

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

П-907

1-96-253

На правах рукописи
УДК 539.126.4

ПУХАЕВА
Нелли Ефимовна

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КОРРЕЛЯЦИИ
И ОБРАЗОВАНИЯ $f_2'(1525)$ МЕЗОНА
НА УСТАНОВКЕ DELPHI

Специальность: 01.04.16 — физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1996

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук А.Г. Ольшевский
кандидат физико-математических наук А.Г. Томарадзе

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук И.М. Дремин ФИ РАН
кандидат физико-математических наук А.П. Чеплаков ЛСВЭ ОИЯИ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

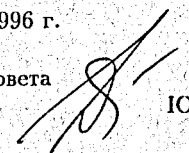
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ (г. Москва)

Защита диссертации состоится " " 1996 г. в ____ часов на заседании
Специализированного совета Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1996 г.

Ученый секретарь специализированного совета
доктор физико-математических наук


Ю.А. Барусов

Общая характеристика работы

Несмотря на несомненные достижения в квантовой хромодинамике (КХД), она все еще не в состоянии описать "мягкие" процессы фрагментации или адронизации цветных партонов (кварков и глюонов) в наблюдаемые бесцветные адроны. В попытках понять эти процессы в последние десятилетия проведены многочисленные эксперименты, в которых инклюзивное образование частиц исследовалось в сильных, слабых и электромагнитных взаимодействиях в широком диапазоне энергий. В отсутствие истинной теории, задача этих экспериментов состояла в установлении эмпирических закономерностей в образовании частиц, которые позволили бы создать и проверить феноменологические модели процессов адронизации, постоянно развиваемые по мере накопления новых экспериментальных данных.

Изучение процессов образования частиц в e^+e^- -аннигиляциях является более удобным, чем изучение этих же процессов в адронных реакциях. Процесс $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ с очень высокой точностью описывается электрослабой теорией, так называемой Стандартной Моделью¹. Теорией не описывается только последняя фаза этого процесса – превращение кварков и глюонов в экспериментально наблюдаемые частицы, т. е. фрагментация или адронизация. Так что и в процессах e^+e^- аннигиляции поиск закономерностей в образовании адронов все еще остается, в основном, задачей экспериментальной физики. Но и здесь положение к концу восьмидесятих годов выглядело не вполне удовлетворительным из-за достаточно ограниченной статистики выполненных к тому времени e^+e^- экспериментов.

Ситуация изменилась в лучшую сторону после запуска в 1989г. в CERN нового ускорителя LEP со встречными пучками электронов и позитронов. Новая область энергий и высокая светимость LEP, большая скорость набора данных в Z^0 -пике и улучшенные, по сравнению с предшествовавшими экспериментами возможности в регистрации частиц в четырех экспериментальных установках на LEP (ALEPH, DELPHI, L3 и OPAL), наконец, чистое, хорошо определенное промежуточное состояние e^+e^- -аннигиляции (Z^0 -бозон) сделали LEP I идеальным инструментом для детального исследования конечных адронных состояний и попыток описания адронных распадов Z^0 феноменологическими моделями, построенными на базе КХД.

Актуальность работы. Важным методом исследования процессов множественной генерации частиц является изучение эффектов корреляции между конечными частицами.

Так как множественность частиц в событии возрастает с ростом начальной энергии, корреляции между частицами меняют распределения этих частиц в

¹S. Weinberg, Phys. Rev. Lett. 19 (1967) 1264; A. Salam, Proceedings of the 8th Nobel Symposium edited by N. Svartholm (Almqvist and Wiksell, Stockholm, 1968), p.376; S. Glashow, Nucl. Phys. B22 (1961) 579.

