

На правах рукописи.

РОМАНОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФЕМТОСКОПИЯ Λ -ГИПЕРОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ АДРОНОВ С
ЭНЕРГИЕЙ 600 ГэВ С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА

Специальность 01.04.16 - Физика атомного ядра и элементарных частиц

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Автор:

Москва - 2010

Актуальность темы

Изучение процесса адронизации кварков в настоящее время является актуальной проблемой, которой посвящено большое количество исследований в области физики высоких энергий. Она вызывает интерес в связи с поисками кварк-глюонной плазмы, а также предоставляет важнейшие данные, необходимые для понимания и изучения фундаментальных взаимодействий в рамках квантовой хромодинамики (КХД).

Одним из эффективных инструментов, позволяющим исследовать пространственно-временные характеристики области генерации адронов и параметры адрон-адронного рассеяния, является корреляционная фемтоскопия. Впервые метод двухчастичной интерферометрии применили в 1950-х годах, когда Р. Ханбери Браун и Р.Твисс предложили для определения размеров звезд изучать корреляции интенсивности счета двойных совпадений фотонов в зависимости от расстояния между детекторами. Метод широко известен под аббревиатурой (HBT) от первых букв фамилий авторов, часто эту аббревиатуру применяют и к корреляционной фемтоскопии в физике элементарных частиц. В 1960 году Г. Гольдхабер, С. Гольдхабер, В. Ли и А. Пайс изучали угловые корреляции тождественных пионов в $p\bar{p}$ -аннигиляции. В эксперименте наблюдалось усиление выхода одноименно заряженных пионных пар при малых относительных импульсах (GGLP - эффект). Такие корреляции были объяснены квантово-статистическими свойствами образующихся объектов: тождественные бозоны, подчиняясь статистике Бозе-Эйнштейна, с большей вероятностью рождаются с близкими импульсами, фермионы, согласно статистике Ферми-Дирака - с меньшей. Было показано, что такое коррелированное поведение тождественных частиц можно использовать для изучения свойств области их образования. В случае нетождественных частиц возникают корреляции с малым относительным импульсом, обусловленные сильным и кулоновским взаимодействием в конечном состоянии, которые также содержат подобную информацию.

Таким образом, корреляционная фемтоскопия является эффективным инструментом, дающим ключ к исследованию пространственно-времен-

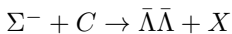
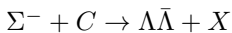
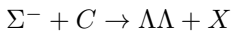
ных характеристик области генерации адронов, изучению взаимодействия в конечном состоянии и других параметров адрон-адронного рассеяния.

Хотя изучение корреляций тождественных частиц ведется уже более 40 лет, до недавнего времени исследования, в основном, ограничивались пионными системами. Корреляционная фемтоскопия странных частиц находится в стадии становления. Данные по корреляциям Λ -гиперонов с малым относительным импульсом достаточно скудны и исчерпываются результатами, полученными в экспериментах: ALEPH, DELPHI, OPAL в e^+e^- аннигиляции на ускорителе LEP, NA49 во взаимодействиях ионов свинца и EXCHARM в nC -взаимодействиях. Таким образом является актуальным проведение изучения корреляций Λ -гиперонов для получения новых экспериментальных данных. Кроме того, взаимодействия в конечном состоянии недостаточно хорошо изучены в связи со сложностью разделения эффекта квантово-статистических корреляций с эффектом взаимодействий в конечном состоянии, поэтому данные исследования могут стать хорошим материалом для теоретической работы.

Уникальная статистика эксперимента SELEX, проведенного на гиперонном пучке с энергией 600 GeV ускорителя Тэватрон (США, Лаборатория им. Ферми), позволяет впервые исследовать корреляции Λ -гиперонов, рожденных во взаимодействии гиперонов с ядрами углерода, а также получить самую большую в мире статистику пар Λ -гиперонов.

Цель работы

Целью работы являлось изучение парных корреляций с малым относительным импульсом Λ -гиперонов и $\bar{\Lambda}$ -гиперонов, образованных во взаимодействии адронов с энергией 600 ГэВ с ядрами углерода в реакциях:



Работа основана на данных эксперимента SELEX, проведенного на Тэватроне (лаборатории им. Ферми, США).

Научная новизна и значимость работы

1. Впервые на гиперонном пучке были исследованы корреляционные функции пар тождественных Λ -гиперонов. Наблюдаются деструктивные корреляции в области малых относительных четырехимпульсов пар Λ -гиперонов. В рамках параметризации Гольдхабера измерены характеристики области рождения Λ -гиперонов.
2. Объем данных эксперимента SELEX, насчитывающий 10^9 триггерных событий, позволил отобрать около 20 тысяч пар Λ -гиперонов, что значительно превышает статистику ранее проводимых исследований по корреляциям пар Λ -гиперонов.
3. Разработано программное обеспечение для физического анализа данных. Пакет создан для использования в сетях GRID и ориентирован на легкость переносимости, расширяемость и повторное использование частей.

