

1-2009-56

П-495

На правах рукописи
УДК 539.126.3, 539.172.4

ПОЛЕНКЕВИЧ
Ирина Александровна



КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФЕМТОСКОПИЯ
НЕЙТРАЛЬНЫХ КАОНОВ
В НЕЙТРОН-УГЛЕРОДНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ СРЕДНЕЙ ЭНЕРГИИ 51 ГэВ

Специальность: 01.04.16 — физика ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

346.5

Работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований и Московском
инженерно-физическом институте (государственном университете).

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор, МИФИ, г. Москва

ПОНОСОВ
Александр
Климентьевич

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
ГНЦ ИТЭФ, г. Москва

ДОЛГОЛЕНКО
Анатолий
Григорьевич

кандидат физико-математических наук,
НИИЯФ МГУ, г. Москва

МАЛИНИНА
Людмила
Владимировна

Ведущее научно-исследовательское учреждение – Физический институт
им. П.Н. Лебедева РАН.

Защита состоится „_____“ _____ 2009 г. на
заседании диссертационного совета Д 720.001.02 при Лаборатории физики
высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина Объединенного
института ядерных исследований, Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛФВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан „_____“ _____ 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

АРЕФЬЕВ
Валентин Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Исследования, направленные на изучение взаимодействий адронов высоких и промежуточных энергий с ядрами, в частности изучение корреляций частиц с малым относительным импульсом, проводятся достаточно давно. Еще в 1960-х годах было экспериментально показано, что вероятность образования в одном взаимодействии пары одинаковых бозонов, имеющих близкие импульсы, увеличена по сравнению с нетождественными. Для фермионов ситуация обратная — близкие импульсы встречаются реже. Этот эффект объясняется проявлением квантовых свойств образующихся объектов, а явление назвали „интерференционными корреляциями“. На основании ряда теоретических моделей было доказано, что двухчастичные корреляции тождественных частиц являются эффективным инструментом, позволяющим, совместно с исследованием одночастичных спектров, извлекать геометрические и динамические характеристики области рождения частиц. Это важно для понимания механизма адронизации кварков, то есть для осуществления проверки различных моделей и сценариев формирования конечных состояний, и представляет интерес в связи с активным изучением плотных, высокоэнергетичных состояний материи и поиском кварк-глюонной плазмы. Более того, корреляции, обусловленные сильным и кулоновским взаимодействием в конечном состоянии, также позволяют получить подобную информацию при изучении не только тождественных, но и нетождественных частиц.

В настоящее время основной массив экспериментальных данных касается корреляций пионов, генерируемых при столкновениях различных элементарных частиц и ядер во всем энергетическом диапазоне, доступном современным ускорителям. Поэтому работы, посвященные корреляциям частиц отличных от пионов, представляются чрезвычайно актуальными. В случае пар нейтральных каонов корреляции при малых относительных импульсах изучаются только для систем $K_S^0 K_S^0$.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Изучение корреляций нейтральных каонов интересно тем, что в отсутствие кулоновского взаимодействия можно изучить сильное взаимодействие в конечном состоянии. Актуальность данной работы также обусловлена возможностью сравнения с ранее полученными результатами по корреляциям пионов, заряженных каонов и Λ -гиперонов в рамках одного эксперимента с использованием одной методики. Это позволяет, наряду с дополнением мировых данных результатами измерения характеристик области рождения нейтральных каонов в реакции взаимодействия нейтрона с ядром углерода, делать выводы о зависимости этих характеристик от типа изучаемых частиц и исследовать область применимости существующих моделей адронного рождения.

Данные по корреляциям пар, состоящих из нейтрального и заряженного каонов, ограничиваются только одним экспериментом. Так как для данной системы корреляции с малым относительным импульсом полностью определяются взаимодействием в конечном состоянии, представляется актуальным получение экспериментальных результатов по корреляциям пар, состоящих из нейтрального и заряженного каонов.

Цель и задачи исследования.

Целью представленной работы является измерение парных корреляций с малым относительным импульсом нейтральных каонов ($K_S^0 K_S^0$) и нейтрального и заряженного каонов ($K_S^0 K^-$) в nC -взаимодействиях при средней энергии нейтронов 51 ГэВ:

$$n + C \rightarrow K_S^0 K_S^0 + X, \quad (1)$$

$$n + C \rightarrow K_S^0 K^- + X. \quad (2)$$

Работа выполнена на установке ЭКСЧАРМ, экспонированной в нейтронном канале 5Н Серпуховского ускорителя. Обработывались данные одного из сеансов спектрометра, которые составили $\sim 172 \cdot 10^6$ исходных нейтрон-углеродных взаимодействий.

Научная новизна и значимость работы

1. Впервые на нейтронном пучке исследованы корреляции при малых относительных импульсах пар нейтральных каонов

($K_S^0 K_S^0$). В рамках параметризаций Гольдхабера, Берча-Пратта и Яно-Кунина-Подгорецкого измерены характеристики области рождения нейтральных каонов. Впервые для системы нейтральных каонов в параметризации Гольдхабера при анализе учитывалось сильное взаимодействие в конечном состоянии.