струях, и понимание этих корреляций становится более важным. Соответственно, изучение корреляций при высоких энергиях связано с изучением свойств струй и с проверкой КХД моделей. Очевидным примером влияния корреляций на распределения частиц в струях является нарушение Брейт-Вигнеровской формы распределения инвариантных масс разноименно заряженных пионов от распадов широких резонансов². Этот эффект, который был обнаружен при LEP-овских энергиях, является результатом влияния Бозе-Эйнштейновских корреляций³. Было также показано, что измеренная масса W бозона на LEP200, вероятно, будет изменена влиянием Бозе-Эйнштейновских корреляций⁴. Поэтому учет корреляционных эффектов, так же как и разработка алгоритмов Бозе-Эйнштейновского эффекта и сравнение с экспериментальными данными при высоких энергиях, становятся необходимыми для точного измерения массы W бозона.

Эффекты корреляции, свойства источников этих эффектов, а также влияние корреляций на характеристики конечного состояния еще далеки от полного понимания. Для этого необходимы новые измерения, которые не были доступны раньше из-за экспериментальных трудностей.

Двухчастичные(трехчастичные) корреляции приводят к изменению вероятности наблюдения этих двух(трех) частиц в кинематической области, определенной четырехимпульсами рассматриваемых частиц. Двухчастичные пионные корреляции изучались интенсивно как в адрон-адронных взаимодействиях, так и e^+e^- -аннигиляциях при энергиях LEP. Однако, существует только очень ограниченное количество экспериментальных данных по трехчастичным корреляциям.

Исследование корреляционных эффектов высокого порядка, в частности, исследование трехчастичных корреляций является также важным звеном для понимания эффектов Бозе-Эйнштейновских корреляций. Трехчастичные корреляции являются следствием обычных двухчастичных корреляций или же следствием так называемых истинных трехчастичных корреляций, возникающих из-за взаимодействий всех трех рассматриваемых частиц. Измерение истинных трехчастичных корреляций связано с большими экспериментальными трудностями из-за необходимости большой статистики с высокой множественностью событий, поэтому вопрос существования истинных трехчастичных корреляций для однозарядных триплетов, $(+++)$ и $(---)$, пока еще открыт и нуждается в экспериментальном подтверждении.

Из-за трудности идентификации странных частиц и необходимости большой статистики очень ограниченной является также экспериментальная информация о характеристиках Бозе-Эйнштейновских корреляций между странными частицами.

Методом исследования многочастичных процессов является также изучение

²P.D. Acton et al. (OPAL Coll.), Z. Phys. C56 (1992) 521; P. Abreu et al. (DELPHI Coll.), Z. Phys. C65 (1995) 587.

³G. Lafferty, Z. Phys. C60 (1993) 659.

⁴L. Lönnblad and T. Sjöstrand, *Bose-Einstein effects and W mass determinations*, CERN-TH/95-17. Phys. Lett. B351 (1995) 293.

инклюзивных характеристик частиц и резонансов. Поскольку большая часть частиц, образующихся в процессе соударения, на самом деле, являются продуктами распада многочисленных резонансов, то особенно важны экспериментальные данные по инклюзивному образованию резонансов, несущих более прямую информацию о кварковой структуре адронов и механизмах взаимодействия кварков и глюонов. Отметим, что до сих пор не существуют экспериментальные данные об инклюзивном образовании некоторых резонансов, рождающихся с малыми сечениями и распадающихся на странные частицы, которые трудно идентифицировать. Например, рождение $f_2'(1525)$ резонанса наблюдалось только в эксклюзивных реакциях. Изучение инклюзивного образования этого состояния является необходимым для понимания динамики его рождения.

Высокая статистика, полученная с помощью установки DELPHI, а также хорошая идентификация конечных частиц позволяют изучать корреляции между странными частицами, а также исследовать характеристики резонансов, распадающихся на странные частицы.

Целью работы является

- экспериментальное исследование истинных трехчастичных корреляций.
- изучение корреляций между заряженными каонами (K^+K^+ и K^-K^- корреляции).
- изучение корреляций между нейтральными каонами ($K_S^0K_S^0$ корреляции).
- исследование инклюзивного образования $f_2'(1525)$ резонанса, реконструированного с помощью его распада в K^+K^- .