Автор защищает

1. Разработку пакета программ для физического анализа данных «LaCor», который применялся для обработки экспериментальных и моделированных данных.
2. Результаты измерения событий, содержащих пары Λ -гиперонов. Анализ полученных одно- и двухчастичных спектров Λ -гиперонов.
3. Результаты моделирования событий, содержащих пары Λ -гиперонов, с помощью пакетов PYTHIA и GEANT: согласие кинематических характеристик моделированных событий с экспериментальными.
4. Результаты анализа корреляционных функций для пар Λ -гиперонов.

Практическая ценность работы

Данная работа является частью программы исследования корреляций с малым относительным импульсом на установке SELEX. Помимо пар Λ -

гиперонов программа включает также исследование пар $\Lambda\bar{\Lambda}$ -гиперонов и пар $\bar{\Lambda}\Lambda$. Эксперимент SELEX позволил получить самую большую в мире статистику пар $\Lambda\Lambda$; анализ их корреляционных функций является значительным дополнением немногочисленных мировых данных по корреляциям Λ -гиперонов и способствует развитию метода корреляционной фемтоскопии в целом. Полученные результаты позволяют проводить проверку теоретических моделей интерференционных корреляций относительно вклада сильного взаимодействия в конечном состоянии и формы потенциала взаимодействия.

Разработанный на C++ (с использованием библиотек ROOT) пакет для физического анализа данных «LaCng», обеспечивает гибкую организацию рабочей среды физического анализа, оптимизирован для работы в сетях GRID и имеет модульную структуру. Это делает пакет достаточно универсальным, чтобы использовать его не только для анализа данных эксперимента SELEX, но и в других экспериментах. На базе пакета был разработан уникальный лабораторный практикум по адронной спектроскопии.

Для обработки данных и проведения моделирования активно использовались сети GRID, которые являются новой, еще развивающейся технологией. Некоторые особенности сети, которые были выявлены совместно с администрацией виртуальной организации PHOTON, могут помочь в дальнейшем совершенствовании технологии.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением современных методов обработки и анализа экспериментальной информации. Результаты компьютерного моделирования были тщательно проверены с использованием экспериментальных данных установки SELEX. При получении спектров был проведен учет вклада фоновых событий (K^0 -мезонов). Устойчивость эффекта проверялась при варьировании критериев отбора и параметров фита. Для построения корреляционных функций были применены разные типы опорного распределения.

Апробация работы

Основные результаты диссертации докладывались на международных конференциях «Ядро-2008» (Москва, 2008) и «Ядро-2009» (Чебоксары, 2009), на III, IV, V, VI и VII конференциях НОЦ CRDF МИФИ «Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях» (Москва, 2005 - 2009 годы), научной сессии-конференции секции ЯФ ОФН РАН. "Физика фундаментальных взаимодействий" (2009 г., ИТЭФ), неоднократно обсуждались на рабочих совещаниях сотрудничества SELEX, как в ИТЭФ, так и за рубежом (семинары в JLab). По материалам диссертации опубликовано 14 работ [1-14], 3 из которых в журналах из списка ВАК: «Известия РАН. Серия физическая», «Письма в ЭЧАЯ».

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации: 105 страниц, 58 рисунков, 6 таблиц, 80 наименований цитируемой литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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 анализа экспериментальных данных по корреляциям частиц с малым относительным импульсом. Приведен обзор мировых данных по изучению корреляций пар Λ -гиперонов.

В последние десятилетия достигнут существенный прогресс в измерении, теории и интерпретации двухчастичных корреляций. Однако, данные по корреляциям Λ -гиперонов немногочисленны и ограничиваются работами, выполненными для следующих процессов: e^+e^- -аннигиляции в экспериментах ALEPH, DELPHI и OPAL на ускорителе LEP; взаимодействия ядер Pb в эксперименте NA49 и для процессов взаимодействия nC в эксперименте EXCHARM.

В эксперименте ALEPH изучались Ферми-Дираковские $\Lambda\Lambda$ и $\Lambda\bar{\Lambda}$ корреляции в распадах Z^0 на основе данных, полученных с помощью детектора ALEPH в период с 1992 по 1995 год. Корреляции измерялись как функции $C(Q)$ от относительного 4-импульса пары. Было выбрано 2566 пар $\Lambda\Lambda$, из которых 2123 пары имеют Q в пределах ($0 < Q < 10 \text{ GeV}$). В приведенных работах наблюдались отрицательные корреляции. С помощью параметризации Гольдхабера получено значение параметра, характеризующего пространственно-временную протяженность области образования $R = 0.11 \pm 0.02_{stat} \pm 0.01_{sys} \text{ fm}$.

В эксперименте OPAL было впервые проведено измерение спинового состояния пар $\Lambda\Lambda$ и $\Lambda\bar{\Lambda}$ в распадах Z^0 . Анализ был проведен на основании данных, полученных в период с 1990 по 1994 год. Была выбрана 2081 пара $\Lambda\Lambda$. Полученное значение $R = 0.19 \pm 0.07_{stat} \pm 0.02_{sys} \text{ fm}$.