2. Размеры области генерации в nC -взаимодействиях в рамках параметризации Гольдхабера оказались в пределах погрешностей сравнимы с результатами, полученными в e^+e^- аннигиляции и $pp/p\bar{p}$ взаимодействиях и оказались меньше, чем во взаимодействии тяжелых ионов.
3. Показано, что в рамках одного эксперимента размер области рождения в пределах погрешностей совпадает для пар нейтральных и заряженных каонов, но меньше, чем для заряженных пионов и больше, чем для Λ -гиперонов. Этот вывод имеет существенное значение в связи с неоднозначностью имеющихся результатов по зависимости этой характеристики от массы изучаемых частиц.
4. Впервые исследованы корреляции пар нетождественных каонов ($K_S^0 K^-$). В системе $K_S^0 K^-$ обнаружены конструктивные корреляции, которые свидетельствуют о влиянии сильного взаимодействия в конечном состоянии через образование резонанса $a_0^-(980)$.
5. В нейтрон-ядерных взаимодействиях измерено инклюзивное сечение рождения двух нейтральных каонов в полной кинематической области.

Автор защищает

1. Результаты анализа корреляций с малым относительным импульсом в системе нейтральных каонов в nC -взаимодействиях при средней энергии 51 ГэВ.

2. Результаты анализа корреляций с малым относительным импульсом в системе нейтрального и отрицательно заряженного каонов в nC -взаимодействиях при средней энергии 51 ГэВ.
3. Результаты измерения сечения инклюзивного рождения $K^0 \bar{K}^0$ мезонов в нейтрон-углеродных взаимодействиях в полной кинематической области.

Практическая ценность работы.

Работа является частью программы исследования корреляций с малым относительным импульсом в нейтрон-углеродных взаимодействиях на установке ЭКСЧАРМ. Помимо пар нейтральных и нейтрального и заряженного каонов программа включает исследование пар Λ -гиперонов, а также заряженных пар пионов и каонов. Измерение корреляций частиц в различных зарядовых комбинациях дает возможность экспериментально выделить вклады физических эффектов (например, вклад сильного взаимодействия в конечном состоянии). Результаты о пространственных характеристиках области рождения частиц, представленные в диссертации, расширяют физическую основу для развития методики адронной фемтоскопии. Полученные данные позволяют проводить проверки предсказаний теоретических моделей. Результаты экспериментального исследования могут быть использованы при планировании новых экспериментов, направленных на изучение пространственно-временной картины адронизации и для совершенствования теории корреляционной фемтоскопии.

Апробация работы.

Положенные в основу диссертационной работы результаты исследований были представлены автором:

- на юбилейной конференции секции ядерной физики ОФН РАН „Физика фундаментальных взаимодействий“, посвященной 60-летию ИТЭФ (ИТЭФ, 2005);

- на III и IV Всероссийских конференциях „Университеты России — фундаментальные исследования“ (МИФИ, 2002, 2003 гг.);
- на IV и V конференциях НОЦ CRDF „Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях“ (МИФИ, 2006, 2007 гг.);
- многократно докладывались на рабочих совещаниях сотрудничества ЭКСЧАРМ ЛФЧ (ОИЯИ, 2002-2005);
- на заключительном совещании по экспериментам на установке ЭКСЧАРМ (Царево, Болгария, 2005);
- на семинаре секции физики частиц и поляризаационных явлений лаборатории ЛФВЭ (ОИЯИ, 2008).

По материалам диссертации опубликовано 7 работ [1–7], в том числе 2 в журналах из списка ВАК.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Содержит 115 стр., 34 рисунка, 11 таблиц и библиографию, включающую 136 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненного исследования, сформулирована цель диссертационной работы, показана научная новизна работы и описана структура диссертации.

В первой главе коротко рассмотрены основы методики корреляционной фемтоскопии — измерения пространственно-временных характеристик области генерации частиц порядка фемтометра ($R, \sigma \approx 1$ фм), используя корреляции частиц, основанные на статистических свойствах и/или на взаимодействии друг с другом.

Впервые метод интерферометрических измерений был предложен Р. Ханбери-Брауном и Р. Твиссом¹ для измерения углового диаметра звезд и других астрономических объектов. Он основан на измерении корреляций интенсивности счета двойных совпадений фотонов в зависимости от расстояния между детекторами.

В физике частиц Гольдхабер и др.² изучали двухпионные корреляции в реакциях аннигиляции протона-антипротона и обнаружили увеличение числа $\pi^+\pi^+$, $\pi^-\pi^-$ по отношению к $\pi^+\pi^-$ при малых относительных углах. В астрономии эффект корреляций основан на волновой природе света, тогда как физическая природа интерференционных корреляций тождественных частиц с малым относительным импульсом — принцип статистики: частицы с целым спином, подчиняясь статистике Бозе-Эйнштейна с большей вероятностью рождаются с близкими импульсами (т.е. в одинаковом квантовом состоянии); частицы с полуцелым спином, согласно статистике Ферми-Дирака — с меньшей.

Для нейтральных каонов ситуация другая: $K_S^0 K_S^0$ могут родиться как из тождественных пар $K^0 K^0$ и $\bar{K}^0 \bar{K}^0$, так и из нетождественных бозон-антибозонных пар $K^0 \bar{K}^0$. В работе Любошица В.Л. и Подгорецкого М.И.³ показано, что в системе $K_S^0 K_S^0$ будут наблюдаться интерференционные корреляции, аналогичные Бозе-Эйнштейновским.

Впервые корреляционная функция как отношение нормированных на единицу экспериментального и опорного распределений (ОР)

$$C_2 = \left(\frac{1}{N_{exp}} \cdot \frac{dN_{exp}(Q)}{dQ} \right) / \left(\frac{1}{N_{bg}} \cdot \frac{dN_{bg}(Q)}{dQ} \right) \quad (3)$$

для определения пространственно-временных характеристик была предложена Копыловым Г.И. и Подгорецким М.И.⁴, где ОР по определению не должно содержать изучаемых корреляций.

