнитных лент. Эту операцию осуществляет во всех программах, которые модифицируют информацию на контрольных лентах, специально созданная стандартная подпрограмма. Кроме того, эта подпрограмма при перезаписи проводит контроль структуры упорядоченности информации. Описанная организация данных имеет высокую степень надежности в смысле целостности и непротиворечивости данных.

Запуск обрабатывающих программ проводится с терминала в интерактивном режиме с помощью вызова разработанных командных процедур CPB. Создана иерархическая система таких процедур, которая используется как при обработке измерений, так и при получении окончательных результатов. Использование этой системы позволяет запустить весь цикл программ обработки одной командой с терминала. Некоторые программы имеют интерактивный режим работы (например, можно вмешаться в процесс сборки события), для которого используются ассемблерные модули, обслуживающие терминалы типа EC-7920 в режиме полного экрана.

В конце третьей главы приводится описание расчета аксептанса установки и весов событий. В случае, когда в событии среди вторичных частиц только одна частица потенциально может быть триггерной (при повороте события вокруг оси пучка может быть выделена системой отбора), можно методом Монте-Карло рассчитать таблицу вероятностей отбора такой частицы в зависимости от двух переменных, например, поперечного импульса и полярного угла (с осью пучка) в лабораторной системе. Для этого разыгрывался азимутальный угол (в плоскости перпендикулярной пучку) в предварительно определенном интервале. Зависимость аксептанса от  $p_{\perp}$  и полярного угла в л.с. показана на рис. 2. Для событий, в которых имеется больше одной потенциально триггерной частицы, необходимо вычислять аксептанс для каждого такого события отдельно, но их число составляет доли процента от общей статистики.

В четвертой главе изложены физические результаты, полученные в эксперименте. Определены средние значения множественностей заряженных частиц, отрицательно заряженных частиц и визуально

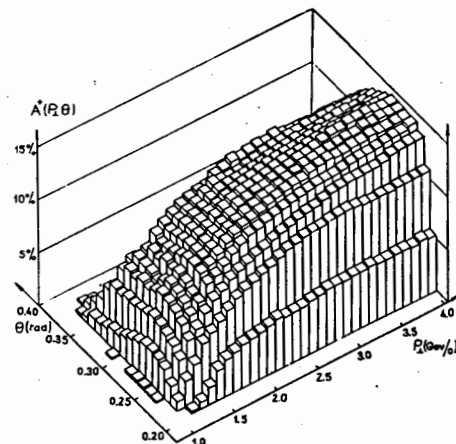


Рис. 2. Зависимость аксептанса от поперечного импульса  $p_{\perp}$  и лабораторного полярного угла  $\theta$  для положительно заряженных триггерных частиц при использовании ядерной мишени.

идентифицированных по ионизации медленных протонов (с импульсом  $\approx 0,5$  ГэВ/с), сопровождающих частицу большого поперечного импульса в  $\pi^+C$ ,  $\pi^+Si$  и  $\pi^+Pb$  событиях. Результаты приведены в таблице 1, где для сравнения показаны также средние множественности соответствующих

Таблица 1. Средние множественности всех заряженных частиц, отрицательно заряженных частиц и выделенных протонов в событиях с образованием частицы большого  $p_{\perp}$  и в неупругих  $\pi^-A$  взаимодействиях, а также их разности.

		C	Si	Pb
$\langle N_{ch} \rangle$	$p_{\perp}$	$10,2 \pm 0,2$	$14,7 \pm 0,3$	$20,8 \pm 0,4$
	$inel$	$7,3 \pm 0,2$	$10,1 \pm 0,4$	$15,6 \pm 0,6$
	$\Delta$	$2,9 \pm 0,3$	$4,6 \pm 0,5$	$5,2 \pm 0,7$
$\langle N^+ \rangle$	$p_{\perp}$	$4,5 \pm 0,1$	$5,5 \pm 0,1$	$6,7 \pm 0,1$
	$inel$	$3,5 \pm 0,1$	$4,0 \pm 0,2$	$4,8 \pm 0,2$
	$\Delta$	$1,0 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,2$
$\langle N_p^- \rangle$	$p_{\perp}$	$0,7 \pm 0,04$	$2,2 \pm 0,1$	$5,5 \pm 0,2$
	$inel$	$0,5 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$	$3,7 \pm 0,2$
	$\Delta$	$0,2 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,3$