В эксперименте NA49 изучались корреляции $\Lambda\Lambda$ -гиперонов наряду с корреляциями других частиц, в том числе и нетождественных, при соударении $Pb-Pb$ с $\sqrt{S} = 158 \text{ GeV}$. Было выбрано ~ 3500 пар $\Lambda\Lambda$ с разностью 4-импульсов в пределах $0 < Q < 0.5 \text{ GeV}$. В представленных работах видны тенденции к деструктивным корреляциям при малых значениях Q , но из-за малой статистики не проводилось извлечение характеристик области рождения.

В эксперименте ЭКСЧАРМ изучались корреляции n , p , π , K и Λ , образованных в nC -взаимодействиях при средней энергии пучка нейтронов 51 GeV . Было выбрано ~ 1500 пар $\Lambda\Lambda$. Полученное значение $R = 0.37 \pm 0.09 \text{ fm}$

В таблице 1 обобщены мировые результаты по корреляциям $\Lambda\Lambda$.

Во второй главе описан эксперимент SELEX, разработанное программное обеспечение для физического анализа данных и методическая работа по отбору и моделированию пар Λ -гиперонов.

Эксперимент SELEX проведен на гиперонном пучке с энергией 600 ГэВ Тэватрона (Лаборатория им. Ферми) для изучения свойств очарованных барионов. Основной задачей при разработке эксперимента являлось обеспечение высокой точности определения параметров взаимодействий

Таблица 1: Сравнение мировых данных экспериментов по изучению корреляций пар $\Lambda\Lambda$ -гиперонов.

Эксперимент	R, fm	Число пар $\Lambda\Lambda$	Реакция
ALEPH	$0.11 \pm 0.02 \pm 0.01$	2566	$e^+e^- \rightarrow Z \rightarrow \Lambda\Lambda + X$
OPAL	$0.19 \pm 0.07 \pm 0.02$	2081	$e^+e^- \rightarrow Z \rightarrow \Lambda\Lambda + X$
NA49	-	3500	$Pb + Pb \rightarrow \Lambda\Lambda + X$
ЭКСЧАРМ	0.37 ± 0.09	1500	$n + C \rightarrow \Lambda\Lambda + X$

очарованных частиц; координат распадных вершин и импульсов вторичных частиц. Набор данных происходил в течение 1996-97 г.

Мишень и три магнита (M1, M2, M3) разделяют SELEX на 5 независимых спектрометров, которые называются пучковый (Beam Spectrometer), вершинный (Vertex Spectrometer), M1, M2, M3 соответственно. Пучок Σ^- -гиперонов направлялся на 5 мишеней, расположенных одна за другой. Кинематические характеристики пучковых частиц определялись с помощью кремниевых детекторов (Silicon Detectors или SD) и пропорциональных проволочных камер (Proportional Wire Chambers или PWC), тип частиц определялся с помощью детектора переходного излучения (Beam Transitional Radiation Detector или TRD). Треки частиц, образовавшихся в результате взаимодействия, регистрировались в вершинном спектрометре, состоящем из микростриповых кремниевых детекторов, которые имели разрешение около $6.5 \mu m$ и эффективность регистрации более 98%. В M1, M2 и M3 спектрометрах кинематические параметры частиц определялись с помощью пропорциональных проволочных камер и кремниевых детекторов (Silicon Detectors или SD). Кольцевой черенковский детектор (Ring Imaging Cherenkov Detector или RICH) и детекторы переходного излучения (Transitional Radiation Detector или TRD) помогали определить тип заряженных частиц. После RICH треки частицы регистрировались с помощью дрейфовых камер (Drift Chambers или DC). Нейтральные частицы регистрировались в трех электромагнитных калориметрах Фотон (PHOTON) и адронном калориметре (NCAL). Схематический вид расположения детекторов в установке SELEX представлен на рис. 1.

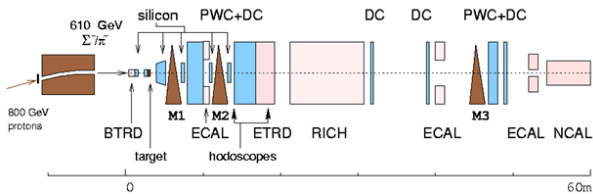


Рис. 1: Схематический вид расположения детекторов установки SELEX.

Данные о срабатывании детекторов обрабатываются программой SOAP (Selex Offline Analysis Package). Обработка полного объема данных занимала длительное время - до полугода, поэтому отбирались и записывались события, содержащие следы распадов гиперонов, и на основе этой статистики проводился дальнейший физический анализ. Выборка данных после первичной обработки составила 10^9 триггерных событий.

Нами разработан пакет для физического анализа LaCor (от Lambda Correlations). В LaCor реализуются архитектура «Модель-представление-контроллер», в которой модель данных, управляющая логика и представление данных пользователю - разделены на отдельные компоненты, что облегчает возможность их модификации и использования пакета для различных целей.

