

Л-394

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛЕДНИЦКИ Рихард

УДК 539.12

539.17

МНОЖЕСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТИЦ И РЕЗОНАНСОВ
В АНТИПРОТОН-ПРОТОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ,
КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ И СПИНОВЫЕ ЭФФЕКТЫ.

Специальность: 01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук

Дубна - 1990 г.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник

ВОЛКОВ
Михаил Константинович

доктор физико-математических наук,
профессор

ЛЕКСИН
Георгий Александрович

доктор физико-математических наук,
профессор

ШЛЯПНИКОВ
Павел Валентинович

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

Защита диссертации состоится "29" ноября 1990 г. в
10³⁰ час. на заседании Специализированного совета Д-047.01.02
при Лаборатории высоких энергий Объединенного института
ядерных исследований по адресу: г. Дубна, Московской области,
Лаборатория высоких энергий ОИЯИ, конференц-зал ЛВЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "25" сентября 1990 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета

М.Ф.Лихачев



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы множественного образования частиц, прежде всего, обусловлена тем обстоятельством, что ее понимание весьма существенно для выявления закономерностей кварковых взаимодействий на больших расстояниях. Согласно современным представлениям, механизм множественного образования частиц тесно связан с удержанием кварков, что подразумевает существование универсального струйного процесса. Хотя решение проблемы удержания еще далеко от своего завершения, был создан целый ряд кварк-партонных моделей, успешно описывающих многие закономерности сильных взаимодействий. Примечательной чертой этих моделей является возможность описания как электрослабых, так и сильных взаимодействий на основе единых функций распределения кварков в адронах. Это обстоятельство широко используется для извлечения из данных по множественному рождению распределений кварков в мезонах, гиперонах и ядрах (в кумулятивной области), которые трудно получить другим способом. Интерпретация экспериментальных данных с точки зрения этих представлений имеет важное значение, с одной стороны, для проверки предположений, лежащих в их основе, и с другой — для углубления наших знаний о природе сильных взаимодействий.

Уже простейшие кварк-партонные модели, основанные на SU(6)-спиновой комбинаторике, в соответствии с экспериментом предсказали обильное образование резонансов в множественных процессах. Следует подчеркнуть, что резонансы дают более прямую и более богатую информацию о механизме взаимодействия, чем пионы, каоны или нуклоны. В частности, угловые распределения частиц от распада резонансов с ненулевым спином дают информацию о спиновой зависимости изучаемого процесса. В определенной степени это эквивалентно использованию поляризованного пучка, или мишени, или же измерению поляризации вторичных нуклонов. Исследование спиновых эффектов стало особенно актуальным в свете обнаружения значительной поляризации гиперонов в адронных взаимодействиях при высоких энергиях.

Изучение отдельных каналов реакций при первичных импульсах выше 10 ГэВ/с становится весьма затруднительным из-за

возрастающей множественности образующихся частиц, в том числе нейтральных. В связи с этим был разработан так называемый инклюзивный подход, при котором изучаются характеристики одной или нескольких выделенных частиц, причем остальные частицы не принимаются во внимание. Одночастичные инклюзивные спектры дают довольно ограниченную, хотя и весьма полезную информацию о динамике множественного образования частиц. Для более детального изучения этих процессов широко применяется анализ коллективных переменных и корреляций частиц. Важным примером последних являются корреляции частиц с близкими скоростями, позволяющие оценить пространственно-временные размеры области генерации. Подчеркнем, что для выявления нетривиальных эффектов большое значение имеет сравнение данных с предсказаниями моделей, учитывающих известные особенности процессов множественной генерации и доведенных до стадии розыгрыша искусственных событий.

Особый интерес к антипротон-протонным взаимодействиям связан с уникальной возможностью изучения аннигиляционных процессов, в которых барион и антибарион превращаются в мезоны. Их характерной особенностью является большая множественность образующихся частиц (по сравнению с другими адронными взаимодействиями, в которых около половины энергии в СМ уносится лидирующими частицами), что дает возможность для изучения множественных процессов даже при сравнительно низких энергиях. Например, множественность частиц в $\bar{p}p$ -аннигиляции при 20 ГэВ/с совпадает с множественностью в pp -взаимодействиях при ~ 100 ГэВ/с. В то время, как мезон-нуклонные и нуклон-нуклонные взаимодействия изучены в широкой области энергий, к началу нашего эксперимента не было данных о множественном образовании частиц во взаимодействиях антипротонов с протонами при импульсе больше 10 ГэВ/с. Поэтому около 15 лет тому назад в крупнейших ускорительных лабораториях мира начались эксперименты с пучками антипротонов высоких энергий: пучки с импульсами 22,4 и 32 ГэВ/с были получены в ИФЭЗ (Протвино) и с импульсом 100 ГэВ/с во FNAL (Батавия). В качестве многочастичных детекторов использовались крупные жидководородные пузырьковые камеры. В ИФЭЗ это были камеры "Люд-

мила" и "Мирабель".

Цель работы состояла в получении экспериментальных данных по множественной генерации частиц и резонансов в $\bar{p}p$ -взаимодействиях в серпуховской области энергий, сопоставление их с данными других экспериментов и с теоретическими предсказаниями. В том числе ставились следующие задачи:

- 1) получение оценок характеристик аннигиляционных процессов путем сравнения $\bar{p}p$ - и pp -взаимодействий;
- 2) изучение корреляций частиц с близкими скоростями и измерение размеров области генерации;
- 3) исследование спиновых эффектов в процессах образования частиц и резонансов.

Указанные задачи потребовали решения ряда методических проблем, в том числе:

- разработки процедуры определения оптических констант камеры "Людмила";
- определения точностных характеристик измеряемых треков и оценки влияния систематических искажений;
- учета нелинейных искажений пленки;
- создания методов и программ анализа данных;
- разделения спектров неидентифицированных частиц.

Основной экспериментальный материал, используемый в диссертации, содержит 62830 событий неупругих $\bar{p}p$ -взаимодействий, полученных на 2-м жидководородной пузырьковой камере ОИЯИ "Людмила", облученной сепарированным пучком антипротонов на ускорителе ИФВЭ (Протвино). Для изучения угловых распределений в распадах ρ^0 - и ω -мезонов использовались также 35549 событий реакции $\bar{p}p \rightarrow 2\pi^+2\pi^-$ + нейтральные при 5,7 ГэВ/с, 86102 событий неупругих $\bar{p}p$ -взаимодействий при 12 ГэВ/с и 206617 событий неупругих pp -соударений при 24 ГэВ/с, полученных на 80-см и 2-м жидководородных пузырьковых камерах CERN. Проводился также анализ опубликованных данных других экспериментов, в частности, при рассмотрении вопросов о спине-четности $\chi^0(958)$ -мезона и порогового ρ -состояния.

Научная новизна работы заключается в получении новых экспериментальных данных по инклюзивным характеристикам частиц и резонансов в $\bar{p}p$ -взаимодействиях в недостигнутой ранее

области энергий. Спектры протонов и пионов были получены во всей доступной кинематической области благодаря применению оригинального метода статистической сепарации. Проведено систематическое сравнение данных с предсказаниями схемы дуальной топологической унитаризации (ДТУ), включая анализ пороговых эффектов.

Впервые наблюдалась и была изучена зависимость интерференционных корреляций тождественных пионов от их скорости, обусловленная, в частности, непрямим характером образования пионов.