¹Hunbery-Brown R, Twiss R.Q., Phil. Mag., 1954, v. 45, p. 663.

²Goldhaber G. et al., Phys. Rev., 1960, v. 120, p. 300.

³Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И., Интерференционные корреляции при регистрации пар нейтральных К-мезонов, ЯФ, 1979, т. 30, стр. 789.

⁴Копылов Г.И., Подгорецкий М.И., ЯФ, 1973, т. 18, стр. 656.

Существует несколько способов построения ОР: Монте-Карло моделирование, перемешивание, когда берутся частицы из разных событий, и экспериментальное распределение для частиц того же типа, но с противоположными зарядами.

В данной работе ОР было построено двумя способами: моделированием с помощью скорректированного генератора FRITIOF⁵ и перемешиванием. Для учета кинематических корреляций, связанных с возможным невыполнением законов сохранения энергии и импульса, перемешанное ОР строилось в виде „двойного отношения“ — экспериментальное распределение, полученное перемешиванием, нормировалось на аналогичное моделированное.

Для тождественных бозонов корреляции, обусловленные квантовой статистикой, положительны. Их характерной чертой является присутствие интерференционного максимума при малой разности 4-импульсов пары частиц, а ширина определяется обратным пространственно-временным размером эффективной области генерации. Информация о пространственно-временной структуре области генерации содержится в свойствах симметрии многочастичных волновых функций, а именно тождественные частицы, излучаемые из объема, например из области столкновений двух ядер при большой энергии, связаны соотношением неопределенности Гейзенберга $\Delta q \sim \hbar/R$, где R — размер области генерации.

Конкретный вид корреляционной функции зависит от предположения о пространственно-временной структуре области генерации. В параметризации Гольдхабера предполагается, что бозоны испускаются одновременно одночастичными источниками, распределенными в объеме статичной (покоящейся) сферы по закону Гаусса. Корреляционная функция имеет следующий вид:

$$C_2 = N \left(1 + \lambda e^{-R_0^2 Q^2} \right), \quad (4)$$

где инвариантная переменная $Q^2 = -(p_1 - p_2)^2$ — квадрат разности 4-импульсов пары частиц, N — нормировочная константа, R_0

⁵Hong Pi, Comp. Phys. Comm., 1992, v. 82, p. 74.

— параметр, характеризующий радиус сферически-симметричного источника в системе покоя пары частиц, λ — доля частиц, рожденных независимо.

Чтобы посмотреть на источник „с разных сторон“ необходимо разложить Q на несколько компонент. Одна из старейших параметризаций — *параметризация Берча-Пратта*. В ней используется разложение в стандартной гауссовой параметризации на *продольную* (l), параллельную оси пучка, *поперечную* (o), параллельную скорости пары в перпендикулярной плоскости к оси пучка, и *боковую* (s), перпендикулярную l и o , составляющие. В этой параметризации корреляционная функция имеет вид:

$$C_2 = N (1 + \lambda \exp[-R_s^2 Q_s^2 - R_o^2 Q_o^2 - R_l^2 Q_l^2 - 2R_{ol}^2 Q_o Q_l]). \quad (5)$$

Для статичного (покоящегося) источника получаемые радиусы (R_l , R_o , R_s) имеют однозначное соответствие геометрическим размерам области генерации. Однако для движущихся источников данные радиусы — линейная комбинация времени жизни и геометрических размеров источника и импульса пары частиц. Другой гауссовой трехмерной параметризацией является *параметризация Яно-Кунина-Подгорецкого*. В продольной системе центра масс пары бозонов (только продольный импульс пары частиц равен нулю) корреляционная функция имеет особенно простой вид:

$$C_2 = N (1 + \lambda \exp[-R_{\perp}^2 Q_{\perp}^2 - R_{\parallel}^2 (Q_{\parallel}^2 - R_0^2(p)(Q^0)^2)]), \quad (6)$$

где $Q_{\perp}^2 = Q_o^2 + Q_s^2$, Q_{\parallel} — разность поперечных и продольных импульсов и Q^0 — разность энергий двух тождественных частиц. Полученные радиусы можно интерпретировать как поперечный (R_{\perp}), продольный (R_{\parallel}) радиусы и время жизни (R_0) источника в его собственной системе покоя, и они не зависят от скорости измеряемой системы.

Для невзаимодействующих тождественных частиц корреляции являются следствием проявления квантовой статистики. В более общем случае двухчастичная корреляционная функция содержит в себе зависимость также от взаимодействия в конечном состоянии, а

не только от интерференционных корреляций:

$$C_2 = A_c \cdot [1 + C_{corr} + C_{FSI}] - 1, \quad (7)$$

A_c и C_{FSI} — факторы, описывающие кулоновское и сильное взаимодействие в конечном состоянии, соответственно, C_{corr} — интерференционный фактор, определяющийся статистикой Бозе-Эйнштейна (Ферми-Дирака). Кулоновское взаимодействие доминирует в системах двух заряженных частиц при малых относительных импульсах порядка обратного радиуса Бора для двухчастичной системы. Эффект сильного взаимодействия достаточно мал для двухкионных систем, тогда как для каонных систем им нельзя пренебрегать. Для изучаемых систем взаимодействие в конечном состоянии полностью описывается сильным взаимодействием: для нейтральных каонов оно определяется подпороговыми резонансами $a_0(980)$ и $f_0(980)$, тогда как для $K_S^0 K^-$ уже характеризуется только резонансом $a_0^-(980)$. В работе Ледницкого Р. и Любошица В.Л.⁶ было получено выражение, описывающее вклад взаимодействия в конечном состоянии.