Пакет включает в себя классы для чтения и записи, преобразования данных в объектную модель, классы для отбора событий, классы для представления данных пользователю, интерфейсы для моделирования событий. Скорость обработки данных в 3-15 раз выше, чем у существующего ПО за счет оптимизации чтения и записи данных, кеширования результатов обработки. Пакет оптимизирован для работы в сетях GRID.

В третьей главе представлены результаты методической работы по отбору пар Λ -гиперонов, рассмотрено сравнение кинематических параметров Λ -гиперонов, полученных с помощью моделирования с экспериментальными данными.

Особенностью установки SELEX является то, что часть Λ -гиперонов распадается до вершинного детектора или в вершинном детекторе, и оба заряженных трека фиксируются в вершинном детекторе, что позволяет получить их кинематические параметры с наилучшим разрешением, в то время как треки Λ -гиперонов, распавшихся за пределами вершинного спектрометра (или треки не зарегистрированные вершинным спектрометром) могут детектироваться, начиная с M1 спектрометра, где точность определения кинематических параметров ниже. Разница в разрешении и методиках идентификации и извлечения параметров для двух типов V^0 приводит к тому, что для «вершинных» и «дальних» V^0 приходится применять разные критерии отбора.

Отбрались события, содержащие не менее двух Λ -гиперонов, идентифицированных по распаду на $p\pi^-$. В результате анализа 10^9 триггерных событий, количество пар Λ -гиперонов, прошедших предварительный отбор, составило 20352. На рис. 2(а) представлено распределение по эффективной массе системы $p\pi^-$. Полученное значение $M_\Lambda = 1115.4 \pm 1.1 \text{ МэВ}/c^2$, $\sigma = 1.2 \text{ МэВ}/c^2$.

На рис. 2 (б) представлена зависимость эффективной массы системы $p\pi^-$, соответствующей первому Λ -гиперону из пары $\Lambda\Lambda$, от эффективной массы системы $p\pi^-$, соответствующей второму Λ -гиперону. Представленные распределения, помимо четкого сигнала в области значений эффективной массы $p\pi^-$, соответствующих табличной массе Λ -гиперона, имеют характерные превышения вдоль линий, перпендикулярных осям и проходящих через эту область. Такое поведение свидетельствует о том, что наложенные ограничения не позволяют полностью исключить вклад фоновых событий, в составе которых одна из систем $p\pi^-$ не является Λ -гипероном.

Для получения пар Λ -гиперонов с лучшими кинематическими параметрами отбрались (с более жесткими критериями отбора) V^0 , треки которых зарегистрированы в вершинном детекторе. В результате отбора было получено 3153 событий, содержащих пары Λ -гиперонов.

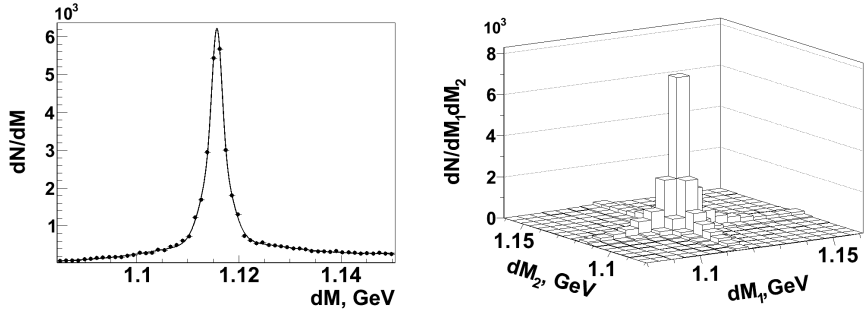


Рис. 2: Одномерное - (а) и двумерное - (б) распределения эффективных масс системы $p\pi^-$.

На рис. 3(а) представлено распределение по эффективной массе системы $p\pi^-$. Распределение фитировалось суммой функции Гаусса и полинома второй степени для описания фона. Полученное значение $M_\Lambda = 1115.7 \pm 0.4 \text{ МэВ}/c^2$, $\sigma = 0.9 \text{ МэВ}/c^2$.

На рис. 3(б) представлено двумерное распределение зависимости эффективной массы системы, соответствующей первому Λ -гиперону, от эффективной массы системы, соответствующей второму Λ -гиперону.

В заключении второй главы описывается методическая работа по моделированию событий, содержащих пары Λ -гиперонов. Моделирование взаимодействия производилось с помощью пакета RUTHIA, моделирование прохождения частицы через установку с помощью пакета GEANT, далее моделированные данные обрабатывались с теми же критериями отбора, что и экспериментальные.

На рис. 4 представлены распределения кинематических параметров: поперечного импульса - P_t и переменной Фейнмана - X_f , для моделированных и экспериментальных данных. События, смоделированные методом Монте-Карло, удовлетворительно описывают эксперимент. На рис. 5 представлены одномерное и двумерное распределения эффективных масс системы $p\pi^-$ для моделированных событий. Распределения также согласуются с экспериментальными распределениями (рис. 2).

