

На правах рукописи

Тимошенко Сергей Леонидович

ОБРАЗОВАНИЕ ρ^0 -МЕЗОНОВ В УЛЬТРАПЕРИФЕРИЧЕСКИХ
СТОЛКНОВЕНИЯХ ЯДЕР ЗОЛОТА И ДЕЙТОНА ПРИ ЭНЕРГИЯХ
200 ГЭВ/НУКЛОН В ЭКСПЕРИМЕНТЕ STAR

01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Автор

Москва, 2007

Работа выполнена в Московском инженерно-физическом институте (государственном университете).

Научный руководитель: Емельянов Валерий Михайлович,
доктор физико-математических наук,
профессор, МИФИ, г.Москва

Официальные оппоненты: Курепин Алексей Борисович,
доктор физико-математических наук,
профессор, ИЯИ РАН, г. Троицк

Поносов Александр Климентьевич,
доктор физико-математических наук,
профессор, МИФИ, г.Москва

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт ядерной
физики им. Д.В. Скобельцина Московского
государственного университета
им. М.В. Ломоносова

Защита состоится _____ 2007 г. в час 00 мин. на заседании
специализированного совета Д212.130.07 в Московском инженерно-
физическом институте по адресу: 115409, Москва, Каширское шоссе, дом 31,
конференц-зал, телефон 323-91-67

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИФИ.

Автореферат разослан _____ 2007 г.

Просим принять участие в работе совета или прислать отзыв в одном
экземпляре, заверенном печатью организации.

Ученый секретарь
специализированного совета

Дмитренко В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность работы.

Ядро-ядерные взаимодействия при высоких энергиях (~100 ГэВ/нуклон) предоставляют уникальную возможность исследования ядерного вещества в экстремальных (сильно нагретых и сжатых) состояниях. В этих состояниях, как ожидается, ядерное вещество кардинально меняет свои свойства по сравнению с обычным ядерным веществом: изменяются характеристики адронов (массы и ширины), возникают коллективные взаимодействия, проявляется кварк-глюонная структура адронов. С этой точки зрения, релятивистская ядерная физика является лабораторией для проверки современной теории сильных взаимодействий – квантовой хромодинамики.

Очевидно, что максимальная начальная плотность энергии реализуется при центральных столкновениях ядер, когда величина прицельного параметра много меньше радиусов сталкивающихся ядер (для золота и свинца $R \approx 6 \div 7$ фм). Поскольку центральные столкновения ядер являются достаточно редкими событиями, подавляющее большинство взаимодействий – периферические с прицельным параметром $b > 1$ фм. Среди периферических взаимодействий особое место занимают ультрапериферические с прицельным параметром $b > R_A + R_B$, где R_A и R_B – радиусы сталкивающихся ядер, т.е. такие взаимодействия, при которых ядра практически не перекрываются. При таких прицельных параметрах сильные взаимодействия не являются доминирующими, поскольку ядерная плотность уже достаточно мала. Конкуренцию сильным взаимодействиям могут составить когерентные фотон-фотонные, фотон-померонные и померон-померонные взаимодействия ядер. Когерентность для фотонных полей означает, что поле связано целиком с зарядом ядра, а не с зарядами отдельных протонов, входящих в состав ядра. Точно также когерентное померонное поле связано с сильными взаимодействиями всех нуклонов ядра. Ультрапериферические ядро-ядерные столкновения – новое и перспективное направление в релятивистской ядерной физике получило развитие в последние годы в эксперименте STAR на RHIC.

В настоящее время уже получены первые результаты: коллаборация STAR сообщила о рождении ρ^0 -мезонов в ультрапериферических столкновениях ядер золота при энергиях в системе центра масс $\sqrt{s} = 130$ и 200 ГэВ/нуклон, коллаборация PHENIX представила предварительные данные о наблюдении J/ψ в ультрапериферических столкновениях ядер золота.

До сих пор результаты по рождению частиц в ультрапериферических столкновениях ядер были получены при столкновении симметричных ядер. Не меньший интерес представляет изучение рождения частиц в ультрапериферических столкновениях асимметричных ядер, например, золота и дейтона. В таких столкновениях, одно ядро выступает как мощный источник электромагнитного излучения, а другое - как мишень, что позволяет точно определить механизм рождения частиц в фотон-померонных взаимодействиях.

Цели и задачи исследования. Основной целью исследования, представленного в диссертации, является измерение сечения образования ρ^0 -мезонов и их кинематических характеристик в ультрапериферических столкновениях ядер золота и дейтона в условиях эксперимента STAR на релятивистском ускорителе тяжелых ионов (RHIC) при энергии в системе центра масс $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ/нуклон.

Научная новизна и значимость работы.

В работе впервые обнаружено образование ρ^0 -мезонов в ультрапериферических столкновениях ядер золота и дейтона при энергиях RHIC.