Научная новизна затронутых в диссертации проблем определяется, прежде всего, получением основанных на большой статистике новых результатов по адронным распадам Z^0 бозона в эксперименте DELPHI на LEP.

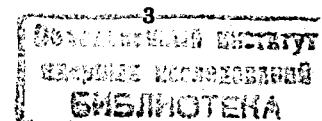
Впервые были обнаружены истинные трехчастичные корреляции для одноименно заряженных триплетов; было показано, что короткодействующие $(+++)$ и $(---)$ корреляции существуют в природе.

DELPHI является первым среди LEP экспериментов, где были изучены корреляции между заряженными каонами.

Впервые было наблюденно и исследовано рождение $f_2'(1525)$ мезона в инклюзивных реакциях.

Практическая ценность работы заключается в том, что представленные в диссертации данные могут быть использованы для развития теоретических моделей множественного образования частиц; могут быть применены при анализе событий на различных экспериментальных установках, а также при планировании новых экспериментов.

Один из результатов работы, измерение средней множественности $f_2'(1525)$ в адронных распадах Z^0 , будет включен в таблицу свойств частиц PDG (Particle Data Group).



Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения.

Апробация работы. Результаты исследований, составивших диссертацию, докладывались на научных семинарах Лаборатории Ядерных Проблем ОИЯИ, Института Физики Высоких Энергий ТГУ (Тбилиси), Межуниверситетского Института Высоких Энергий (Брюссель), Европейского Центра Ядерных Исследований (CERN). Материалы диссертации были представлены на международных конференциях по физике высоких энергий в Морионде (Франция, 1995г.), Брюсселе (Бельгия, 1995г.), Уппсале (Швеция, 1995г.), Старо-Лесне (Словакия, 1995г.), Морионде (Франция, 1996г.), на международных совещаниях эксперимента DELPHI; а также были представлены автором диссертации на международной конференции "Hadron 95" в Манчестере (Англия, 1995).

Диссертация написана на основе работ, выполненных в ОИЯИ и CERN в рамках международного сотрудничества по программе эксперимента DELPHI. Основное содержание диссертации опубликовано в журналах "Physics Letters", в качестве препринтов CERN и материалах конференций. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Содержание работы

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

В первой главе содержится краткое описание эксперимента DELPHI на e^+e^- коллайдере LEP. В этой же главе введены определения корреляционных функций, применяемые в дальнейшем для анализа Бозе-Эйнштейновских корреляций.

Вторая глава посвящена результатам экспериментального исследования трехчастичных корреляций. Приводится краткий перечень существующих результатов, полученных в других экспериментах. Представлены отбор событий и метод анализа данных. Основным результатом проведенного анализа является наблюдение истинных трехчастичных корреляций как для разноименно заряженных, так и для одноименно заряженных пионов.

На рисунке 1а показана полная трехчастичная корреляционная функция K_3'' для одноименно заряженных триплетов. Сильные положительные корреляции обнаружены в области малых значений разности четырехимпульсов Q . Однако, трехчастичная корреляционная функция K_3' , которая содержит вклад только от двухчастичных корреляций, тоже возрастает при малых Q . Рисунок 1а демонстрирует, что возрастание при малых Q для трехчастичных корреляций в основном обусловлено двухчастичными корреляциями, но некоторое превышение K_3'' над K_3' все же наблюдается в области малых Q .