частиц в неупругих  $\pi^-$ -ядро взаимодействиях, найденные в другом эксперименте на установке РИСК. Методика обработки и поправок была при получении обоих результатов практически одинакова, следовательно, влияние систематических ошибок при сравнении будет минимальным. Средние множественности частиц, сопровождающих частицу с большим  $p_{\perp}$ , заметно выше значений для неупругих событий, причем разность множественностей растет с атомным весом ядра мишени А. Наибольший относительный рост разности наблюдается для медленных протонов. Такое поведение можно объяснить увеличением с ростом А доли событий, в которых частица с большим поперечным импульсом рождается в нескольких перерассеяниях на отдельных нуклонах ядра. Этим обычно объясняют также аномальный рост сечения образования частиц с большим  $p_{\perp}$  с увеличением атомного веса ядра мишени.

Получены средние значения быстрот и дисперсии быстроевых распределений для  $\pi$ -мезонов сопровождения в  $\pi p$ ,  $\pi d$ ,  $\pi C$  и  $\pi Pb$  событиях с образованием частицы большого поперечного импульса. Средние значения быстрот уменьшаются с ростом атомного веса ядра мишени, а ширины быстроевых спектров слабо зависят от А. Следовательно, число ассоциированных заряженных частиц в области фрагментации налетающего  $\pi^-$ -мезона падает, а в области фрагментации мишени растет с увеличением А. Сравнение с результатами, полученными для неупругих взаимодействий на пропановой пузырьковой камере при импульсе  $\pi^-$ -мезонов 40 ГэВ/с, показывает, что средние быстроты и ширины распределений по быстрой заметно меньше в событиях с образованием частицы большого  $p_{\perp}$ .

В таблице 2 приведены средние значения поперечных импульсов частиц сопровождения в тех же событиях, для разных комбинаций знаков зарядов триггерной частицы и частиц сопровождения. Средний поперечный импульс в случае противоположных знаков заряда заметно выше, чем для одинаковых знаков, причем эта разница уменьшается с ростом атомного веса ядра мишени, и для  $\pi Pb$  событий практически исчезает. В то же время средний поперечный импульс в случае одинаковых знаков заряда триггерной частицы и частиц сопровождения слабо отличается от значений для вторичных частиц в неупругих взаимодействиях. С ростом атомного веса ядра мишени заметна тенденция к уменьшению средних поперечных импульсов частиц сопровождения. Такое поведение поперечных импульсов указывает на присутствие жестких процессов в  $\pi p$  взаимодействиях, и увеличение вклада перерассеяний в образование частицы большого поперечного импульса с ростом А.

Таблица 2. Значения средних поперечных импульсов частиц сопровождения в событиях с образованием частицы большого  $p_{\perp}$ , а также вторичных частиц в неупругих взаимодействиях

			$\langle p_{\perp} \rangle$ , МэВ/с	
			$\pi^-$	$\pi^+$
$\pi^- p$	<i>inelastic</i>		$367 \pm 2$	$384 \pm 2$
	$p_{\perp} > 1,0$ ГэВ/с	<i>trigger +</i>	$381 \pm 6$	$379 \pm 7$
	$p_{\perp} > 1,0$ ГэВ/с	<i>trigger -</i>	$359 \pm 11$	$419 \pm 12$
$\pi^- n$	<i>inelastic</i>		$344 \pm 6$	$362 \pm 8$
$\pi^- d$	$p_{\perp} > 1,0$ ГэВ/с	<i>trigger +</i>	$384 \pm 7$	$364 \pm 8$
	$p_{\perp} > 1,0$ ГэВ/с	<i>trigger -</i>	$348 \pm 12$	$404 \pm 13$
$\pi^- C$	<i>inelastic</i>		$354 \pm 1$	$378 \pm 1$
	$p_{\perp} > 1,0$ ГэВ/с	<i>trigger +</i>	$354 \pm 4$	$365 \pm 4$
	$p_{\perp} > 1,0$ ГэВ/с	<i>trigger -</i>	$349 \pm 5$	$389 \pm 5$
	$p_{\perp} > 1,3$ ГэВ/с	<i>trigger ±</i>	$380 \pm 7$	$408 \pm 7$
$\pi^- Pb$	$p_{\perp} > 1,0$ ГэВ/с	<i>trigger +</i>	$302 \pm 4$	$360 \pm 3$
	$p_{\perp} > 1,0$ ГэВ/с	<i>trigger -</i>	$293 \pm 7$	$364 \pm 5$
	$p_{\perp} > 1,3$ ГэВ/с	<i>trigger ±</i>	$318 \pm 9$	$392 \pm 7$