Впервые получено аналитическое выражение для корреляционной функции двух произвольных частиц с близкими скоростями, учитывающее взаимодействие в конечном состоянии.

Определена спин-четность порогового ρ^0 -состояния и установлен дифракционный характер его образования в бинарных реакциях.

Определены матричные элементы распадов $X^0(958)$ -мезона для гипотез 0^- и 2^- , существенно использованные при установлении его псевдоскалярности.

Обнаружен эффект выстроенности спина ρ^0 -мезона в $\bar{p}p$ -взаимодействиях, неожиданный с точки зрения традиционных представлений. Предложена интерпретация этого эффекта, а также других поляризационных явлений, в рамках кварк-партоновой модели, учитывающей спин-орбитальное взаимодействие кварков с полем удержания.

Научно-практическая значимость результатов, полученных в диссертационной работе, состоит в следующем. Созданные процедуры обработки и анализа данных (в том числе, программа для вычисления корреляционной функции частиц с близкими скоростями) могут быть использованы и используются в других экспериментах. Вся совокупность полученных результатов может способствовать более глубокому пониманию природы адронных взаимодействий и использоваться при планировании новых экспериментов. В частности, обнаруженный эффект выстроенности спина ρ^0 -мезона стимулировал новые экспериментальные и теоретические исследования спиновых эффектов.

Апробация работы и публикации. Результаты, вошедшие в

диссертацию, докладывались автором на совещаниях международного сотрудничества по исследованиям на установке "Людмила", на семинарах Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, на совещаниях Камерного комитета и Ученого совета ОИЯИ, на III и IV Международных симпозиумах по физике высоких энергий и элементарных частиц (Синая, 1974 г. и Варшава, 1975 г.), на III и IV Европейских антипротонных симпозиумах (Стокгольм, 1976 г. и Барр-Страсбург, 1978 г.), на Арктической школе по физике (Акасломполо, 1982 г.) и на VII Международном симпозиуме по спиновым явлениям в физике высоких энергий (Протвино, 1986). Они представлялись также на международные конференции в Либлице-Праге (1974 г.), Тбилиси (1976 г.), Будапеште (1977 г.), Токио (1978 г.), Брессаноне (1980 г.), Мэдисоне (1980 г.), Лиссабоне (1981 г.) и Париже (1982 г.).

Основные результаты изложены в 54 публикациях.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Она содержит 250 страниц машинописного текста, в том числе 63 рисунка, 41 таблицу и библиографический список литературы из 365 наименований.

СОДЕЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность изучения процессов множественного рождения частиц в свете сложившейся экспериментальной и теоретической ситуации. Подчеркивается особый интерес к антипротон-протонным взаимодействиям и сформулированы основная цель исследования и положения, вынесенные на защиту.

В первой главе излагаются методические особенности $\bar{p}p$ -эксперимента при 22,4 ГэВ/с. Приведены основные характеристики 2-м жидководородной пузырьковой камеры "Людмила", системы фотографирования, магнитного поля, канала № 9 ускорителя ИФВЭ и сепарированного пучка антипротонов. Описаны процедуры обработки фильмовой информации, определения оптических констант установки "Людмила" и учета нелинейных искажений на пленке. Приведены точностные характеристики установки. Излагаются

процедуры определения топологических сечений $\bar{p}p$ -взаимодействий при 22,4 ГэВ/с, разделения спектров протонов и π^+ -мезонов и определения полных и дифференциальных сечений образования резонансов. Приведены основные характеристики полученных данных.

Интенсивность пучка составила 4-5 \bar{p} /цикл при мюонной примеси ~2% и примеси π^-/K^- -мезонов, не превышающей 1,5%. В 7 экспозициях камеры "Людмила" было набрано 381 тыс. стереофотографий, которые обрабатывались в 7 лабораториях сотрудничества Алма-Ата-Дубна-Кошице-Москва-Прага-Тбилиси-Хельсинки. События $\bar{p}p$ -взаимодействий измерялись на полуавтоматических микроскопах и на автомате HPD ОИЯИ. Обсчет измерений проводился по программам геометрической реконструкции MD-FRESH и кинематического анализа GRIND. Частицы с лабораторным импульсом меньше 1,5 ГэВ/с идентифицировались по плотности ионизации.

Поскольку в камере "Людмила" имеется практически одна реперная плоскость (реперные метки нанесены на поверхностях камерного стекла, эффективная толщина которого составляет ~10 см), мы не смогли воспользоваться стандартными программами определения оптических констант. С учетом этого обстоятельства нами была создана более универсальная программа MUNG. С ее помощью для каждой экспозиции установки определялись значения 44 оптических констант. Повторное их определение спустя некоторое время выявило возникновение нелинейной деформации пленки в процессе ее обработки. Поскольку эта деформация вносила заметный вклад в кривизну треков быстрых частиц, была разработана специальная процедура для ее учета. Изучение точностных характеристик камеры "Людмила" показало, что они характерны для прибора такого класса и позволяют проводить физический анализ на достаточно высоком уровне. Например, относительная ошибка в импульсе вторичных частиц равна 2,5%.

Были получены основные инклюзивные характеристики неупругих $\bar{p}p$ -взаимодействий при 22,4 ГэВ/с: топологические сечения, полные и дифференциальные сечения образования частиц и легких резонансов, угловые распределения в распадах резонансов, зависимость ассоциативной к протону множественности от

недостающей массы, корреляционные функции и распределения по коллективным переменным, например - по сферичности и углам принципиальной оси.

При получении характеристик частиц определенного сорта возникает трудность, связанная с ограниченной возможностью их идентификации. Так, при нашей энергии по плотности ионизации идентифицируются около 60% заряженных пионов и протонов и лишь 1% антипротонов. При построении одночастичных спектров эту трудность удалось преодолеть с помощью оригинального итерационного метода, использующего свойство CP-симметрии спектров в СДМ. На рис. 1

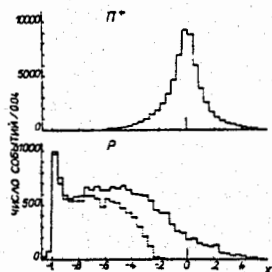


Рис. 1. Распределения по $x = p_1^*/p_{\max}^*$ для π^+ -мезонов и протонов в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22.4 ГэВ/с. Пунктирная гистограмма - идентифицированные протоны.

приведены сепарированные распределения π^+ -мезонов и протонов по фейнмановской переменной x . Видно, что восстановленный спектр протонов хорошо воспроизводит спектр идентифицированных протонов в области $x < -0,8$.

Определение сечений образования и других характеристик резонансов сопряжено с методическими трудностями, обусловленными комбинаторным фоном, влияние которого усиливается с ростом первичной энергии (рис. 2). Достоверное описание фона в области резонанса имеет поэтому важное значение. Мы исследовали различные способы построения фона и

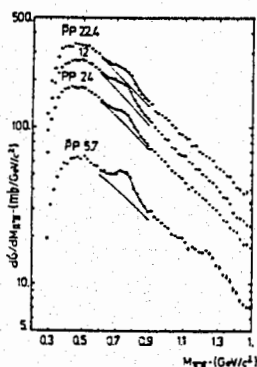


Рис. 2. Распределения по эффективной массе $\pi^+\pi^-$ -пар, образованных в $\bar{p}p$ - и pp -взаимодействиях при различных первичных импульсах (ГэВ/с).