Трехчастичные функции корреляции K_3'' и K_3' для разноименно заряженных

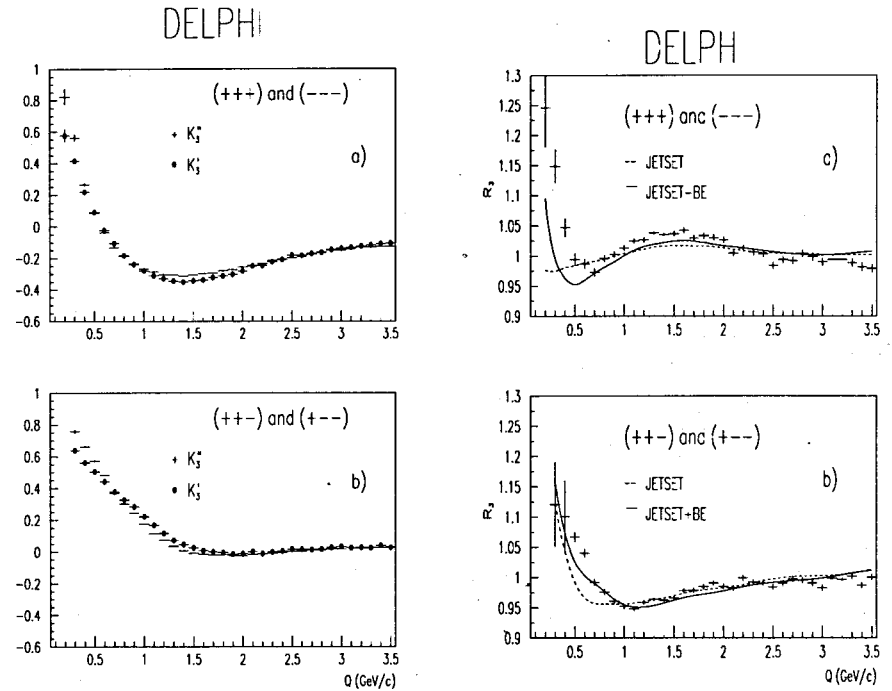


Рис. 1: Распределения по Q для полных трехчастичных корреляций.

Рис. 2: Распределения по Q для истинных трехчастичных корреляций.

триплетов представлены на рисунке 1б. Разница между K_3'' и K_3' функциями в области малых Q так же наблюдается и у разноименно заряженных триплетов.

Истинные трехчастичные корреляции $R_3 = K_3'' - K_3' + 1$ для одноименно заряженных триплетов показаны на рисунке 2а. Четкий сигнал, соответствующий короткодействующим трехчастичным корреляциям, наблюдается при $Q < 0.5$ ГэВ/с. Истинные трехчастичные корреляции также наблюдаются и для разноименно заряженных триплетов. Это показано на рисунке 2б, где функция $R_3(Q)$ построена для разноименно заряженных триплетов.

Обнаруженный эффект объясняется как следствие Бозе-Эйнштейновских корреляций высокого порядка. Были измерены величины параметров Бозе-Эйнштейновских корреляций третьего порядка:

$$\lambda_3 = 0.31 \pm 0.04(stat) \pm 0.07(syst) \quad (1)$$

$$r_3 = 0.63 \pm 0.03(stat) \pm 0.04(syst) \text{ fm}. \quad (2)$$

Экспериментальные данные сравниваются с разными модификациями JETSET Монте-Карло модели. Обсуждаются проблемы включения Бозе-Эйнштейновских корреляций в модели. Учет Бозе-Эйнштейновских корреляций в JETSET модели меняет не только распределения для $(+++)$ и $(---)$ конфигураций (рисунок 2а), но также и для $(+-)$ и $(-+)$ конфигураций (рисунок 2б), и приводит к лучшему согласию с экспериментальными данными. Модель с учетом Бозе-Эйнштейновских корреляций описывает удовлетворительно данные для $(+-)$ и $(-+)$ комбинаций (рисунок 2б) и предсказывает рост при малых Q для $(+++)$ и $(---)$ конфигураций (рисунок 2а).

Под влиянием Бозе-Эйнштейновских корреляций возрастает вероятность наблюдения частиц при малых относительных импульсах как для одноименно заряженных, так и для разноименно заряженных конфигураций, т.е. струя становится уже и, соответственно, масса струи меняется. Это наблюдение очень важно для многих задач при высоких энергиях, в частности, для точного измерения массы W бозона в экспериментах на LEP200.