Спектры по поперечному импульсу триггерных частиц в области  $p_{\perp} > 1,4$  ГэВ/с аппроксимировались экспоненциальной зависимостью:  $\sim e^{-b \cdot p_{\perp}}$ . Полученные значения параметра наклона  $b$  приведены в таблице 3. Его уменьшение с ростом атомного веса ядра мишени соответствует явлению аномального увеличения сечения образования частицы с большим  $p_{\perp}$  на ядрах с ростом А.

Таблица 3. Параметры наклона  $b$   $p_{\perp}$ -спектров триггерных частиц ( $dN/dp_{\perp} \sim e^{-b \cdot p_{\perp}}$ )

<i>trigger</i> $p_{\perp} > 1,4$ ГэВ/с			
$\pi^- p$	$\pi^- d$	$\pi^- C$	$\pi^- Pb$
$4,23 \pm 0,32$	$4,13 \pm 0,39$	$4,01 \pm 0,13$	$3,20 \pm 0,24$



Изучались также азимутальные корреляции частиц сопровождения с триггерной частицей в  $\pi^+p$ ,  $\pi^+d$  и  $\pi^+C$  взаимодействиях. Вероятность вылета частиц против триггерной частицы заметно увеличена, причем такой эффект больше выражен для  $\pi^+p$  событий, чем для  $\pi^+C$  событий, а также в случае отбора частиц сопровождения с повышенным поперечным импульсом ( $> 0,6$  ГэВ/с) по сравнению со значениями для всех ассоциированных частиц. Получены соответствующие коэффициенты асимметрии азимутальных распределений. Азимутальные корреляции также свидетельствуют о заметном вкладе жестких процессов в рождение частицы большого  $p_{\perp}$  в  $\pi^+p$  взаимодействиях, и его уменьшении во взаимодействиях на ядре.

С целью выяснения роли механизма высших твистов при прямом образовании мезонов с большим поперечным импульсом в жестком столкновении партонов (такие мезоны забирают полностью поперечный импульс, возникший в обмене, не деля его с остальными продуктами фрагментации, как в стандартных жестких процессах) проводилось изучение пар противоположно заряженных частиц сопровождения, суммарный поперечный импульс которых практически компенсирует  $p_{\perp}$  триггерной частицы. Одним из наиболее вероятных каналов высших твистов в  $\pi^+p$  взаимодействиях является процесс  $u\bar{u} \rightarrow gq^0$ . Поэтому в  $\pi^+p$  событиях отбирались случаи с парами  $\pi^+\pi^-$ -мезонов, для которых азимутальный угол  $\phi$  их суммарного импульса с направлением импульса триггерной частицы удовлетворяет условию  $\phi > 162,5^\circ$ . Изучались спектры эффективных масс таких систем в разных областях значений переменной  $\Delta p_{\perp} = p_{\perp}^{\pi^+\pi^-} + p_{\perp}^T \cos \phi$ , где  $p_{\perp}^{\pi^+\pi^-}$  - поперечный импульс  $\pi^+\pi^-$ -системы и  $p_{\perp}^T$  - поперечный импульс триггерной частицы ( $\Delta p_{\perp}$  - нескомпенсированный поперечный импульс). На рис. 3 показаны два таких спектра: в случае практически полной компенсации ( $\Delta p_{\perp} > -0,25$  ГэВ/с) виден четкий сигнал от  $\rho^0$ -мезона, при неполной компенсации ( $-0,25$  ГэВ/с  $> \Delta p_{\perp} > -0,50$  ГэВ/с) такой сигнал отсутствует. Спектры эффективных масс аппроксимировались р-волновым распределением Брейта-Вигнера с фоном, заданным выражением  $BG(M_{\pi\pi}) = q(M_{\pi\pi}) \cdot e^{-\beta \cdot M_{\pi\pi}}$  в нескольких областях по  $\Delta p_{\perp}$ . В результате получено распределение отношения сечения процесса с образованием заряженной частицы с большим  $p_{\perp}$  и  $\rho^0$ -мезона, вылетающего против триггерной частицы, к сечению образования частицы с большим  $p_{\perp}$  по переменной  $\Delta p_{\perp}$ , оно демонстрируется на рис. 4. Заметно увеличение такого нормированного сечения в конце спектра, при полной компенсации поперечных импульсов. В области  $\Delta p_{\perp} > -0,25$  ГэВ/с число событий с образованием  $\rho^0$ -мезонов составляет  $(3 \pm 1)\%$  от всех  $\pi^+p$  событий с рождением частицы большого  $p_{\perp}$ .