остановились на использовании простейшей параметризации, учитывающей экспоненциальное убывание фона с ростом эффективной массы и пороговое подавление. С помощью искусственных событий, сгенерированных по цилиндрическому фазовому объему с учетом эффекта лидирования и образования резонансов, было проверено, что такая параметризация хорошо описывает поведение фона в достаточно широком интервале эффективных масс и не приводит к заметным систематическим ошибкам. В таблице I приведены сечения образования резонансов, полученные при подгонке спектров эффективных масс различных 2-частичных комбинаций. Неидентифицированным частицам присваивались массы пиона,

Таблица I

Резонанс	ρ^0	ω	f	$K^{*\pm}$	ϕ	Δ^{++}	Δ^0
σ , мбн	7,8 $\pm 0,6$	7,0 $\pm 1,1$	1,1 $\pm 0,3$	1,7 $\pm 0,3$	0,36 $\pm 0,17$	5,1 $\pm 0,4$	2,0 $\pm 0,4$

каона и протона. Сечение образования ω -мезона было определено по отражению распада $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ в спектре эффективных масс $\pi^+\pi^-$. Дифференциальные сечения образования резонансов определялись подгонкой спектров эффективных масс в отдельных интервалах данной кинематической переменной. Аналогичным образом были получены и другие дифференциальные характеристики резонансов, такие как угловые распределения частиц распада и зависимость $\langle p_{\perp} \rangle$ от x .

Во второй главе излагаются основные положения моделей множественного образования частиц. Инклюзивные и полуинклюзивные характеристики $\bar{p}p$ -взаимодействий при 22,4 ГэВ/с сравниваются с другими данными и с предсказаниями редже-феноменологии и кварк-партонных моделей.

При обсуждении данных последовательно учитываются ограничения, накладываемые схемой ДТУ, объединяющей подход кварковых фрагментационных моделей с редже-феноменологией. Следует подчеркнуть, что импульсные распределения конститuentов, а также фрагментационные функции, в рамках этой схемы, опреде-

ляются пересечениями реджевских траекторий. Особенно удобными для сравнения с экспериментом являются модели, доведенные до стадии генерирования искусственных событий. С одной из таких моделей (РКМГ), разработанной в Братиславе на основе идеологии кварк-партонной рекомбинационной модели, проведено детальное сравнение наших данных.

Большое внимание уделяется анализу вопроса о том, в какой степени отличие $\bar{p}p$ - и pp -взаимодействий обусловлено $\bar{p}p$ -аннигиляцией. Выяснение этого вопроса имеет не только важное теоретическое, но и практическое значение. Дело в том, что при первичных импульсах больше ~ 10 ГэВ/с практически вся информация о $\bar{p}p$ -аннигиляции извлекается разностным методом. На основании анализа имеющихся данных показано, что этот метод применим, по крайней мере, до первичных импульсов несколько десятков ГэВ/с. С его помощью были получены основные характеристики аннигиляционных $\bar{p}p$ -взаимодействий при 22,4 ГэВ/с.

Показано, что экспериментальные данные свидетельствуют в пользу струйного механизма образования частиц, причем количество и свойства струй согласуются со схемой ДТУ. В частности, наблюдаемое ужесточение спектров частиц в $\bar{p}p$ -аннигиляции объясняется вкладом процессов с аннигиляцией нуклонных конstituентов (в частности - цветового узла).

В рамках наивной схемы ДТУ (не учитывающей относительное движение конstituентов) для N -струйного процесса ожидается логарифмическая зависимость множественности от энергии, с наклоном, пропорциональным N , и относительная дисперсия распределения по множественности, обратно пропорциональная \sqrt{N} . Однако, энергетическая зависимость средней множественности существенно отличается от логарифмической. Что касается данных по относительной дисперсии, то они качественно согласуются с предсказаниями наивной схемы ДТУ в случае 3- ($\bar{p}p$ -аннигиляция), 2- (pp) и 1- (K^-p-K^+p) струйных процессов, но в эту схему не вписываются данные по 1-струйной e^+e^- -аннигиляции. Показано, что эти противоречия устраняются, если учесть пороговые эффекты, обусловленные движением конstituентов, и размножение струй.

Подробно обсуждаются одночастичные, корреляционные и

коллективные характеристики $\bar{p}p$ -взаимодействий при 22,4 ГэВ/с. Наблюдаемое равенство сечений образования ρ^0 - и ω -мезонов согласуется с обычным предположением о некогерентности кварковых рекомбинационных амплитуд. В то же время, полученное отношение выходов Δ^{++} - и Δ^0 -изобар ($R = 2,5 \pm 0,5$) противоречит такому предположению - SU(6)-спиновая комбинаторика требует $R = 3/4$. Это обстоятельство указывает на преобладающий вклад обменных (когерентных) механизмов в процесс фрагментации $p \rightarrow \Delta$ (обмен изоспином 1 дает $R = 3$). Следует заметить, что сечение образования ρ^0 - и ω -мезонов в РКМГ вдвое выше. Хорошее согласие с экспериментом дает модель слияния кварков, в которой учитывается нарушение SU(6)-симметрии массовым фактором типа Дрелла-Яна.

На рис. 3 приведены распределения π^+ -мезонов по продольной быстрой. Видно уменьшение асимметрии этих распределений с ростом множественности, связанное с уменьшением вклада "периферических" процессов и с увеличением доли аннигиляции. РКМГ качественно описывает эти распределения, в том числе и

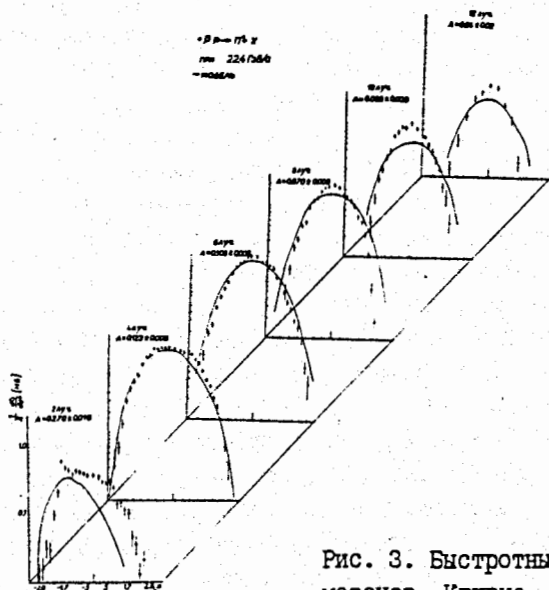


Рис. 3. Быстротные распределения π^+ -мезонов. Кривые - расчет по РКМГ.

асимметрию, для множественностей $n_{\pm} > 2$. Наблюдаемое отличие для 2-лучевых событий частично связано с большим вкладом процесса дифракционной диссоциации, который в модели не учитывается.

РКМГ однако не воспроизводит сужение спектров по быстроте с ростом n_{\pm} и увеличение их асимметрии с ростом p_{\perp} , она занижает сферичность событий (рис. 4), недооценивает наклон принципиальной оси и кластеризацию частиц. Эти обстоятельства указывают на необходимость учета многоструйности процесса генерации, требуемой схемой ДТУ.