Далее проведен краткий обзор экспериментальной ситуации в области корреляционной фемтоскопии.

Во второй главе описаны условия проведения эксперимента, а также приводится краткое описание магнитного спектрометра ЭКСЧАРМ ЛФЧ ОИЯИ. Спектрометр расположен в нейтронном канале 5Н Серпуховского ускорителя У-70. Энергетический спектр пучка имеет максимум в районе 58 ГэВ и ширину около 12 ГэВ. В состав установки (рис.1) входят:

- углеродная мишень Т толщиной 1,3 г/см² по пучку;
- анализирующий магнит СП-40А с апертурой 274 × 49 см² и с максимальным значением напряженности поля 0,79 Тл; система электропитания магнита обеспечивает возможность оперативного переключения его полярности;

⁶Ледницки Р., Любошиц В.Л., ЯФ, 1982, т. 35, стр. 1316.

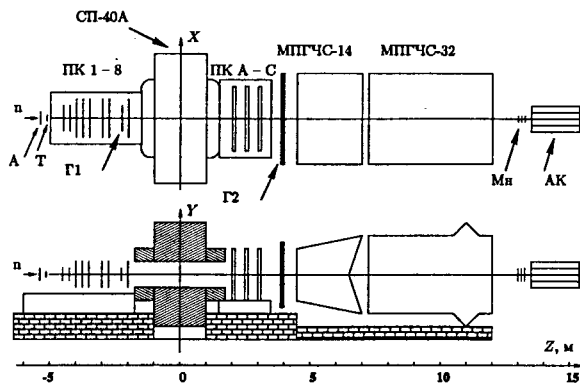


Рис. 1: Спектрометр ЭКСЧАРМ.

- система из 11 многопроволочных пропорциональных камер ПК (25 сигнальных плоскостей), расположенных до (ПК1 – ПК8) и после магнита (А, В и С);
- годоскопы сцинтилляционных счетчиков Г1 и Г2, используемые для выработки сигнала, запускающего установку (триггера);
- монитор нейтронного пучка Мн для контроля за длительностью и равномерностью сброса пучка протонов ускорителя на внутреннюю мишень и определения потока образованных на этой мишени нейтронов;
- адронный калориметр АК для измерения энергетического спектра нейтронного пучка;
- четырнадцатиканальный (МПГЧС-14) и тридцатидвухканальный (МПГЧС-32) пороговые газовые черенковские счетчики для идентификации заряженных частиц. Система позволяет полностью идентифицировать каоны в импульсном интервале $10,8 \leq p \leq 40,3$ ГэВ/с.

Далее приведено описание программного обеспечения, используемого для геометрической реконструкции треков, физического анализа данных и моделирования эксперимента.

Обработка экспериментальной информации и отбор событий выделенных конфигураций производились в несколько этапов:

- обработка первичной информации, распознавание траекторий заряженных частиц (треков), восстановление их геометрических параметров и определение импульсов соответствующих частиц с учетом карты магнитного поля;
- отбор событий, содержащих нейтральную вилку (пара треков противоположно заряженных частиц, имеющих общую точку пересечения), являющуюся кандидатом в распад Λ^0 , $\bar{\Lambda}^0$ или K^0 ;
- запись событий на диск в компактном виде, обеспечивающем в дальнейшем быстрый доступ к отобранной информации;
- физический анализ отобранных событий с целью поиска сигналов в спектрах эффективных масс конечных состояний распада исследуемых частиц.

Моделирование изучаемых процессов осуществлялось программой SIMEX, разработанной на основе системы GEANT-3. При прослеживании частиц события используется детальное описание конфигурации установки ЭКСЧАРМ, примененных в ее конструкции материалов и существующих сред. В качестве генератора событий используется модель рождения частиц — FRITIOF. Для изучения парных корреляций в системе разных частиц были реализованы следующие возможности:

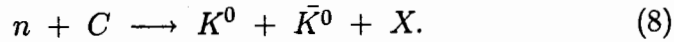
- моделирование любых частиц и их комбинаций, заново не компилируя программу, а меняя только файл с входными данными;
- генерирование частиц $a(980)$, $f_0(980)$, возможность менять их параметры: сечение взаимодействия, массу и ширину в параметризации Брейта-Вигнера или Flatte⁷ в файле с входными данными;

⁷Flatte S.M., „On the nature of 0^+ mesons“, Phys. Lett., 1976, v. 63B, p. 228.

- формирование файлов с параметрами событий: номером события, энергией нейтронов пучка, кинематическими характеристиками (продольным и поперечным импульсами) и переменными Фейнмана для частиц, заданных в файле с входными данными.

В третьей главе исследованы двухчастичные корреляции при малых Q пар нейтральных каонов и определено сечение инклюзивного рождения двух нейтральных каонов.

Интерференционные корреляции пары нейтральных каонов изучались в реакции



При отборе кандидатов требовалось наличие в событии не менее двух положительно и двух отрицательно заряженных частиц.