В третьей главе представлены результаты исследования K^+K^+ и K^-K^- корреляций. Подробно описана методика получения фонового распределения. В данном анализе двухчастичная плотность вероятности K^+K^- пар использовалась как фоновая плотность вероятности. На рисунке 3а показано распределение по разности четырехимпульсов Q для одноименно и разноименно заряженных частиц. Частицы, использующиеся в этом анализе, были идентифицированы как заряженные каоны. Распределение для разноименно заряженных частиц было отнормировано на распределение одноименно заряженных частиц в интервале $0.6 < Q < 1.5$ ГэВ/с.

Особая процедура применялась для учета примеси K^+K^- пар от распада $\phi(1020)$ мезона в выборке разноименно заряженных пар. Результирующее распределение по Q для K^+K^- пар без примеси пар от распада ϕ мезона показано на рисунке 3б. На этом же рисунке показано распределение по Q для одноименно заряженных каонных пар. Четко наблюдается превышение одноименно заряженных каонных пар при значениях $Q < 0.5$ ГэВ/с. Отношение $R(Q)$ после применения всех коррекций показано на рисунке 4а. Корреляционная функция возрастает в области малых Q , что характерно для Бозе-Эйнштейновских корреляций. Этот рост можно параметризовать Гауссовской функцией. Результат аппроксимации показан в виде кривой на рисунке 4а.

Альтернативно, фоновое распределение было вычислено также с помощью Монте-Карло событий (без Бозе-Эйнштейновских корреляций) и отнормировано на распределение реальных событий в интервале $0.6 < Q < 1.5$ ГэВ/с. Результирующее $R(Q)$ -распределение показано на рисунке 4б. Там же сплошной кривой показан результат фита Гауссовской функцией.

Были измерены сила корреляции и радиус области испускания заряженных каонов:

$$\lambda = 0.82 \pm 0.11(stat) \pm 0.25(syst) \quad (3)$$

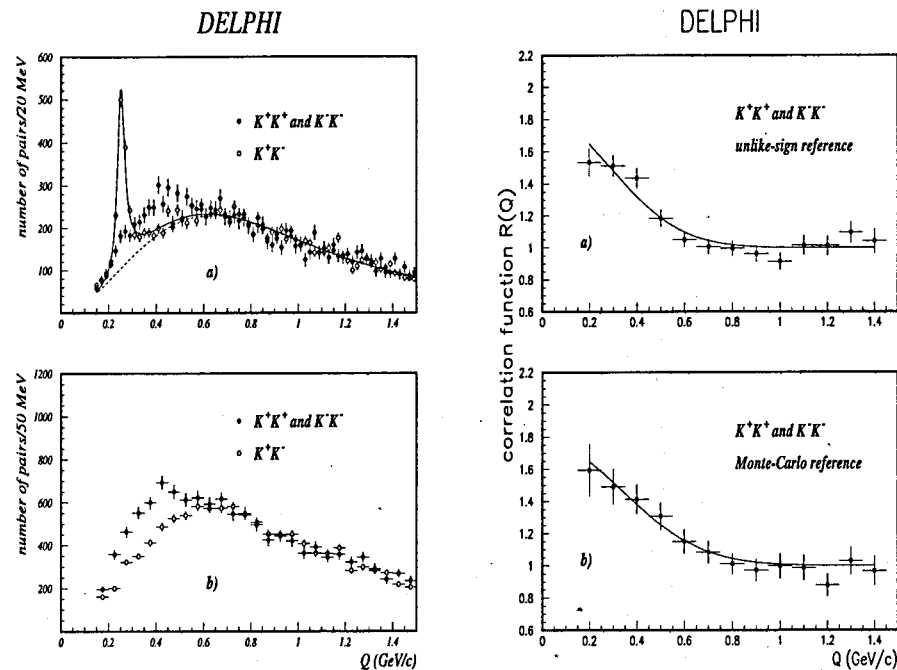


Рис. 3: (а) Распределения по Q для одноименно и разноименно заряженных каонных пар. (б) То же самое, что и (а), но без примеси от ϕ .