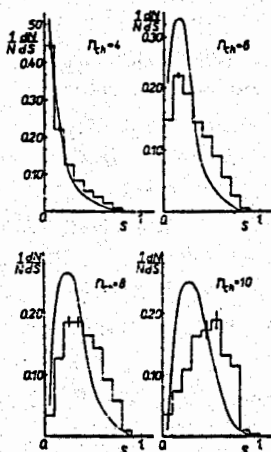


Рис. 4. Распределения по сферичности. Кривые - расчет по РКМГ.

В третьей главе приводятся результаты теоретического и экспериментального исследования корреляций частиц с близкими скоростями. Выявляется связь этих корреляций с пространственно-временными характеристиками области генерации частиц. Изложена процедура определения размеров области генерации пионов в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с. Изучается зависимость этих размеров от направления вылета и скорости пар пионов. Экспериментальные результаты интерпретируются с привлечением движущихся источников - резонансов.

Связь корреляций тождественных частиц с размерами области генерации хорошо известна. В астрономии двухфотонные корреляции используются для измерения размеров звезд методом Ханбери-Браун и Твисса. В работах Копылова и Подгорецкого этот метод был приспособлен для измерения размеров масштаба ядерных. В случае, когда можно пренебречь взаимодействием между частицами, эта связь обусловлена симметризацией (антисимметризацией) амплитуды процесса по импульсам тождественных частиц. В результате, корреляционная функция, например, двух тождественных пионов максимальна при нулевой разности их им-

пульсов и спадает с увеличением этой разности - ширина интерференционного пика характеризует пространственно-временные размеры области генерации; отношение высоты пика к высоте плато равно 2.

Измеренная на эксперименте высота пика корреляционной функции тождественных пионов оказалась меньше 2, что было учтено введением дополнительного параметра λ , который иногда называют степенью некогерентности. Нами проанализированы причины этого подавления и установлена связь параметра λ со вкладом частиц от слишком "узких" или слишком "широких" источников.

В связи с обильным образованием резонансов в множественных процессах рассмотрены особенности интерференционных корреляций распадных пионов. Пространственно-временные параметры R и τ в этом случае определяются пробегами резонансов. Выявляется их специфическая зависимость от скорости \vec{v} пары частиц. В частности, если импульс распада заключен в небольшом интервале, то параметры R и τ уменьшаются с увеличением v , причем $\gamma v \tau \approx \text{const}$ (γ - лоренцевский фактор пары).

При рассмотрении корреляций взаимодействующих частиц необходимо учесть эффект взаимодействия в конечном состоянии (ВКС). Существенно, что, как и эффект бозе (ферми)-статистики, эффект ВКС зависит от размеров области генерации частиц. Такого рода зависимость изучалась в явной форме еще в ранней работе Балдина и Лебедева, посвященной фоторождению медленных пионов на атомных ядрах. Численный расчет влияния ВКС на корреляции нерелятивистских протонов был проведен Куниным. Нами получены аналитические выражения, описывающие вклад ВКС в корреляционную функцию произвольных частиц с близкими, но сколь угодно большими скоростями. Этот вклад уменьшается с увеличением пространственно-временных размеров области генерации частиц и с увеличением их скорости. Для наблюдаемого усиления нуклонных корреляций (рис. 5) предлагается объяснение в рамках модели трубки.

Параметры R и τ обычно определяются подгонкой корреляционной функции R в зависимости от одной или двух переменных. Такая процедура корректна только при достаточно большой ста-

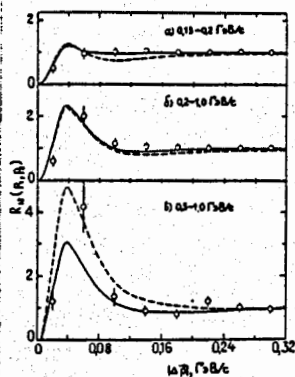


Рис. 5. Двухпротонная корреляционная функция, измеренная в $p^{20}\text{Ne}$ -соударениях при 300 ГэВ/с для разных интервалов импульсов образованных протонов. Сплошные кривые соответствуют гауссовским распределениям точек генерации с параметрами (а) $\Gamma_0 = 4$ фм, $\sigma_0 = 1$ фм, (б) $\Gamma_0 = 2$ фм, $\sigma_0 = 1$ фм, (в) $\Gamma_0 = 1,5$ фм, $\sigma_0 = 1$ фм; штриховые кривые - (а) $\Gamma_0 = 1,5$ фм, $\sigma_0 = 60$ фм, (б) $\Gamma_0 = 1,5$ фм, $\sigma_0 = 7$ фм, (в) $\Gamma_{01} = 1,5$ фм, $\Gamma_{01} = 0,5$ фм, $\sigma_0 = 1$ фм.

тистике и в определенной степени зависит от выбора шага соответствующих гистограмм. Эти ограничения особенно сказываются в случае многомерного анализа. Указанные недостатки не имеет предложенный нами метод, основанный на поиске максимума функции правдоподобия: $P = \Pi_1 [R_1 / \sum_j R_j]$, где 1 (j) нумерует все пары тождественных (фоновых) частиц. Суть метода состоит в замене нормировочного интеграла его "Монте Карло" оценкой $\sum_j R_j$. Новый метод анализа позволил провести 3-мерный анализ интерференционного эффекта и выявить его существенную зависимость от скорости пионных пар в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с. Так, для параметров α_0 и α_L в параметризации $\tau^2 = \alpha_0 + \alpha_L / v^2$ получены значения $-4,9 \pm 1,3$ и $4,8 \pm 1,2$ фм², соответственно, т.е. $\gamma\tau \approx 2,2$ фм. Этот результат согласуется с тем обстоятельством, что около 60% пионных пар содержит хотя бы один пион от распада ρ -мезона. Оказывается, что квадрат инвариантного размера области генерации ρ -мезонов и части пионов примерно вдвое меньше значения, полученного для всех пионов.

В четвертой главе анализируются спиновые эффекты в процессах образования адронов и вопросы определения спина-четности некоторых резонансов. Проводится сравнение данных по выстроенности спина, поляризации и поляризационной асимметрии адронов с предсказаниями релее-феноменологии и кварк-партон-

ных моделей.

Инвариантность амплитуды распада относительно преобразования пространственного поворота позволяет получить зависимость дифференциальной вероятности распада резонанса от углов Эйлера, характеризующих внешнюю ориентацию импульсов распадных частиц. Однако, этот общий формализм не выделяет зависимость амплитуды от остальных распадных переменных. При небольшом энерговыведении в распаде ее можно получить в рамках тензорного формализма — метод Земаха. Использование этого метода в случае распадов частиц со спином $J \geq 2$ приводит к исключительно трудоемким вычислениям. Предлагается значительно более экономный метод вычислений, совмещающий формализм D -функций с тензорным формализмом. С помощью этого метода решается вопрос о выборе наилучшего анализатора распада, т.е. анализатора, наиболее чувствительного к выстроенности спина резонанса. Метод используется также при анализе вопроса о спине-четности $X^0(958)$ -мезона.