Поиск K^0 -мезонов осуществлялся в спектрах эффективных масс следующих конечных состояний:

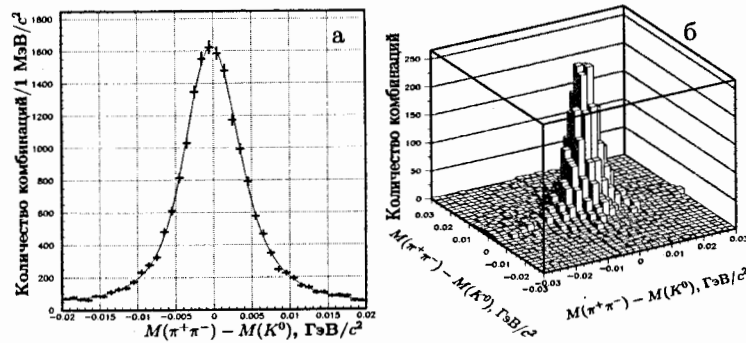
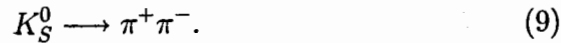


Рис. 2: Одномерное — (а) и двумерное — (б) распределения разности эффективной массы $\pi^+\pi^-$ -мезонов и табличной массы K^0 .

На рис. 2а представлена разность эффективной массы системы $\pi^+\pi^-$ -мезонов и табличной массы K^0 -мезона для событий. В области

нуля наблюдается четкий сигнал. Сигнал аппроксимировался суперпозицией двух функций Гаусса. Для аппроксимации фона использовался полином второй степени. Среднее значение массы совпадает с данными PDG⁸. Это дает основание сделать вывод о надежности примененной процедуры выделения сигнала.

Для оценки количества зарегистрированных пар K_S^0 было проанализировано двумерное распределение эффективных масс комбинаций $\pi^+\pi^-$ -мезонов 2б. Количество комбинаций в сигнале аппроксимировалось двумерной функцией Гаусса и составило 5780 ± 107 . Коррелированный фон (совместная регистрация K_S^0 со случайными $\pi^+\pi^-$ -парами) в области сигнала составил $\sim 10\%$, некоррелированный фон (события, в которых пионы не являются продуктами распада K_S^0 -мезонов) $\sim 5\%$. Из распределения Арментероса⁹ была оценена верхняя граница фона от примеси Λ^0 , $\bar{\Lambda}^0$ -гиперонов $\epsilon \leq (0,97 \pm 0,13)\%$.

Наблюдается (рис. 3) хорошее согласие между нормированными на единицу экспериментальным и ОР продольных, квадрата поперечного импульса и множественности заряженных частиц.

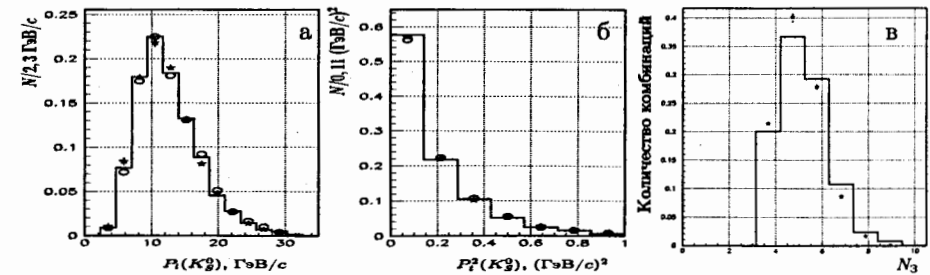


Рис. 3: (а), (б) импульсные спектры K_S^0 -мезонов; (в) — распределение по множественности заряженных частиц. Здесь и на рис. 7 гистограмма — эксперимент; * — модель FRITIOF; о — перемешивание.

В параметризациях Гольдхабера, Берча-Пратта и Яно-Кунина-Подгорецкого наблюдаются положительные корреляции для всех

⁸Amsler C. et al.(PDG), Phys.Lett.B, 2008, v.667, p.1; (URL <http://pdg.lbl.gov>).

⁹Podolyanski J., Armenteros R., Phil. Mag., 1954, v.45, p.13.

типов ОР (рис. 4а-б и 5). На рис. 4а-б показаны C_2 от разности 4-импульсов. Сплошные кривые представляют собой аппроксимацию

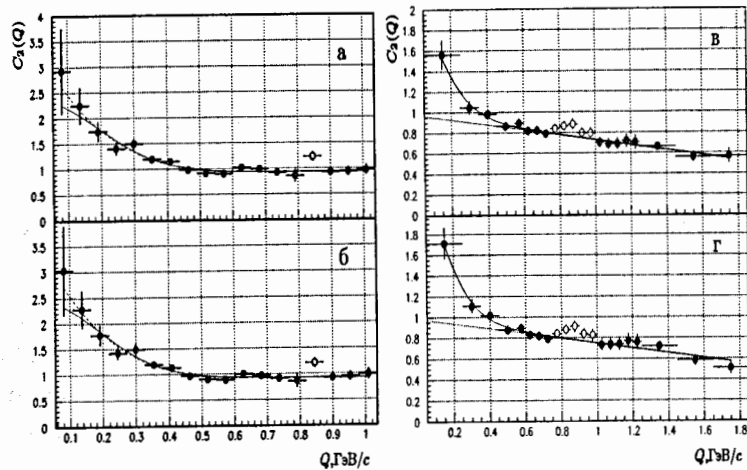


Рис. 4: Корреляционные функции $C_2(Q)$: (а)-(б) — для $K_S^0 K_S^0$; (в)-(г) — для $K_S^0 K_S^-$. ОР: (а), (в) — моделирование; (б), (г) — „двойное отношение“.