Рис. 4: Корреляционная функция для заряженных каонов: с использованием (а) разноименно заряженных каонов и (б) Монте-Карло событий для фона.

$$r = 0.48 \pm 0.04(stat) \pm 0.07(syst) \text{ fm}. \quad (4)$$

В этой же главе представлены результаты, полученные для $K_S^0K_S^0$ корреляций. Корреляционная функция возрастает в области малых Q . Этот рост можно параметризовать Гауссовской функцией. Величины параметров Бозе-Эйнштейновских корреляций для $K_S^0K_S^0$ равняются:

$$\lambda = 0.61 \pm 0.16(stat) \pm 0.16(syst) \quad (5)$$

$$r = 0.55 \pm 0.08(stat) \pm 0.12(syst) \text{ fm}. \quad (6)$$

Величины параметров Бозе-Эйнштейновских корреляций полученные для $K_S^0K_S^0$ согласуются с величинами, полученными для K^+K^+ и K^-K^- .

Данные, полученные в этой главе, сравниваются с данными для пионных и каонных корреляций, полученными в экспериментах на LEP. Измеренное

значение силы Бозе-Эйнштейнских корреляций согласуется с предположением о существовании максимальной интерференции между каонами.

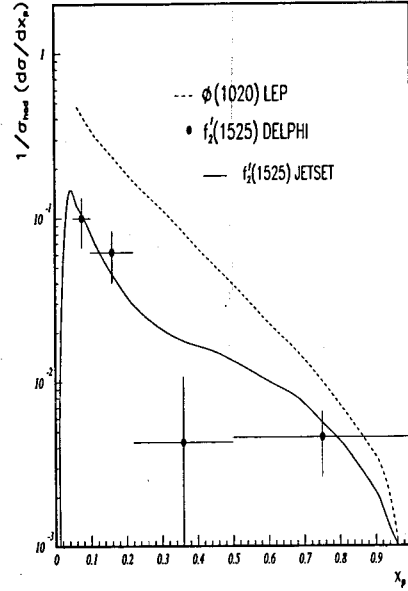
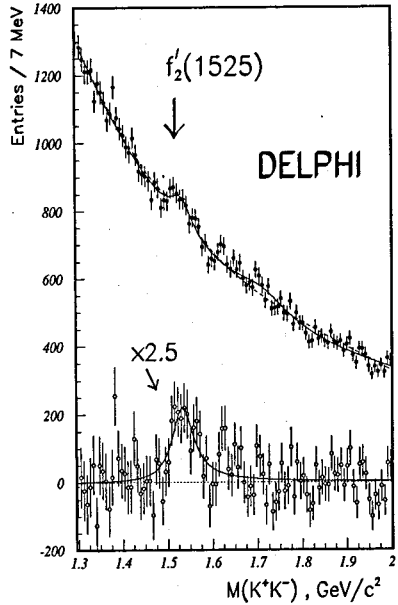


Рис. 5: Распределение по инвариантной массе K^+K^- пар.

Рис. 6: Дифференциальное сечение инклюзивного рождения $f_2'(1525)$ -мезона.

Четвертая глава посвящена анализу инклюзивного образования $f_2'(1525)$ мезона в адронных распадах Z^0 бозона. Данные, представленные в этой главе, являются первым инклюзивным изучением $f_2'(1525)$ состояния. На рисунке 5 показан спектр инвариантных масс (K^+K^-)-системы для идентифицированных заряженных каонов. Наблюдается четкий сигнал от $f_2'(1525)$ резонанса. Была измерена средняя множественность $f_2'(1525)$ на одно адронное событие

$$\langle N_{f_2'} \rangle = 0.020 \pm 0.005 \text{ (stat)} \pm 0.006 \text{ (syst)}. \quad (7)$$

На рисунке 6 представлены дифференциальные сечения $f_2'(1525)$ в зависимости от отнормированного импульса x_p . Пунктирной линией показано x_p -распределение для $\phi(1020)$ полученное с помощью JETSET событий и отнормированное на среднюю множественность $\phi(1020)$, измеренную экспериментами

на LEP. Как видно из рисунка 6 формы x_p -распределений для $f_2'(1525)$ и $\phi(1020)$ являются подобными, указывая на схожий механизм образования этих мезонов. Измеренная средняя множественность $f_2'(1525)$ согласуется с предсказанием JETSET модели. JETSET модель также хорошо описывает экспериментальное x_p -распределение (рисунк 6). Результаты инклюзивного анализа согласуются с предположением, что $f_2'(1525)$ состояние является $s\bar{s}$ -тензорным мезоном.