Сомнения в псевдоскалярности X^0 -мезона возникли в 1968 г. после критической работы Заславского, Огиевецкого и Тыбора, в которой было показано, что псевдотензорная гипотеза тоже хорошо согласовалась с экспериментом. Ситуация оставалась неясной около 10 лет, несмотря на целый ряд работ, посвященных этому вопросу. В частности, в брукхэвэнском эксперименте были обнаружены анизотропии в распределениях Адейра, согласующиеся с гипотезой 2^- и исключющие 0^- на уровне 3 σ . Обнаруженные анизотропии, однако, не подтвердились в церновском эксперименте. Его авторы выполнили многомерный анализ Адейра, предложенный в наших работах и пришли к заключению, что их данные однозначно исключили гипотезу 2^- и окончательно установили псевдоскалярность X^0 -мезона. Оказалось, однако, что, с учетом возможных отклонений от условия коллинеарности, эти данные исключали гипотезу 2^- на уровне $\sim 2 \sigma$. Решающим оказался околороговый эксперимент, выполненный в Сакле в 1977 г., который исключил псевдотензорную гипотезу на уровне $\sim 3 \sigma$. При этом существенно использовались наши предсказания для анизотропий распределений Адейра.

Подчеркнем, что методы анализа распадов и корреляций

между образованием и распадом X^0 -мезона, изложенные в диссертации, имеют общий характер и могут оказаться полезными и в других случаях. Аналогичное замечание относится и к анализу вопроса о спине-четности порогового ρ^0 -пика, наблюдаемого в малочастичных реакциях, в том числе, в реакции $\bar{p}r \rightarrow \bar{p}\rho^0$.

Анализ углового распределения в распаде $\Delta^{++} \rightarrow p\pi^+$ выявил существенную выстроенность спина Δ^{++} -изобары в $\bar{p}r$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с, согласующуюся с предсказанием модели однопионного обмена. В области $p_{\perp} > 0,6$ ГэВ/с наблюдаются изменение характера выстроенности, указывающее на смену механизма образования изобары.

Впервые наблюдалась выстроенность спина ρ^0 -мезона в $\bar{p}r$ -взаимодействиях (рис. 6). Вероятность ρ_{00}^T нулевой проекции

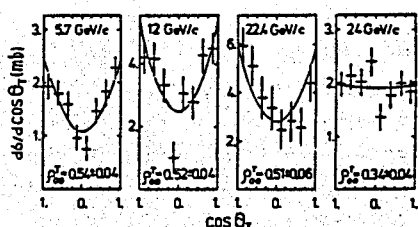
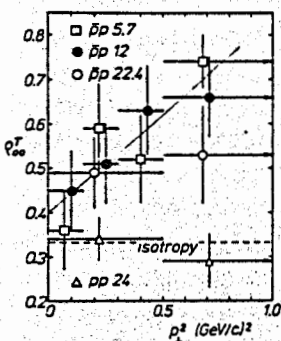


Рис. 6. Угловые распределения пионов от распада $\rho^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ в поперечной системе для реакций $\bar{p}r \rightarrow \rho^0\pi^+\pi^- + X^0$ при 5,7 ГэВ/с, $\bar{p}r \rightarrow \rho^0 + X$ при 12 и 22,4 ГэВ/с и $pr \rightarrow \rho^0 + X$ при 24 ГэВ/с.

спина ρ^0 -мезона на нормаль к плоскости реакции оказалась больше $1/3$. В то же время, в pr -взаимодействиях выстроенности спина ρ^0 -мезона не обнаружено. Это обстоятельство, а также, наблюдение эффекта выстроенности в неаннигиляционных $\bar{p}r$ -взаимодействиях при 12 ГэВ/с указывает на связь обнаруженного эффекта с процессом слияния валентных кварка и антикварка.

В кварк-партонном подходе выстроенность спина векторных мезонов тесно связана с поляризацией и поляризационной асимметрией в процессах адронной фрагментации. Поляризационные данные качественно согласуются с гипотезой о возникновении поляризации конstituента в результате спин-орбитального взаимодействия со скалярным полем удержания и с $SU(6)$ -симметрией кварк-адронных амплитуд перехода. Большое значение ρ_{00}^T в процессе слияния $q_v\bar{q}_v \rightarrow \rho$ является следствием того обстоятельства, что кварк и антикварк поляризуются приблизительно антипа-

раллельно и параллельно нормали к плоскости образования ρ -мезона. В пользу такой интерпретации свидетельствует усиление



эффекта с ростом ρ_{\perp} (рис. 7). Можно надеяться, что более строгое рассмотрение процессов кварк-адронных переходов приведет к количественному описанию совокупности поляризационных явлений и внесет вклад в понимание проблемы удержания цвета.

Рис. 7. Элемент ρ_{00}^T для тех же реакций, что на рис. 6.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

I. Решены методические проблемы, связанные с обработкой и анализом событий $\bar{p}p$ -взаимодействий, зарегистрированных с помощью установки "Людмила". В том числе:

- разработана универсальная процедура определения оптических констант трековых детекторов с оптическим съемом информации. С ее помощью получены оптические константы для всех экспозиций установки "Людмила";

- проведена полиномиальная аппроксимация измеренной карты магнитного поля установки "Людмила", что позволило при обсчете событий существенно сэкономить время и память ЭВМ;

- выявлена нелинейная деформация пленки и показано, что она возникает в процессе просмотра и измерения. Разработана и применена процедура учета этой деформации;

- получены точностные характеристики параметров треков в камере "Людмила" и оценено влияние ошибок на форму резонансных пиков. В частности показано, что ошибки приводят к увеличению ширины ρ^0 - и f_2 -мезонов на 11 и 20 МэВ, соответственно;

- для CP-симметричных реакций разработан метод разделения спектров одноименно заряженных частиц. С его помощью получены спектры протонов и π^+ -мезонов в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с;

- разработан метод корреляционного анализа, который осо-

бенно эффективен в многомерном случае. Метод применен для изучения эффекта интерференции тождественных пионов;

- разработан метод инклюзивного анализа распадных угловых распределений. Метод применен для исследования выстроенности спина ρ^0 -, ω - и Δ^{++} -резонансов.

2. Получены основные инклюзивные характеристики заряженных частиц и резонансов в неупругих $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с. В том числе:

- определены топологические сечения и моменты распределения по множественности заряженных частиц. Обнаружено подобие КНО-распределений для наших данных и для pp -взаимодействий в интервале первичных импульсов 50-200 ГэВ/с;

- определены инклюзивные и полуинклюзивные сечения образования пионов, протонов, ρ^0 -, ω -, f_2 -, K^* -, Δ^{++} - и Δ^0 -резонансов и получена верхняя оценка на сечение образования ϕ -мезона. Оценено, что около половины пионов образуется в результате распада легких резонансов (ρ , ω , f_2 , K^* , Δ). Обнаружено равенство удвоенных полуинклюзивных сечений рождения протонов с полуинклюзивными сечениями протонов в неупругих pp -соударениях при 24 ГэВ/с;

- получены спектры заряженных пионов, протонов, ρ^0 -, K^* - и Δ^{++} -резонансов по поперечным и продольным импульсам и продольной скорости;

- показано, что спектры π^+ -мезонов и протонов по p_{\perp}^2 описываются суперпозицией двух экспонент, а также - выражением, следующим из статистической модели с "температурой" 142 ± 1 и 104 ± 1 МэВ/с, соответственно. Спектры же ρ^0 -, K^* - и Δ^{++} -резонансов хорошо описываются одной экспонентой с наклонами, близкими к "универсальному" значению $3-4$ (ГэВ/с) $^{-2}$, наблюдаемому для легких резонансов. Показано, что вклад распадных пионов не объясняет полностью эффект двух наклонов;