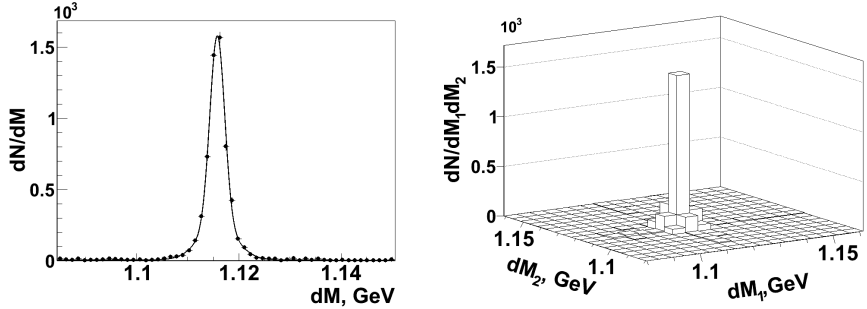


Рис. 3: Одномерное - (а) и двумерное - (б) распределения эффективных масс системы $p\pi^-$ зарегистрированных с помощью вершинного детектора и имеющих лучшие кинематические параметры.

Моделирование событий является ресурсоемким вычислительным процессом, поэтому для проведения моделирования использовались сети GRID виртуальной организации PHOTON, включающие в себя вычислительные мощности кластеров ИТЭФ и МГУ. В общей сложности объем моделированных данных в 2.5 раза превышает объем экспериментальных данных.

В четвертой главе проводится анализ корреляционных функций, приводятся результаты применения параметризации Гольдхабера для извлечения кинематических характеристик области рождения пары Λ -гиперонов.

Экспериментальная корреляционная функция строится как отношение нормированных на единицу экспериментального и опорного распределений:

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

Выбор опорного распределения - чрезвычайно важный вопрос, который является одной из основных экспериментальных сложностей изучения корреляций. Идеальное опорное распределение должно максимально совпадать по своим свойствам с экспериментальным, исключая эффекты

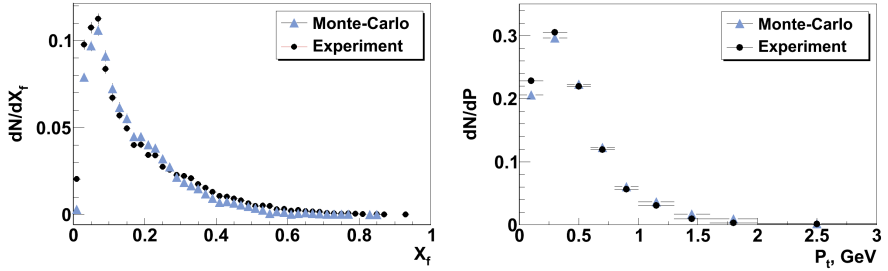


Рис. 4: Сравнение кинематических параметров Λ -гиперонов, полученных с помощью Монте-Карло, с экспериментальными данными. а) Распределение по переменной X_f . б) Распределение по поперечному импульсу P_t .

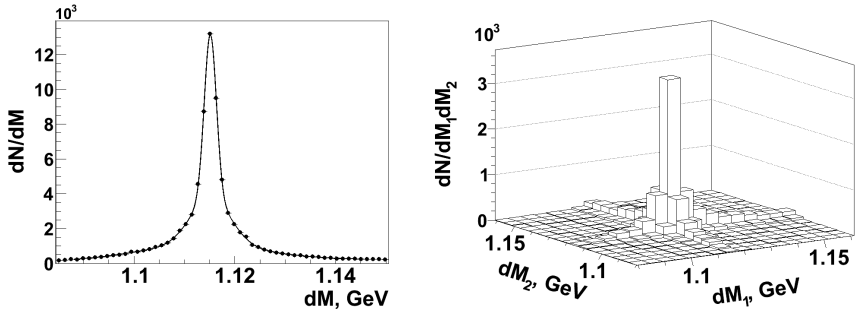


Рис. 5: Одномерное - (а) и двумерное - (б) распределения эффективных масс системы $p\pi^-$ для событий смоделированных методом Монте-Карло.

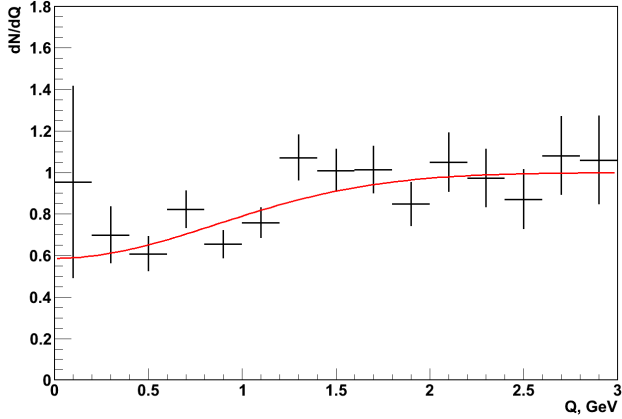


Рис. 6: Корреляционная функция для пар Λ -гиперонов. Использовались «Вершинные» Λ -гипероны с жесткими критериями отбора, в качестве опорного распределения взято моделирование.