функцией Гольдхабера (4), пунктирные линии — функцией Гольдхабера с учетом сильного взаимодействия аналитическим выражением, предложенным Р. Ледницким. Область $f_2(1270)$ -мезона, обозначенная „о“, была исключена из аппроксимации. На рис. 5 показаны корреляционные функции C_2 в продольной системе центра масс в зависимости от продольной и поперечных компонент разности 4-импульсов (параметризация Берча-Пратта) и в зависимости от продольной, поперечной компонент разности 4-импульсов и разности энергий (параметризация Яно-Кунина-Подгорецкого). Кривые представляют собой аппроксимацию экспоненциальной функцией: $C_2(q_i) = N \cdot (1 + \lambda \exp(-R_i^2 q_i^2))$ для продольной и поперечных компонент, и той же функцией с учетом наклона — для разности энергий. Получено хорошее согласие параметров аппроксимации при разных ОР, что подчеркивает устойчивость результатов. В качестве окончательных приняты

величины, полученные методом вычисления средневзвешенного значения (табл. 1).

Таблица 1: Значения R в различных параметризациях $K_S^0 K_S^0$.

Параметризация	R , фм
Гольдхабера	$R = (0,74 \pm 0,07_{\text{стат}} \pm 0,06_{\text{сист}})$
Гольдхабера с учетом сильного взаимодействия	$R = (0,68 \pm 0,07_{\text{стат}} \pm 0,07_{\text{сист}})$
Берча-Пратта	$R_L = (0,91 \pm 0,16_{\text{стат}} \pm 0,02_{\text{сист}})$ $R_{TS} = (0,74 \pm 0,12_{\text{стат}} \pm 0,03_{\text{сист}})$ $R_{TO} = (0,62 \pm 0,10_{\text{стат}} \pm 0,03_{\text{сист}})$
Яно-Кунина-Подгорецкого	$R_{\parallel} = (1,00 \pm 0,11_{\text{стат}} \pm 0,10_{\text{сист}})$ $R_{\perp} = (0,79 \pm 0,11_{\text{стат}} \pm 0,09_{\text{сист}})$ $R_0 = (5,9 \pm 1,6_{\text{стат}} \pm 0,3_{\text{сист}})$

Систематическая погрешность связана с подбором параметров модели и определялась путем варьирования весовых функций таким образом, что при сравнении всех упомянутых экспериментальных и полученных из моделирования распределений, значение χ^2 , вычисляемое с помощью программы MINUIT, изменялось не более, чем на величину 1,07, определяющую 70% уровень достоверности.

Для определения сечения инклюзивного рождения двух нейтральных каонов была рассчитана эффективность регистрации ϵ с использованием скорректированного генератора FRITIOF:

$$\epsilon = (0,0754 \pm 0,0012_{\text{стат}} \pm 0,0120_{\text{сист}})\%.$$

Систематическая погрешность определена методом варьирования, как было описано выше.

Предполагая, что сечение инклюзивного рождения K^0 и \bar{K}^0 -мезонов в нейтрон-углеродных взаимодействиях $\sigma_{nC}(K^0 \bar{K}^0 X) \approx 4 \cdot \sigma_{nC}(K_S^0 \bar{K}_S^0 X)$, можно вычислить его по формуле

$$\sigma_{nC}(K^0 \bar{K}^0 X) \approx 4 \cdot \sigma_{nC}(K_S^0 \bar{K}_S^0 X) = 4 \cdot \frac{NA}{MnTN_A \epsilon Br^2}, \quad (10)$$

где $N=5780 \pm 107$ — количество зарегистрированных событий распада $K_S^0 K_S^0$; ϵ — эффективность регистрации $K_S^0 K_S^0$; $Br = (69,20 \pm 0,05)\%$ — вероятность распада $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$.

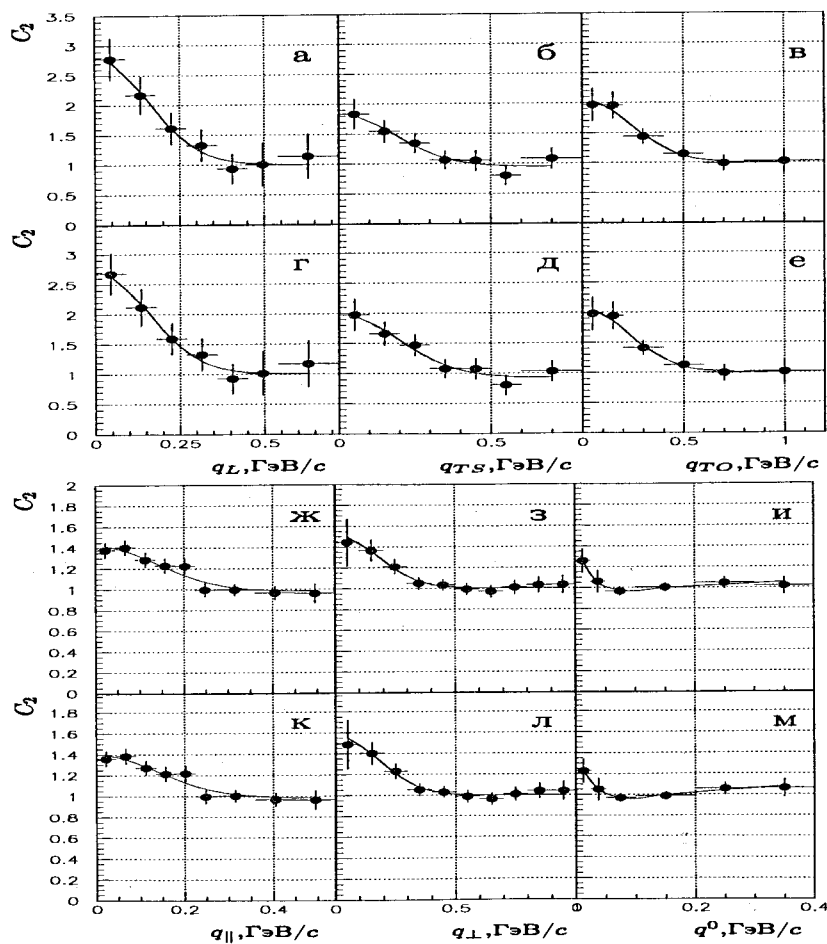


Рис. 5: Корреляционные функции C_2 для $K_S^0 K_S^0$ в зависимости от одномерных проекций импульса в продольной системе центра масс: (а)-(е) — в параметризации Берча-Пратта; (ж)-(м) — в параметризации Яно-Кунина-Подгорецкого. ОР: (а)-(в), (ж)-(и) — моделирование; (г)-(е), (к)-(м) — „двойное отношение“.