- обнаружена зарядовая асимметрия в спектрах пионов по продольной скорости, увеличивающаяся с уменьшением множественности и с ростом поперечного импульса;

- изучена зависимость среднего поперечного импульса π^+ -мезонов, протонов, ρ^0 - и Δ^{++} -резонансов от продольного импульса. В частности найдено, что для ρ^0 -мезонов $\langle p_{\perp} \rangle$ в пределах

ошибок не зависит от p_{\perp} , в отличие от π^+ -мезонов, для которых наблюдается четко выраженный эффект "чайки", усиливающийся с ростом множественности;

- установлена факторизируемость инвариантных дифференциальных сечений образования π^+ -мезонов и протонов по поперечному импульсу и продольной скорости в области $|y^*| \leq 1.2$;

- изучена ассоциативная к протону множественность заряженных частиц во всем интервале изменения недостающей массы M_X . Впервые получены данные в области $M_X^2/s > 0.5$. Обнаружено изменение режима в поведении ассоциативной множественности и усиление кластеризации частиц в этой области;

- изучены корреляции частиц в пространстве скоростей и распределения по коллективным переменным - планарности, сферичности и направлению принципиальной оси.

3. Обоснован способ получения аннигиляционных характеристик из сопоставления данных по $\bar{p}p$ - и pp -взаимодействиям. Получены основные характеристики $\bar{p}p$ -аннигиляции при 22,4 ГэВ/с, в том числе:

- определены топологические сечения и моменты распределения по множественности заряженных частиц. Средняя множественность $\langle n_{\pm} \rangle = 6,9 \pm 0,2$ оказывается значительно больше, а относительная дисперсия $D/\langle n \rangle = 0,32 \pm 0,01$ - меньше, чем соответствующие величины для pp -соударений при той же энергии;

- обнаружена отрицательная корреляция между средней множественностью π^0 -мезонов и числом заряженных частиц. Показано, что эта корреляция обусловлена малым значением относительной дисперсии распределения по множественности;

- получены оценки сечений образования ρ^0 - и K^{*+} -мезонов, равные $4,3 \pm 0,7$ и $0,8 \pm 0,3$ мбн, соответственно. Таким образом, около половины этих мезонов образуется в аннигиляционном канале, хотя его доля составляет лишь ~20% от полного неупругого сечения;

- получена оценка среднего поперечного импульса заряженных пионов, составляющая 355 ± 8 МэВ/с и превышающая на 20% соответствующее значение для неаннигиляционного канала;

- обнаружено жесткое распределение пионов по Фейнмановской переменной x . Степень n в параметризации инвариантного сече-

ния $f_{\pi} \propto (1-|x|)^n$ составляет $2,4 \pm 0,3$, что существенно меньше значения $n \approx 4$, которое получено для $p\bar{p}$ -взаимодействий.

4. Проведено широкое сравнение экспериментальных данных с предсказаниями редже-феноменологии и кварк-партонных моделей. Выявлены недостатки этих моделей и намечены пути их усовершенствования. В том числе:

- показано, что инвариантное сечение образования пионов в области фрагментации протона в $p\bar{p}$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с хорошо описывается вкладами лидирующих редже-траекторий. Значительные нелидирующие вклады при более низких энергиях связываются в рамках схемы ДТУ с процессами аннигиляции двух или трех пар конstituентов;

- в рамках схемы ДТУ дана интерпретация эффекта ужесточения импульсного спектра пионов в $p\bar{p}$ -аннигиляции как результата аннигиляции конstituентов и соответствующего ужесточения распределения валентных кварков;

- найдено, что учет относительного движения адронных конstituентов позволяет согласовать предсказания схемы ДТУ с данными по распределениям множественностей образовавшихся частиц. Показано, что пороговые эффекты проявляются в средней множественности вплоть до энергии ~ 10 ГэВ в СИМ, в отличие от относительной дисперсии, для которой, в соответствии с экспериментом, получено квазискейлинговое поведение;

- сравнительный анализ событий $p\bar{p}$ -взаимодействий при 22,4 ГэВ/с и событий, сгенерированных по рекомбинационной кварковой модели (РКМГ) показал, что модель удовлетворительно описывает одночастичные распределения для множественностей $n_{\pm} \geq 4$, включая зависимость зарядовой асимметрии от множественности, и, в отличие от модели цилиндрического фазового объема, хорошо воспроизводит выстроенность частиц в плоскости поперечных импульсов. Однако, модель не описывает усиление зарядовой асимметрии с ростом p_{\perp} , существенно занижает значение сферичности, не воспроизводит уширение углового распределения принципиальной оси с ростом множественности и дает недостаточную кластеризацию частиц по продольной быстроте. Аргументируется, что указанные недостатки модели можно устранить,

если учесть многоструйный характер множественной генерации частиц, предсказываемый схемой ДТУ;

- найдено, что модель слияния кварков, учитывающая нарушение $SU(6)$ -спиновой статистики массовым фактором типа Дрелл-Яна, хорошо описывает сечения образования ρ^0 - и ω -мезонов в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с, в то время, как РКМГ значительно завышает выходы этих мезонов;

- получено указание на существенную роль обмена с изоспином 1 при образовании Δ -изобар в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с. Отмечается, что кварк-партонные рекомбинационные модели, вследствие своего некогерентного характера, применимы лишь для описания процессов с достаточно большими передаваемыми импульсами.

5. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование корреляций частиц с близкими скоростями. Выявлена связь этих корреляций с пространственно-временными параметрами области генерации частиц. В частности:

- рассмотрена генерация тождественных пионов источниками с существенно различными пространственно-временными размерами. Показано, что в такой ситуации, отношение высоты наблюдаемого интерференционного максимума к высоте плато может оказаться существенно меньше 2, в зависимости от вклада пионов от слишком "узких" или слишком "широких" источников;

- показано, что формулы для интерференционных корреляций, полученные с привлечением аппарата когерентных состояний, являются предельными случаями более общих соотношений, которые к тому же следуют из существенно более простого представления о независимых одночастичных и многочастичных источниках;

- рассмотрены особенности интерференционного эффекта в случае, когда пионы генерируются источниками - резонансами. Выявлена специфическая зависимость соответствующих пространственно-временных параметров от скорости и угла вылета пары пионов. Получено выражение для корреляционной функции в случае каскадного распада резонанса;

- получены формулы и создана программа для вычисления вклада взаимодействия в конечном состоянии в корреляционную функцию двух произвольных частиц, имеющих близкие, но сколь

угодно большие скорости. Показано, что эффект взаимодействия в конечном состоянии уменьшается с увеличением пространственно-временных размеров области генерации частиц и с увеличением их скорости;

- изучен эффект интерференции тождественных пионов в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с. Средний размер области генерации $R = 2,4 \pm 0,3$ фм оказывается несколько больше, чем в неаннигиляционных взаимодействиях адронов при близких энергиях. Обнаружена зависимость эффекта от скорости пионов и найдено, что область генерации характеризуется, по крайней мере, двумя наборами пространственновременных параметров: $R, \sigma \sim 2$ фм и $R, \sigma \sim 1$ фм. Показано, что эти результаты согласуются с тем обстоятельством, что $\sim 60\%$ пионных пар содержит хотя бы один пион от распада ρ -мезонов.