интерференционных корреляций. При выполнении этого условия отношение экспериментального и фонового распределений позволяет выделить интерференционный сигнал в чистом виде. При изучении корреляций частиц в качестве опорного применяют: распределения, полученные с помощью моделирования; распределение пар разноименно заряженных частиц; распределение, полученное методом перемешивания.

В литературе предлагаются различные параметризации для $C(Q)$, одна из самых распространенных – Гольдхаберовская параметризация:

$$C(Q) = N(1 - \lambda e^{-R^2 Q^2}), \quad (2)$$

где N – нормировка; λ ($|\lambda| \leq 1$) – параметр когерентности; и R – пространственно-временная протяжённость источника.

На рис. 6 представлена корреляционная функция $C(Q)$ для системы гиперонов, зарегистрированных в вершинном детекторе с лучшими кинематическими параметрами. Опорное распределение получено с помощью моделирования. Для оценки характеристик источника испускания

использована параметризация Гольдхабера. Значение параметра, пропорционального области рождения $\Lambda\Lambda$, таким образом, найдено как: $R = 0.203 \pm 0.034_{stat} fm$

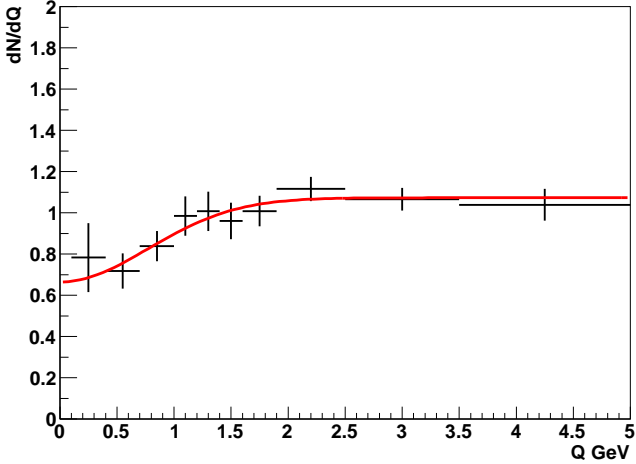


Рис. 7: Корреляционная функция для пар Λ -гиперонов. Применена методика «вычитания фона», в качестве опорного распределения взято моделирование.

Для анализа корреляций Λ -гиперонов, отобранных с более мягкими критериями отбора, применялась методика именуемая далее, как «вычитание фона». Суть ее заключается в предположении о равномерности распределения фона в рассматриваемой области спектра эффективных масс $p\pi^-$ -под пиком, соответствующим Λ -гиперону и за его пределами. Исходя из этого строятся распределения по Q : для событий, где эффективная масса обоих V^0 лежит в области $|M_{V^0_{eff}} - M_\Lambda| < 3\sigma$; для событий, когда эффективная масса одного из V^0 и обоих V^0 попадает в интервал $3\sigma < M_{V^0_{eff}} - M_\Lambda| < 9\sigma$. Из первого распределения вычитаются два остальных с коэффициентами, пропорциональными вкладу фона данного типа в область сигнала.

На рис. 7 представлена корреляционная функция, полученная с использованием метода вычитания фона. С помощью параметризации Гольдхабера получено значение $R = 0.184 \pm 0.046_{stat} fm$.

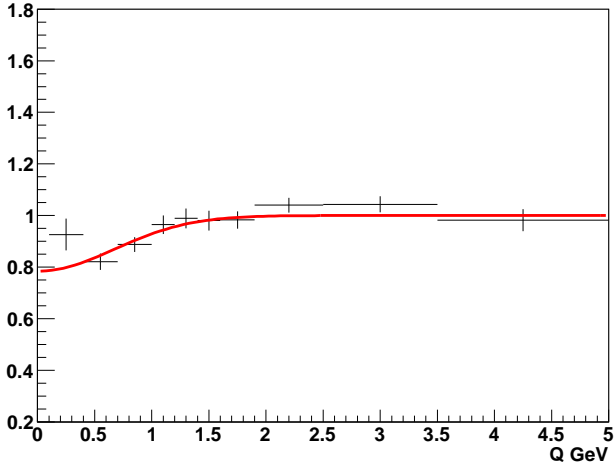


Рис. 8: Корреляционная функция для пар Λ -гиперонов. В качестве опорного распределения использовано «двойное отношение».

При получении опорного распределения методом «перемешивания» распределение строится из тождественных частиц, взятых из разных событий. Преимущества такого подхода заключаются в том, что он основывается только на экспериментальных данных (т.е. для него не существует проблемы точности воспроизведения установки Монте-Карло генераторами), не требует больших вычислительных мощностей (как метод Монте-Карло), позволяет получить распределение по Q с большим числом событий (сводя, таким образом, к минимуму вклад статистических ошибок опорного распределения). Однако возможное невыполнение законов сохранения энергии и импульса может привести кинематические корреляции в распределения и не позволяет, таким образом, получить правильную корреляционную функцию. Помимо этого в методе переме-

Таблица 2: Результаты фитирования параметризацией Гольдхабера корреляционных функций Λ -гиперонов.