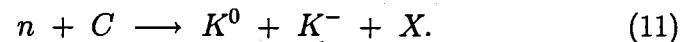
Статистическая погрешность сечения определялась погрешностью вычисленного количества зарегистрированных $K_S^0 K_S^0$ -мезонов.

В систематическую погрешность определения сечения входят: погрешность эффективности регистрации двух нейтральных каонов, погрешность измерения количества нейтронов, прошедших через установку за время экспозиции, точность измеренной вероятности распада $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$.

Таким образом, получено

$$\sigma_{nC}(K^0 \bar{K}^0 X) = (4,28 \pm 0,08_{\text{стат}} \pm 0,68_{\text{сист}}) \text{ мбн}/^{12}C.$$

Четвертая глава посвящена исследованию корреляций в системе, состоящей из нейтрального и отрицательно заряженного каонов. События имеют следующую топологию:



При отборе кандидатов требовалось наличие в событии не менее одной положительно и двух отрицательно заряженных частиц.

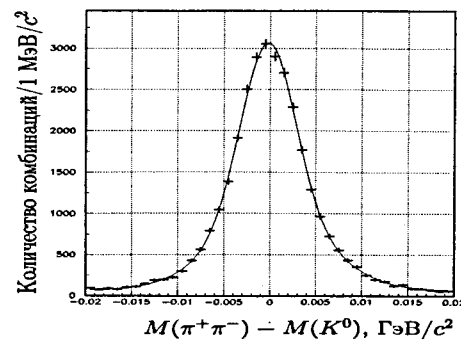


Рис. 6: Одномерное распределение разности эффективной массы $\pi^+ \pi^-$ -мезонов и табличной массы K^0 .

Нейтральные каоны идентифицировались по их распадам на два заряженных пиона в наблюдаемом состоянии



На рис. 6 представлено одномерное распределение по разности эффективной массы системы $\pi^+\pi^-$ и табличной массы K^0 -мезона.

В области нуля наблюдается четкий сигнал. Количество K_S^0 -мезонов аппроксимировалось суперпозицией двух функций Гаусса и составило 28200 ± 1200 . Среднее значение массы сигнала совпадает с PDG. Фон в области сигнала составил $\sim 5\%$. Из распределения Арментероса оценена верхняя граница фона от примеси Λ^0 , $\bar{\Lambda}^0$ -гиперонов $\epsilon \leq (1,80 \pm 0,02)\%$.

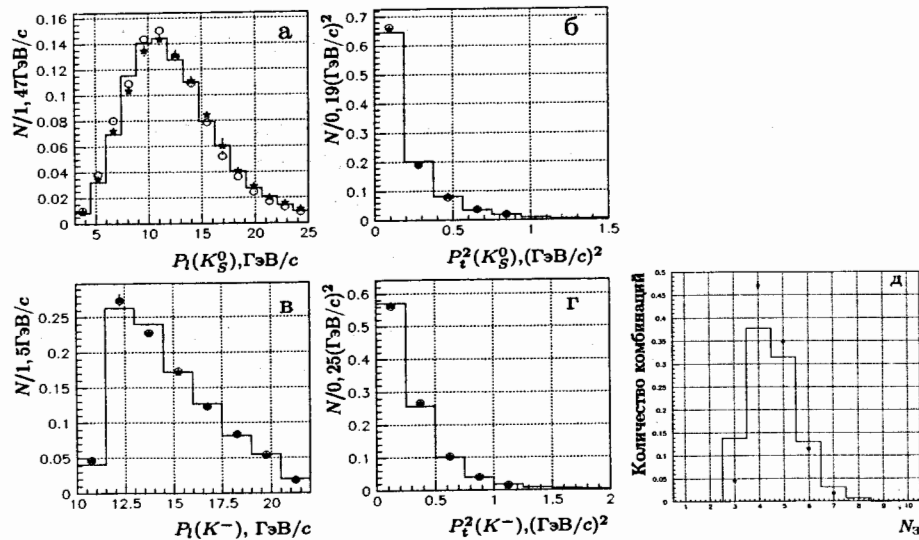


Рис. 7: (а),(б) импульсные спектры K_S^0 -мезонов; (в),(г) — импульсные спектры K^- -мезонов; (д) — распределение по множественности заряженных частиц.

Наблюдается (рис. 7) хорошее согласие между нормированными на единицу экспериментальным и ОР продольных (а, в), квадратов поперечных импульсов (б, г) и множественности заряженных частиц (д).

На рис. 4в-г показаны корреляционные функции $C_2(Q)$ в зависимости от 4-импульса $K_S^0 K^-$ -мезонов. Для всех видов ОР в области малых значений Q наблюдаются корреляции, аналогичные корреляциям для тождественных бозонов. Сплошные кривые

представляют собой аппроксимацию модифицированной с учетом наклона функцией, описывающей взаимодействие в конечном состоянии через образование резонанса $a_0^-(980)$. Область $a_2^-(1320)$ -мезона, обозначенная „о“, была исключена из аппроксимации.