6. Проведено экспериментальное и теоретическое исследование спиновых эффектов в процессах образования частиц и резонансов. В том числе:

- разработан метод экономного построения дифференциальной вероятности распада резонанса с произвольным спином, совмещающий общий формализм D-функций с тензорным формализмом;

- поставлен и проанализирован вопрос о выборе наилучшего анализатора распада, наиболее чувствительного к выстроенности спина резонанса;

- рассмотрена возможность измерения поляризации очарованного бариона Λ_c^+ и параметров асимметрии его распадов. Получены угловые распределения и сделаны оценки ошибок;

- проделан анализ существующих экспериментальных данных по образованию порогового ρ_0 -пика в реакциях типа $ap \rightarrow a\rho_0$. Показано, что данные согласуются с интерпретацией значительной доли пика как s-волнового состояния со спином 3/2, образующегося дифракционно, с сохранением t-канальной спиральности;

- проанализирован вопрос о спине-четности $X^0(958)$ -мезона. Показано, что существующие экспериментальные данные по распадам X^0 одинаково хорошо согласуются как с псевдоскалярной, так и с псевдотензорной гипотезами. Полученные при этом матричные элементы существенно использовались при установлении псевдоскалярности X^0 с помощью анализа Адейра;

- обнаружена выстроенность спина Δ^{++} -изобары в реакции $\bar{p}p \rightarrow \Delta^{++} + X$ при 22,4 ГэВ/с. Полученные значения вероятности спиновых проекций $\pm 1/2$ на ось z , равные $0,80 \pm 0,06$ в системе Готтфрида-Джексона, и $0,42 \pm 0,06$ в поперечной системе, хорошо согласуются с предсказаниями модели однопионного обмена с учетом поглощения. Наблюдается изменение характера выстроенности спина в области $p_{\perp} > 0,6$ ГэВ/с;

- Впервые наблюдалась выстроенность спина ρ^0 -мезона в $\bar{p}p$ -взаимодействиях. Вероятность нулевой проекции спина на нормаль к плоскости реакции оказалась больше $1/3$ и составила $0,55 \pm 0,04$, $0,53 \pm 0,04$ и $0,51 \pm 0,06$ при 5,7, 12 и 22,4 ГэВ/с, соответственно. Обнаружен рост выстроенности спина с p_{\perp} . Наблюдение эффекта выстроенности в неаннигиляционных $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 12 ГэВ/с и его отсутствие в pp -соударениях указывают на связь обнаруженного эффекта с процессом слияния валентных кварка и антикварка;

- показано, что даже без регистрации нейтрального пиона от распада $\omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$, в принципе можно определить выстроенность спина ω -мезона по отношению к оси реакции. С помощью этого метода получено указание на различный характер выстроенности спина ω - и ρ^0 -мезонов в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 5,7 ГэВ/с;

- показано, что экспериментальные данные по выстроенности спина, поляризации и поляризационной асимметрии адронов можно качественно объяснить в рамках рекомбинационной кварковой модели, учитывающей спин-орбитальное взаимодействие конstituентов с полем удержания.

Результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в работах:

1. Р.Ледниcki, И.С.Саитов, "Программа MUNG для определения оптических констант", Депонированное сообщение ОИЯИ, Б2-10-7737, Дубна, 1974.
2. А.Валкарова, Р.Ледниcki, В.И.Молостцова, "Определение оптических констант установки "Людмила"", ОИЯИ, I-12356, Дубна, 1979.
3. И.А.Коржавина, Р.Ледниcki, "Аппроксимация магнитного поля установки "Людмила" для программы геометрической

- реконструкции". Депонированное сообщение ОИЯИ, БЗ-13-7354, Дубна, 1973.
4. И.М.Граменицкий, Н.Б.Дашьян, Р.Ледниcki, В.И.Молоstвова, Л.А.Тихонова, Т.П.Топурия, Учет нелинейных искажений на пленке с установки "Людмила". Модификация программы THRESH", Депонированное сообщение ОИЯИ, Б1-1-12325, Дубна, 1978.
 5. Б.В.Батюня,..., Р.Ледниcki и др., "Распределение по множественности частиц в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при импульсе 22,4 ГэВ/с", ЯФ 36 (1982) 403.
 6. L.N.Abesalashvili,..., R.Lednicky et al., "Analysis of Topological Cross Sections in $\bar{p}p$ Interactions at 22.4 GeV/c", Phys. Lett. 52B (1974) 236.
 7. Э.Г.Боос, ..., Р.Ледниcki и др., "Исследование инклюзивного рождения γ -, K^0 -, Λ -, $\bar{\Lambda}$ -частиц в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при импульсе 22,4 ГэВ/с", ЯФ 29 (1979) 374.
 8. E.G.Boos,..., R.Lednicky et al., "Inclusive and Semi-Inclusive Production of Positive Pions and Protons in $\bar{p}p$ Interactions at 22.4 GeV/c", Nucl. Phys. B174 (1980) 45.
 9. Б.В.Батюня,..., Р.Ледниcki и др., "Определение сечений, средних множественностей и коэффициентов неупругости при образовании нейтральных π - и K -мезонов в $\bar{p}p$ -аннигиляционных взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с", ЯФ 39 (1984) 1182.
 10. R.Lednicky, "Antiproton Collisions", Arctic School of Physics, Akaslompolo, 1982; Lecture Notes in Physics 181 (1983) 630; Czech. J. Phys. B33 (1983) 1177.
 11. Р.Ледниcki, "Сравнение процессов множественного образования частиц в антипротон-протонных взаимодействиях и других реакциях", ЭЧАЯ 15 (1984) 617.
 12. E.G.Boos,..., R.Lednicky et al., "Single Particle Inclusive Spectra of Charged Particles in $\bar{p}p$ Interactions at 22.4 GeV/c", Nucl. Phys. B121 (1977) 381.
 13. E.G.Boos,..., R.Lednicky et al., "Inclusive ρ^0 Production in $\bar{p}p$ Interactions at 22.4 GeV/c", Nucl.Phys. B137 (1978) 29.
 14. E.G.Boos,..., R.Lednicky et al., "Inclusive Production of