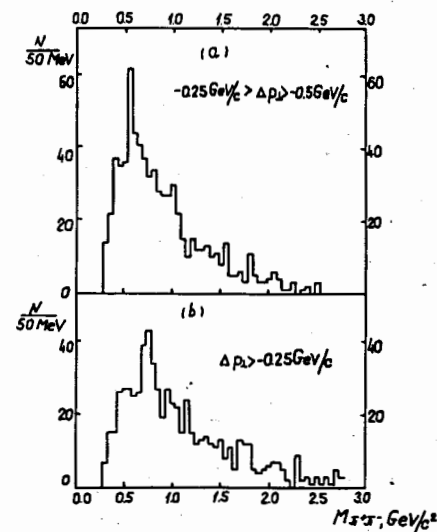


Рис. 3. Спектр эффективных масс для  $\pi^+\pi^-$ -комбинаций, азимутальный угол которых удовлетворяет условию (4.6), а переменная  $\Delta p_{\perp}$ , определенная в (4.7), находится в интервале: (а)  $-0,5$  ГэВ/с  $< \Delta p_{\perp} < -0,25$  ГэВ/с; (б)  $\Delta p_{\perp} > -0,25$  ГэВ/с.

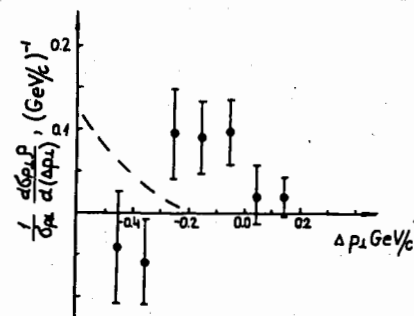


Рис. 4. Нормированное распределение  $\rho^0$ -мезонов, вылетающих по азимуту против триггерной частицы ( $\phi > 162,5^\circ$ ), по переменной  $\Delta p_{\perp}$ .

Изучались также поляризационные свойства выделенных таким образом  $\rho^0$ -мезонов. Спектры эффективных масс  $\pi^+\pi^-$  для нескольких интервалов по  $\cos \theta_\pi$  ( $\theta_\pi$ -угол вылета  $\pi^+$  в системе покоя  $\pi^+\pi^-$ -относительно оси, перпендикулярной к плоскости рождения  $\pi^+\pi^-$ -поперечная система), аппроксимировались тем же способом. Полученное распределение по  $\cos \theta_\pi$  имеет минимум при  $\cos \theta_\pi = 0$ , что указывает на увеличение вероятности для нулевого значения проекции спина  $\rho^0$ -мезона на ось, перпендикулярную плоскости рождения по сравнению со значением для неполяризованного  $\rho^0$ -мезона ( $\frac{1}{3}$ ). Аппроксимацией углового распределения получена оценка такой вероятности - элемента спиновой матрицы плотности  $\rho_{00}^T$  в поперечной системе, она приведена в таблице 4. Здесь же приведены значения в других системах. Для оценки систематических ошибок использовались другие методы нахождения фона, максимальные отклонения составляли  $\sim \frac{1}{3}$  указанной статистической ошибки.