Проведено полное компьютерное моделирование образования векторных мезонов, в котором была учтена возможность когерентного и некогерентного образования векторных мезонов в фотон-померонных взаимодействиях.

Показано, что образование ρ^0 -мезонов происходит как при распаде дейтона на протон и нейтрон, так и в отсутствие этого распада.

Для извлечения сечения образования ρ^0 -мезонов из экспериментальных данных был проведен расчет светимостей для двух типов триггеров.

Для оценки систематических погрешностей в сечении образования ρ^0 -мезонов были вычислены эффективности триггеров при регистрации частиц в ультрапериферических взаимодействиях ядер золота и дейтона.

Полученное значение сечения образования ρ^0 -мезонов в ультрапериферических столкновениях ядер золота и дейтона при энергиях в системе центра масс $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ/нуклон составляет:

$$\sigma = 2.18 \pm 0.32(\text{stat}) \pm 0.52(\text{cstat}) \text{ мб.}$$

Автор защищает: Результаты измерения сечений и кинематических характеристик ρ^0 -мезонов, образованных в ультрапериферических взаимодействиях ядер золота и дейтона на релятивистском ускорителе тяжелых ионов (RHIC) в эксперименте STAR при энергии в системе центра масс $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ/нуклон.

Практическая полезность.

Программа Starlight, модифицированная с учетом возможности столкновения неодинаковых ядер, может быть использована при подготовке экспериментов и анализа данных с ускорителя LHC.

Полученные данные по образованию ρ^0 -мезонов позволят глубже понять природу померонных полей и свойства ρ^0 -мезонов, рожденных в сильных и электромагнитных взаимодействиях.

Данная работа является частью физической программы группы «Ультрапериферическая физика» по изучению рождения частиц в ультрапериферических столкновениях тяжелых ионов на релятивистском ускорителе тяжелых ионов в эксперименте STAR.

Все результаты, представленные в диссертации, получены самим автором, либо при его непосредственном участии.

Апробация и публикации. Материалы, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на конференциях:

На I, II и III конференциях НОЦ CRDF «Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях» (МИФИ, 2003, 2004 и 2005 гг.), на научном семинаре ИЯИ (Троицк, 2004), на XVIII Международном семинаре Проблемы Физики Высоких Энергий (ISHEPP, 2004, Дубна), на XXXIII Международной конференции по физике высоких энергий (ICHEP, 2006, Москва), а также на рабочих совещаниях коллаборации STAR и на Международной конференции DIS 2005 XIII International Workshop on Deep Inelastic Scattering. По материалам диссертации опубликовано 6 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержит 97 страниц, 33 рисунка и 5 таблиц. Список литературы содержит 73 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Во **Введении** описаны актуальность, цель, научная новизна и структура диссертационной работы.

В **первой главе** обсуждаются теоретические основы ультрапериферической физики: рассмотрены свойства фотона при высокой энергии, представлены основные концепции померонов и их свойства. Изложены теоретические модели, описывающие рождение векторных мезонов в ультрапериферических столкновениях тяжелых ионов.

Во **второй главе** описывается процедура моделирования образования векторных мезонов в ультрапериферических столкновениях ядер золота и дейтона. В качестве основного генератора была выбрана программа STARlight, написанная специально для моделирования частиц в ультрапериферических столкновениях тяжелых ионов. В данной программе отсутствует возможность розыгрыша событий с асимметрично сталкивающимися ядрами, поэтому было необходимо модернизировать часть кода, учитывающего возможность столкновения неравных ядер. Также была учтена возможность образования векторных мезонов при когерентных и некогерентных процессах.

На рис.1 показаны распределения по поперечному импульсу p^0 -мезонов, образованных при когерентном и некогерентном взаимодействии ядер золота и дейтона (а,б), а также по инвариантной массе (д) и по скорости (в,г).

Можно видеть, что распределения по поперечному импульсу для когерентных и некогерентных процессов немного отличаются друг от друга. Это вполне объяснимо. При когерентном взаимодействии ядер золота и дейтона фотон от ядра золота взаимодействует с померонным полем всего ядра дейтона, радиус которого 1.98 фм, следовательно, поперечный импульс образованной частицы в таком случае должен быть в среднем около 100 МэВ/с, что соответствует действительности. При некогерентном же взаимодействии фотон взаимодействует с померонным полем одного из нуклонов дейтона, следовательно, поперечный импульс частицы становится больше и в среднем составляет около 300 МэВ/с.