В заключении диссертации перечислены основные результаты и следующие из них физические выводы.

С помощью методики корреляционной фемтоскопии были исследованы парные корреляции нейтральных каонов, нейтрального и заряженного каонов. При физическом анализе для всех частиц использовалась единая методика. Экспериментальные данные получены на магнитном спектрометре ЭКСЧАРМ ОИЯИ, экспонированном в нейтронном канале Серпуховского ускорителя.

Были выполнены методические работы, направленные на моделирование рождения и регистрации пар каонов и пионов магнитным спектрометром ЭКСЧАРМ и оптимизацию условий выделения исследуемых реакций. Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем.

1. Впервые исследованы двухчастичные корреляции при малых относительных импульсах пар нейтральных каонов, рожденных во взаимодействиях нейтронов со средней энергией 51 ГэВ с углеродной мишенью. Впервые в рамках параметризации Гольдхабера учтено взаимодействие в конечном состоянии и оценен размер области генерации $R = (0,68 \pm 0,07_{\text{стат}} \pm 0,07_{\text{сист}})$ фм. При учете влияния сильного взаимодействия измеренный размер области генерации уменьшился на 9%. Это позволяет сделать вывод о том, что для изучения корреляций нейтральных каонов необходимо учитывать взаимодействие в конечном состоянии.
2. Размеры области генерации в nC -взаимодействиях в рамках параметризации Гольдхабера с учетом сильного взаимодействия в конечном состоянии оказались в пределах погрешностей сравнимы с результатами, полученными в e^+e^- аннигиляции и $pp/p\bar{p}$ взаимодействиях и оказались меньше, чем

во взаимодействии тяжелых ионов.

3. Показано, что в рамках одного эксперимента размер области рождения в параметризации Гольдхабера в пределах погрешностей совпадает для пар нейтральных и заряженных каонов, но меньше, чем для заряженных пионов и больше, чем для Λ -гиперонов.
4. Впервые для системы нейтральных каонов в параметризации Берча-Пратта оценены продольный и поперечные размеры источника частиц в продольной системе центра масс: $R_L = (0,91 \pm 0,16_{\text{стат}} \pm 0,02_{\text{сист}})$ фм, $R_{TS} = (0,74 \pm 0,12_{\text{стат}} \pm 0,03_{\text{сист}})$ фм, $R_{TO} = (0,62 \pm 0,10_{\text{стат}} \pm 0,03_{\text{сист}})$ фм. Также в продольной системе центра масс в параметризации Яно-Кунина-Подгорецкого оценены продольный и поперечный размеры и время жизни источника частиц.
5. Исследованы корреляции пар нетождественных каонов $K_S^0 K^-$, рожденных во взаимодействиях нейтронов со средней энергией 51 ГэВ с углеродной мишенью. Обнаружены корреляции, которые, свидетельствует о влиянии сильного взаимодействия в конечном состоянии через образование резонанса $a_0^-(980)$.
6. В нейтрон-углеродных взаимодействиях измерено инклюзивное сечение рождения двух нейтральных каонов в полной кинематической области ($-1 \leq x_F \leq 1$):

$$\sigma_{nC}(K^0 \bar{K}^0 X) = (4,28 \pm 0,08_{\text{стат}} \pm 0,68_{\text{сист}}) \text{ мбн}/^{12}\text{C}.$$

Основные результаты диссертации опубликованы в работах

- [1] А.Н. Алеев, ... ,И.А.Поленкевич и др., Корреляционная фемтоскопия в nC -взаимодействиях при средней энергии нейтронов 51 ГэВ. Ядерная Физика, 2005, том 68, вып.3, с.510-516.

- [2] А.Н. Алеев, ... ,И.А.Поленкевич и др., Корреляционная фемтоскопия нейтральных каонов в эксперименте ЭКСЧАРМ. Ядерная физика, 2007, том 70, вып. 6, с.1247-1254;Препринт ОИЯИ P1-2008-88, Дубна, 2006.
- [3] А.Н. Алеев, ... ,И.А.Поленкевич и др., Интерференционные корреляции гиперонов в нейтрон-углеродных взаимодействиях. Препринт ОИЯИ P1-2003-191, Дубна, 2003.
- [4] Сотрудничество ЭКСЧАРМ: А.Н. Алеев, ... ,И.А.Поленкевич и др. Интерфермерометрия тождественных пионов и каонов в nC -взаимодействиях. III Всероссийская конференция „Университеты России - фундаментальные исследования. Физика элементарных частиц и атомного ядра“. Сборник научных трудов, МИФИ, 2002, с. 139-140.
- [5] Сотрудничество ЭКСЧАРМ, представлено И.А.Поленкевич. Корреляционная фемтометрия тождественных нейтральных каонов в nC -взаимодействиях. IV Всероссийская конференция „Университеты России — фундаментальные исследования. Физика элементарных частиц и атомного ядра“. Сборник научных трудов, МИФИ, 2003, с. 31-32.
- [6] И.А. Поленкевич. Образование $f_0(980)$ в нейтрон - углеродных взаимодействиях. IV Конференция НОЦ CRDF „Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях“. Сборник научных трудов, МИФИ, 2006, с.24-25.
- [7] Сотрудничество ЭКСЧАРМ, представлено И.А.Поленкевич. Изучение корреляций в системах нейтрального и заряженного каонов. V Конференция НОЦ CRDF „Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях“. Сборник научных трудов, МИФИ, 2007, с.95-97.

Получено 16 апреля 2009 г.