Таблица 4. Оценки значений элемента  $\rho_{00}$  спиновой матрицы плотности в поперечной, Готфрида-Джексона и спиральной системах отсчета для выделенных  $\rho^0$ -мезонов. Ошибки - статистические

Система	$\rho_{00}$	$\chi^2/\text{ч.с.с.}$
поперечная	$0,86 \pm 0,23$	0,7 / 3
Готфрида-Джексона	$0,14 \pm 0,23$	0,2 / 3
спиральная	$0,04 \pm 0,22$	3,6 / 3

Наблюдение прямых  $\rho^0$ -мезонов и их спиновая выстроенность качественно соответствуют предсказаниям, основанным на механизме высших твистов. Если в процессе  $u\bar{u} \rightarrow g\rho^0$  глюон находится на массовой поверхности, то спин образованного  $\rho^0$ -мезона будет сильно выстроен, а в s-канальной спиральной системе вероятность нулевого значения проекции спина будет близка к нулю, что соответствует полученному значению. Такую интерпретацию подтверждают также имеющиеся данные о росте спиновой выстроенности  $\rho^0$ -мезонов с увеличением  $p_\perp$  в  $p\bar{p}$  взаимодействиях и отсутствии поляризации  $\rho^0$ -мезонов, образованных в  $p\bar{p}$  событиях. С другой стороны, максимальное значение элемента спиновой матрицы плотности  $\rho_{00}^T$  в поперечной системе для полностью выстроенного  $\rho^0$ -мезона в спиральной системе может быть 0,5. В случае, если экспериментальное значение действительно окажется выше этого предела, для объяснения такого эффекта, по-видимому, надо будет привлечь интерференционные эффекты.

В конце главы приводится сравнение полученных данных для  $\pi^-\rho$  взаимодействий с результатами расчета по ЛУНД-модели. Использовались две программы для генерации моделируемых событий: одна для жестких КХД процессов с учетом механизмов высших твистов TWISTER 1.2, и вторая для "мягких" неупругих взаимодействий JETSET 6.2. Два полученных набора взвешивались по сечению жестких процессов, непосредственно рассчитанному программой, и экспериментальному сечению неупругих  $\pi^-\rho$  взаимодействий после вычитания сечения дифракции. Генерированные события пропускались через программу, моделирующую экспериментальную установку, и сравнивались с не поправленными на акцептанс экспериментальными данными.

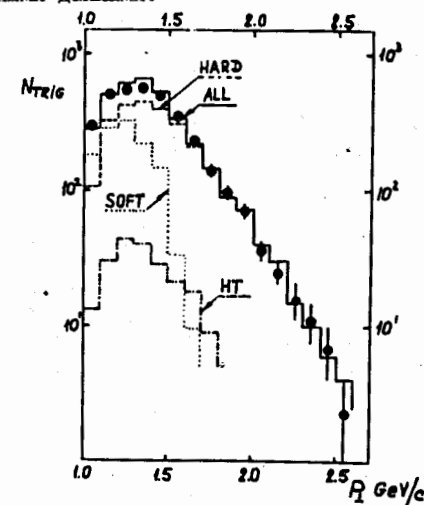


Рис. 5. Спектр по поперечному импульсу триггерных частиц в  $\pi^-\rho$  событиях (точки с ошибками). Гистограммы - результат расчета по ЛУНД-модели: для мягких событий - пунктирная линия; для жестких процессов - штриховая линия; для высших твистов - штрих-пунктирная линия; сумма мягких и жестких процессов - сплошная линия.