Методика*	Тип ЛЛ*	N_{exp}	γ	R fm	χ^2/ndf
Q_{exp}/Q_{mc}	Верш. ЖК.	3153	0.41 ± 0.12	0.203 ± 0.034	15.3/14
Q_{exp}/Q_{mc} ВФ	Верш.	~ 2700	0.44 ± 0.10	0.184 ± 0.046	11.7/9
Q_{exp}/Q_{mc} ВФ	Дальн.	~ 4500	0.36 ± 0.11	0.191 ± 0.038	16.1/9
Q_{exp}/Q_{mc} ВФ	Общ.	~ 7200	0.38 ± 0.11	0.194 ± 0.032	13.6/9
$\frac{Q_{exp}/Q_{exp\ mix}}{Q_{mc}/Q_{mc\ mix}}$	Верш.	4205	0.22 ± 0.12	0.185 ± 0.051	10.7/9
$\frac{Q_{exp}/Q_{exp\ mix}}{Q_{mc}/Q_{mc\ mix}}$	Дальн.	6607	0.21 ± 0.09	0.189 ± 0.048	17.1/9
$\frac{Q_{exp}/Q_{exp\ mix}}{Q_{mc}/Q_{mc\ mix}}$	Верш. + Дальн.	9540	0.23 ± 0.14	0.216 ± 0.043	29.12/9
$\frac{Q_{exp}/Q_{exp\ mix}}{Q_{mc}/Q_{mc\ mix}}$	Общ.	20352	0.18 ± 0.07	0.191 ± 0.29	18.2/9
$\frac{Q_{exp}/Q_{exp\ mix}}{Q_{mc}/Q_{mc\ mix}}$ ВФ	Общ.	~ 12400	0.38 ± 0.07	0.195 ± 0.30	16.2/9

*Сокращения:

- Верш.** - «Вершинные» Λ -гипероны, т.е. распавшиеся в вершинном детекторе.
- Верш. ЖК.** - «Вершинные» Λ -гипероны, с наиболее жесткими критериями отбора.
- Дальн.** - «Дальние» Λ -гипероны, т.е. распавшиеся не в вершинном детекторе.
- Верш. +** Из пары Λ -гиперонов один «вершинный», второй «дальний».
- Дальн.** -
- Общ.** - Все типы Λ -гиперонов.
- ВФ.** - Применена методика вычитания фона.

шивания не учитываются некоторые ограничения, накладываемые при отборе пар тождественных частиц, что также приводит к искажению спектров. Поэтому в таких случаях обычно используют «двойное отношение» - отношение экспериментальной и моделированной корреляционных функций, каждая из которых является отношением распределения исследуемых пар к опорному распределению с использованием метода перемешивания. Такой подход позволяет обойти перечисленные выше трудности.

На рис 8 представлено распределение $C(Q)$, полученное с помощью «двойного отношения». Значение R , полученное с помощью параметризации Гольдхабера, составило: $R = 0.191 \pm 0.29$ fm.

Результаты фитирования для разных методик построения корреляционных функций и отбора Λ -гиперонов представлены в таблице 2. В качестве результирующего взято значение, которое соответствует случаю с максимальной статистикой:

$$R = 0.195 \pm 0.030_{stat} \pm 0.025_{syst} fm$$

Чтобы оценить систематическую погрешность измеренных характеристик корреляций варьировались условия отбора (ограничения на максимальное расстояние между треками, прицельный параметр и т.д.) и область фитирования для разных методик построения опорного распределения.

Представленное значение R в пределах погрешности совпадает с результатами измерения размера области генерации Λ -гиперонов, полученными в экспериментах ALERH и OPAL.

Распределение пар разноименно заряженных частиц в качестве опорного избавлено от минусов остальных методов: в нем используются данные эксперимента о частицах, принадлежащих к одному событию. Поэтому, несмотря на то, что пары тождественных и нетождественных Λ - и $\bar{\Lambda}$ -гиперонов обладают различным взаимодействием в конечном состоянии, в связи с чем получение пространственных параметров источника испускания с помощью параметризации Гольдхабера невозможно, такой подход позволяет увидеть наличие корреляций и оценить их величину.

В диссертации представлена корреляционная функция, которая берется как отношение спектров тождественных пар Λ - и $\bar{\Lambda}$ -гиперонов к спектру нетождественных пар $\Lambda\bar{\Lambda}$ -гиперонов $C_2(Q) = \frac{(N_{\Lambda\Lambda} + N_{\bar{\Lambda}\bar{\Lambda}})}{N_{\Lambda\bar{\Lambda}}}$. Наблюдается эффект деструктивных корреляций, который не противоречит рассмотренным выше результатам для пар Λ -гиперонов.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

1. Разработано программное обеспечение для физического анализа данных. Пакет рассчитан на анализ данных большого объема (10^6 - 10^9 событий) и оптимизирован для работы в сетях GRID. Скорость об-

работки данных в 3 - 15 раз (в зависимости от заданной логики) выше, чем у исходного программного обеспечения. Пакет может быть применен для анализа данных других экспериментов или в учебно-методических целях.