- $\Delta^{++}(1235)$ in $\bar{p}p$ Interactions at 22.4 GeV/c", Nucl. Phys. B151 (1979) 193.
15. B.V.Batyunya, ..., R.Lednicky et al., "Study of the Reaction $\bar{p}p \rightarrow \Delta^{++}(1232) + X$ at 22.4 GeV/c", JINR, E1-12297, Dubna, 1979.
 16. Б.В.Батюня, ..., Р.Леднишки и др., "Анализ образования ρ^0 -, ω -, f_2 и ϕ -мезонов в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с", ОИЯИ, PI-90-303, Дубна, 1990.
 17. B.V.Batyunya, ..., R.Lednicky et al., "The Description of Inclusive Characteristics in $\bar{p}p$ Interactions at 22.4 GeV/c in Terms of the Quark-Parton Model", Z. Phys. C5 (1980) 17.
 18. Б.В.Батюня, ..., Р.Леднишки и др., "Исследование реакции $\bar{p}p \rightarrow p + X$ при 22,4 ГэВ/с", ЯФ 33 (1981) 121.
 19. E.G.Boos, ..., R.Lednicky et al., "Charged Asymmetry at Large p_T in Inelastic $\bar{p}p$ Reactions at 22.4 GeV/c", Nucl. Phys. B128 (1977) 269.
 20. Э.Г.Боос, ..., Р.Леднишки и др., "Анализ выстроенности импульсов частиц в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с", ЯФ 31 (1980) 375.
 21. Б.В.Батюня, ..., Р.Леднишки и др., "Проверка гипотезы факторизации для лидирующих траекторий Редже в инклюзивных реакциях $\bar{p}p \rightarrow \pi + X$ и $\bar{p}p \rightarrow \Lambda + X$ в области фрагментации протона при 22,4 ГэВ/с", ЯФ 29 (1979) 942.
 22. E.G.Boos, ..., R.Lednicky et al., "Experimental Verification of Dual Unitarization Scheme", Phys. Lett. 85B (1979) 424.
 23. E.G.Boos, ..., R.Lednicky et al., "Inelastic $\bar{p}p$ Interactions at 22.4 GeV/c Compared with e^+e^- Annihilation into Hadrons", Z. Phys. C15 (1982) 287.
 24. R.Lednicky, "Two-Pion Correlations in $\bar{p}p$ Interactions at 22.4 GeV/c", Proc. III Europ. Symp. on Antinucleon-Nucleon Int., Stockholm, 1976, Wenner-Gren 29 (1977) 477.
 25. Б.В.Батюня, ..., Р.Леднишки и др., "Изучение эффекта интерференции тождественных частиц в $\bar{p}p$ -взаимодействиях при 22,4 ГэВ/с", ЯФ 27 (1978) 1556.
 26. B.V.Batyunya, ..., R.Lednicky et al., "Observation of the

- Dependence of the Interference Effect of Identical Pions on Pion Pair Velocity in Inclusive $\bar{p}p$ Interactions at 22.4 GeV/c", Czech. J. Phys. B31 (1981) 475.
27. Р.Леднишки. "Бозе-симметрия и множественное образование π -мезонов", Депонированное сообщение ОИЯИ, Б2-3-11460, Дубна, 1978.
 28. Р.Леднишки, М.И.Подгорецкий, "Интерференция тождественных частиц, испускаемых источниками разных размеров", ЯФ 30 (1979) 837.
 29. Р.Леднишки, М.И.Подгорецкий. "К вопросу о корреляциях тождественных частиц в системе "резонанс + частица"", ОИЯИ, P2-12302, Дубна, 1979.
 30. Р.Леднишки, М.И.Подгорецкий, "К вопросу об интерференционных корреляциях в системе "резонанс + частица"", ОИЯИ, P2-82-327, Дубна, 1982.
 31. Р.Леднишки, М.И.Подгорецкий, "Интерференционные корреляции в системе четырех пионов", ОИЯИ, P2-82-181, Дубна, 1982.
 32. Р.Леднишки, В.Л.Любошиц, М.И.Подгорецкий, "Интерференционные корреляции тождественных частиц в моделях с близко расположенными источниками", ЯФ 38 (1983) 251.
 33. Р.Леднишки, М.И.Подгорецкий, "Еще раз об угловом распределении импульсов тождественных пионов", ОИЯИ, P2-89-737, Дубна, 1989.
 34. Р.Леднишки, В.Л.Любошиц, "Влияние взаимодействия в конечном состоянии на парные корреляции частиц с малыми относительными импульсами", ЯФ 35 (1982) 1316.
 35. M.Gmitro, J.Kvasil, R.Lednický, V.L.Lyuboshitz, "On the Sensitivity of Nucleon-Nucleon Correlations to the Form of Short-Range Potential", Czech. J. Phys. B36 (1986) 1281.
 36. М.Л.Аллабердин, Р.Леднишки, В.Л.Любошиц, Б.С.Кудашев, "О механизме усиления парных корреляций нуклонов в адрон ядерных взаимодействиях", ЯФ 46 (1987) 1785.
 37. Л.Э.Генина, А.Н.Заславский, Р.Леднишки, "Об определении спин-четности χ^0 (960)-мезона в протон-антипротонной аннигиляции в покое", ЯФ 15 (1972) 1028.

38. L.E.Genina, R.Lednicky, A.N.Zaslavsky, "The Test for the $X^0(960)$ Spin", Proc. III Int. Symp. on High Energy and Elementary Part. Phys., Sinaia, 1973, JINR, D1,2-7781, Dubna, 1974, p. 337.
39. А.Н.Заславский, Р.Леднишки, В.И.Огиевецкий, "Замечания об анизотропиях в распределениях Эдейра для реакции $K^-p \rightarrow X^0\Lambda$ ", ЯФ 20 (1974) 203.
40. R.Lednicky, "About the Best $X^0(958)$ -Meson Spin Analyzer", JINR, E2-7801, Dubna, 1974.
41. R.Lednicky, "About $X^0(958)$ Spin Determination in the Reaction $K^-p \rightarrow X^0\Lambda$ ", JINR, E2-8652, Dubna, 1975.
42. Р.Леднишки, М.Д.Шафранов, "О возможности определения спина $X^0(958)$ -мезона в реакции $\pi^-p \rightarrow X^0n$, $X^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ", ЯФ 22 (1975) 837.
43. Р.Леднишки, "Об определении спина $X^0(958)$ -мезона в реакции $K^-p \rightarrow X^0\Lambda$ ", Депонированное сообщение ОИЯИ, Б6-2-9573, Дубна, 1976.
44. R.Lednicky, "About $X^0(958)$ Spin Determination", Czech. J. Phys. B26 (1976) 1242.
45. R.Lednicky, "The Problem of the $X^0(958)$ Spin, Part I. Dalitz Plot Analysis", JINR, E2-10521, Dubna, 1977.
46. R.Lednicky, "The Problem of the $X^0(958)$ Spin, Part II. Production and Decay Correlations", JINR, E2-10522, Dubna, 1977.
47. R.Lednicky, "The Problem of the $X^0(958)$ Spin, Part III. Multidimensional Analysis", JINR, E2-10567, Dubna, 1977.
48. Р.Леднишки, "Об определении поляризации очарованного бариона Λ_c^+ ", ЯФ 43 (1986) 1275.
49. R.Lednicky, "About Spin-Parity of ρ^0 Enhancement Near 1800 MeV", Phys. Lett. 58B (1975) 89.
50. B.V.Batyunya..., R.Lednicky et al., "Observation of the Spin Alignment of the ρ^0 Meson Produced in $\bar{p}p$ Interactions at 22.4 and 5.7 GeV/c", Czech. J. Phys. B31 (1981) 1353.
51. B.V.Batyunya..., R.Lednicky et al., "Polarization Effects in ρ^0 Meson Production in Antiproton-Proton Interactions at 22.4, 12 and 5.7 GeV/c", Phys. Rev.

Lett. 55 (1985) 562.

52. B.V.Batyunya, ..., R.Lednicky et al., "Study of ρ^0 Meson Spin Alignment in $\bar{p}p$ and pp Interactions", Nucl. Phys. B294 (1987) 1037.
53. R.Lednicky, "Polarization Effects in Hadron Fragmentation", Z. Phys. C26 (1985) 531; C33(1987) 474(E).
54. R.Lednicky, "Spin Effects as a Manifestation of Confined Quarks", Proc. 7th Int. Symp. on High Energy Spin Phys., Protvino, 1986, vol. II, p. 78.