На рис. 5 приводится сравнение спектров по поперечному импульсу триггерных частиц с моделью и показан также предсказываемый вклад различных процессов. Обнаруживается хорошее согласие данных с моделью, при этом доля мягких событий среди отобранной статистики по ЛУНД-модели составляет  $\approx \frac{1}{5}$ , а процессов высших твистов  $\approx 7\%$ . Однако средняя множественность отрицательно заряженных частиц сопровождается

заметно выше, чем предсказывает модель, а средний поперечный импульс сопровождения ниже предсказанного значения. Эти два факта связаны друг с другом, и в модели, вероятно, необходимо оптимизировать феноменологические параметры, которые управляют фрагментацией цветной струны (были использованы стандартные значения). Азимутальные корреляции согласно модели несколько сильнее по сравнению с экспериментальными данными.

Наблюдаемое образование прямых  $\rho^0$ -мезонов в 4 + 6 раза выше предсказанного по модели. Следует отметить, что в ней учтены поправки, связанные с обменом мягких глюонов, т.н. К-факторы, значения которых могут достигать таких величин. Более того, и в других экспериментах, в которых делалась попытка определения относительного вклада механизмов высших твистов, получены значения, в 2 + 4 раза превышающие оценки по КХД (без указанных поправок).

В заключении кратко суммируются основные результаты, которые приведены в общей характеристике диссертационной работы, приводятся выводы и благодарности.

#### ПУБЛИКАЦИИ

[1] А.В. Банников, Я.Бэм, Л.С. Вертоградов, С. Выхочил, Я.В. Гришкевич, А. Дерлицки, А.К. Джавришвили, В. Доминик, П. Завада, Я. Закржевски, Э.В. Крумштейн, М. Кудла, В. Кусмеш, Т.А. Ломтадзе, С. Маевски, Ю.П. Мереков, А.А. Николина, В.И. Петрухин, К. Писка, Л.Г. Ткачев, В.В. Токменин, А.И. Харчилава, Н.Н. Хованский, Б.А. Хоменко, Ш. Целлар, К. Шафарик, Г.А. Шелков: Магнитный спектрометр со стримерной камерой в эксперименте по исследованию процессов образования частиц с большим поперечным импульсом; Препринт ОИЯИ Р1-89-119, Дубна, 1989.

[2] E.G. Boos, A.M. Mosienko, N.A. Pokrovsky, G. Bohm, W. Friebel, U. Gensch, R. Leiste, A. Meyer, T. Naumann, D. Pose, H. Roloff, C. Spiering, A.-E. Schwindt, E. Denes, L. Diosy, T. Gemesy, L. Jenik, J. Krasnovszky, Gy. Pinter, I. Wagner, A.V. Bannikov, H. Barwolff, J. Bohm, A. Derlicki, W. Dominik, Ya.V. Grishkevich, I. Farago, B.A. Khomenko, N.N. Khovanskij, Z.V. Krumstein, Yu. P. Merekov, G. Nyitrai, V.I. Petrukhin, K.Piska, K. Safarik, H.-J. Schreiber, J.Sedlak, G.A. Shelkov, L.G. Tkachev, V.V. Tokmenin, L.S. Vertogradov, S. Vyskocil, S. Zellar, V.N. Salomatov, T. Soukup, A. Valkarova, S. Valkar, P. Zavada, V. Krysteva, V.N. Penev, A.I. Shklovskaya, L.L. Gabunia, E.Sh. Ioramishvili, A.B. Ivanova, A.K. Javrishvili, A.I. Kharchilava,

T.A. Lomtadze, L.Sh. Mandjavidze, E.S. Mailjan, L.A. Razdolskaja, L.B. Shalamberidze, L.D. Tchikovani, J. Gajewski, L. Ropelewski, J. Zakrzewski: Charged particle multiplicities in 40 GeV/c hadron-nucleus interactions with and without a high  $p_{\perp}$  trigger; Preprint JINR E1-83-449, Dubna, 1983.