2. На основе данных эксперимента SELEX, проведена идентификация реакций с образованием и регистрацией пар Λ -гиперонов. Измерено 20352 пар, что является самой большой мировой статистикой пар Λ -гиперонов. Качество отбора характеризуется параметрами: $M_\Lambda = 1115.71 \pm 0.06 \text{ МэВ}/c^2$, $\sigma = 0.9 \text{ МэВ}/c^2$.
3. Проведено моделирование событий, содержащих пары гиперонов, с помощью Монте-Карло генераторов PYTHIA и GEANT для моделирования событий эксперимента SELEX, содержащих пары Λ -гиперонов. Кинематические распределения для моделированных данных согласуются с экспериментальными.
4. Впервые проведен анализ корреляционных функций для пар Λ -гиперонов, образованных в инклюзивных реакциях на гиперонном пучке. В виде опорного распределения использовались события, полученные с помощью моделирования, пары нетождественных гиперонов, а также «двойное отношение». В эксперименте наблюдается устойчивое уменьшение вероятности рождения числа пар Λ -гиперонов с малым относительным импульсом по сравнению с опорными распределениями.
5. Измерен параметр, характеризующий размер области генерации пар Λ -гиперонов в адронных взаимодействиях $R = 0.195 \pm 0.030_{stat} \pm 0.025_{syst} \text{ fm}$. Полученный результат в пределах погрешности совпадает с результатами, полученными в экспериментах ALERH и OPAL в распадах Z^0 .

Список литературы

- [1] Разработка программного обеспечения для физического анализа данных эксперимента SELEX / Д.А. Романов, О.В. Булеков, А.К. Поносов и др. // *Письма в ЭЧАЯ*. — 2009. — Т. 6, № 1. — С. 145–151.
- [2] Романов Д.А., Савченко А.А., (SELEX). Корреляции Λ -гиперонов с малым относительным импульсом в эксперименте SELEX // *Известия Российской Академии Наук. Серия Физическая*. — 2009. — Т. 73. — С. 164–166.
- [3] Романов Д.А., Савченко А.А., (SELEX). Корреляционная фемтоскопия Λ -гиперонов в эксперименте SELEX // *Известия Российской Академии Наук. Серия Физическая*. — 2010. — Т. 6. — (в печати).
- [4] Романов Д.А., Савченко А.А., (SELEX). Корреляционная фемтоскопия Λ -гиперонов в эксперименте SELEX // 59 Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра «Ядро 2009». — Санкт-Петербург: СПбГУ, 2009. — С. 110.
- [5] Романов Д.А., Савченко А.А., (SELEX). Корреляции Λ -гиперонов с малым относительным импульсом в эксперименте SELEX // 58 Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра «Ядро 2008». — Санкт-Петербург: СПбГУ, 2008. — С. 178.
- [6] Еремин С.В., Романов Д.А. Регистрация Λ^0 и Σ^0 в эксперименте SELEX // *III Конференция научно-образовательного центра CRDF, Сборник научных трудов*. — 2005. — С. 82–83.
- [7] Романов Д.А. Регистрация пар Λ^0 в эксперименте SELEX // *IV Конференция научно-образовательного центра CRDF, Сборник научных трудов*. — 2006. — С. 28–29.
- [8] Романов Д.А., Савченко А.А. Моделирование регистрации Λ^0 -гиперонов на установке SELEX // *V Конференция научно-образовательного центра CRDF, Сборник научных трудов*. — 2007. — С. 104–106.

- [9] Программное обеспечение для физического анализа данных эксперимента SELEX (пакет LaCor) / О.В. Булеков, А.К. Поносов, Д.А. Романов и др. Препринт 003-2008. — Москва: МИФИ, 2008.
- [10] Романов Д.А., Савченко А.А., (*SELEX*). Разработка программного обеспечения для физического анализа данных эксперимента SELEX // VI Конференция научно-образовательного центра CRDF, Сборник научных трудов / МИФИ. — Москва: 2008. — С. 97–99.
- [11] Савченко А.А., Романов Д.А., (*SELEX*). Регистрация Λ и $\bar{\Lambda}$ в эксперименте SELEX // VI Конференция научно-образовательного центра CRDF, Сборник научных трудов / МИФИ. — Москва: 2008. — С. 93–95.
- [12] Савченко А.А., Романов Д.А., (*SELEX*). Спектры инвариантных масс пар $\Lambda\bar{\Lambda}$ и $\Lambda\Lambda$ в эксперименте SELEX // VI Конференция научно-образовательного центра CRDF, Сборник научных трудов / МИФИ. — Москва: 2008. — С. 96–97.
- [13] Романов Д.А., Савченко А.А., (*SELEX*). Корреляционная фемтоскопия Λ -гиперонов в эксперименте SELEX // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов / НИЯУ МИФИ. — Москва: 2010. — С. 236.
- [14] Савченко А.А., Романов Д.А., (*SELEX*). Относительная поляризация пар Λ -гиперонов в эксперименте SELEX // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов / НИЯУ МИФИ. — Москва: 2010. — С. 235.