В заключении кратко сформулированы основные результаты диссертационной работы:

- Обнаружены короткодействующие трехчастичные корреляции для одноименно и для разноименно заряженных пионов. Для одноименно заряженных пионов эти корреляции были наблюдаемы впервые.

Трехчастичные корреляции для одноименно заряженных пионов могут быть объяснены как следствие Бозе-Эйнштейнских корреляций высокого порядка. Измерены параметры Бозе-Эйнштейнских корреляций третьего порядка.

Показано, что модель JETSET (LUND Монте-Карло) после учета Бозе-Эйнштейнских корреляций хорошо описывает экспериментальные данные для трехчастичных корреляций для разноименно заряженных пионов, и качественно предсказывает рост корреляционной функции для системы одноименно заряженных пионов.

- Впервые изучены корреляции между одноименно заряженными каонами, образующимися в e^+e^- аннигиляциях. Корреляционная функция имеет типичный Бозе-Эйнштейнский рост при малых значениях разности четырехимпульсов каонов. Измерены параметры Бозе-Эйнштейнских корреляций.

Получена корреляционная функция для $K_S^0 K_S^0$ пар. Величины параметров Бозе-Эйнштейнских корреляций полученные для $K_S^0 K_S^0$ хорошо согласуются с величинами, полученными для $K^\pm K^\pm$.

Измеренное значение силы Бозе-Эйнштейнских корреляций согласуется с предположением о существовании максимальной интерференции между каонами.

- Впервые было наблюено рождение $f_2'(1525)$ мезона в инклюзивных реакциях. Была измерена средняя множественность и получено импульсное распределение для этого состояния.

Проведены сравнения сечения и формы импульсного распределения $f_2'(1525)$ мезона с предсказаниями JETSET модели. Модель, где $f_2'(1525)$ мезон учитывается как тензорное $s\bar{s}$ -состояние, хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Диссертация основывается на следующих опубликованных работах:

- P. Abreu,..., N. Pukhaeva,... DELPHI Collaboration, "Observation of short range three particle correlations in e^+e^- annihilations at LEP energies". Contributed paper eps0543 to the Int. Conf. on High Energy Physics, July 1995, Brussels, Belgium. preprint CERN-PPE/95-77, Phys. Lett., **B355**, 415 (1995).
- A. Tomaradze, F. Verbeure, N. Pukhaeva, DELPHI Collaboration, "Correlation of three same charge pions at LEP". Proceedings of the XXXth Recontres De Moriond. QCD and High Energy Interactions. Les Arcs, Savoie, France. 19-26 March, 1995. Ed. J.T. Tran Van, Edition Frontieres, France, 1996, p.417.
- N. Pukhaeva, DELPHI Collaboration, "KK Bose-Einstein Correlations". Proceedings of the Hadron '95 Conference, UK. 9-14 July, 1995. Eds. M.C. Birse, G.D. Lafferty, J.A. McGovern, 1996, p.563.
- P. Abreu,...,N. Pukhaeva,... DELPHI Collaboration, "Kaon Interference in the hadronic decays of the Z^0 ." Contributed paper eps0544 to the Int. Conf. on High Energy Physics, July 1995, Brussels, Belgium. preprint CERN-PPE/96-54, Phys. Lett., **B379**, 330 (1996).
- P. Abreu,...,N. Pukhaeva,... DELPHI Collaboration, "First measurement of $f_2'(1525)$ production in Z^0 hadronic decays". preprint CERN-PPE/96-26, Phys. Lett., **B379**, 309 (1996).

Рукопись поступила в издательский отдел
9 июля 1996 года.