[3] H. Barwolff, G. Bohm, C. Dreher, W. Friebel, U. Gensch, A. Meyer, T. Naumann, H. Roloff, C. Spiering, E. Denes, L. Diosy, T. Gemesy, L. Jenik, J. Krasnovszky, Gy. Pinter, I. Wagner, A.V. Bannikov, J. Bohm, Ya.V. Grishkevich, B.A. Khomenko, Z.V. Krumstein, Yu. P. Merekov, V.I. Petrukhin, K. Safarik, G.A. Shelkov, L.G. Tkachev, L.S. Vertogradov, T. Soukup, A. Valkarova, S. Valkar, P. Zavada, V.N. Penev, A.I. Shklovskaya, A.K. Javrishvili, A.I. Kharchilava, T.A. Lomtadze, L.A. Razdolskaya, W. Dominik, J. Gajewski, S. Majewski, K. Pniewska, L. Ropelewski, J.A. Zakrzewski: Multiplicities in high  $p_{\perp}$  hadron-nucleus interactions; Preprint IfHEP AW DDR PHE 85-2, Berlin-Zeuthen, 1985 and Z.Phys.C -Particle and Fields, 1986, v.31(1), p.65;

[4] Gy. Adam, A.V. Bannikov, J. Bohm, S. Czellar, W. Dominik, Ya.V. Grishkevich, I. Farago, B.A. Khomenko, N.N. Khovansky, Z.V. Krumstein, Yu.P. Merekov, A.A. Nikolina, G. Nyitrai, V.I. Petrukhin, K.Piska, K. Safarik, G.A. Shelkov, L.G. Tkachev, V.V. Tokmenin, L.S. Vertogradov, S. Vyskocil, W. Friebel, A. Meyer, H. Roloff, E. Denes, L. Diosy, T. Gemesy, L. Jenik, J. Krasnovszky, Gy. Pinter, I. Wagner, T. Soukup, A. Valkarova, S. Valkar, P. Zavada, V. Krysteva, V.N. Penev, A.I. Shklovskaya, A.K. Javrishvili, A.I. Kharchilava, T.A. Lomtadze, A. Derlicki, J. Gajewski, M. Kudla, S. Majewski, K. Pniewska, L. Ropelewski, J. Zakrzewski: Momentum and angular distributions of charged secondaries in 40 GeV/c  $\pi^+A$  interactions with single particle high  $p_{\perp}$  trigger; Preprint JINR E1-84-442, Dubna, 1984.

[5] E.G. Boos, A.M. Mosienko, H. Barwolff, A. Meyer, E. Denes, L. Diosy, T. Gemesy, L. Jenik, J. Krasnovszky, Gy. Pinter, I. Wagner, Gy. Adam, A.V. Bannikov, J. Bohm, S. Czellar, Ya. V. Grishkevich, I. Farago, B.A. Khomenko, N.N. Khovanskij, Z.V. Krumstein, Yu.P. Merekov, A.A. Nikolina, V.I. Petrukhin, K.Piska, K. Safarik, G.A. Shelkov, L.G. Tkachev, V.V. Tokmenin, L.S. Vertogradov, S. Vyskocil, A. Valkarova, S. Valkar, P. Zavada, V. Krysteva, S. Nedev, V.N. Penev, A.I. Shklovskaya, L.L. Gabunia, E.Sh. Ioramishvili, A.B. Ivanova, A.K. Javrishvili, A.I. Kharchilava, T.A. Lomtadze, E.S. Mailjan, L.A. Razdolskaja, L.B. Shalamberidze, L.D. Tchikovani, W. Dominik, L. Ropelewski,

J. Zakrzewski: Charged particle spectra in  $\pi p$ ,  $\pi d$  and  $\pi C$  interactions at 38 GeV/c with single-particle high  $p_{\perp}$  trigger; Preprint JINR E1-87-398, Dubna, 1987.

[6] A.V. Bannikov, J. Bohm, Ya.V. Grishkevich, Z.V. Krumstein, Yu.P. Merekov, V.I. Petrukhin, K. Piska, K. Safarik, G.A. Shelkov, L.S. Vertogradov, S. Valkar, P. Zavada, A.K. Javrishvili, A.I. Kharchilava, T.A. Lomtadze, W. Dominik: Evidence for higher twist mechanisms in high  $p_{\perp}$   $\pi^- p$  events with prompt  $\rho^0$  production at 38 GeV/c; Preprint JINR E1-88-476, Dubna, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 июня 1989 года