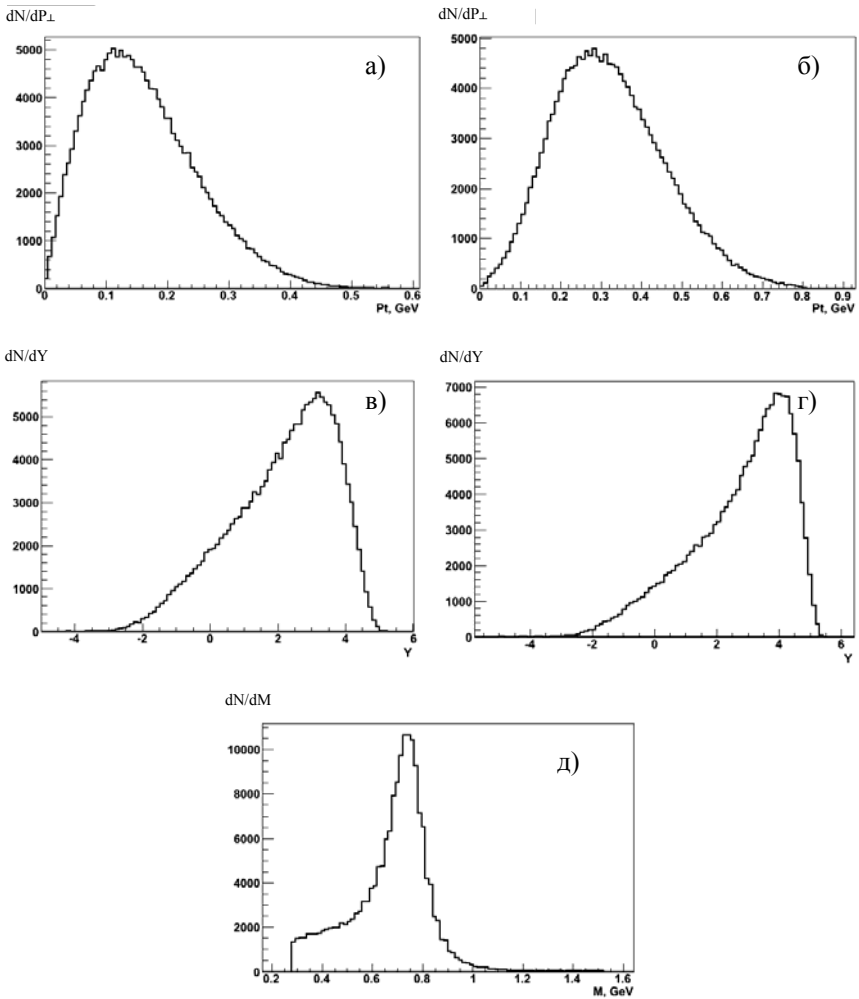


Рис. 1. Распределения ρ^0 -мезона по поперечному импульсу при когерентном (а) и некогерентном (б) взаимодействии ядер золота и дейтона, по быстройте при когерентном (в) и некогерентном (г) взаимодействии, а также распределение по инвариантной массе (д) пионов от распада ρ^0 -мезона.

После Монте-Карловского моделирования рождения ρ^0 -мезонов было выполнено моделирование детектора: проведение стабильных частиц (в нашем случае, частиц от распада ρ^0 -мезона) через математическую модель детектора STAR, а также моделирование отклика всех систем детектора. Результирующая информация записывалась в том же формате, что и реальные данные. С помощью стандартных процедур реконструкции STAR произведена обработка записанных событий. Полученные смоделированные данные анализировались теми же программами, что и реальные данные. Для проверки правильности работы измененного генератора было проведено сравнение смоделированных реконструируемых кинематических характеристик ρ^0 -мезона с экспериментальными распределениями. Результаты сравнений представлены на рис.2.

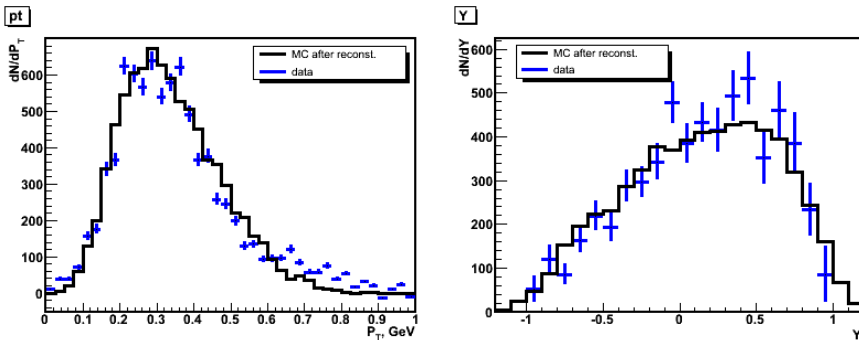


Рис.2. Распределения пионов по поперечному импульсу (а) и быстроте (б). Сплошная линия – реконструированные смоделированные события, а гистограмма с погрешностями – экспериментальные события.

Третья глава посвящена описанию экспериментальной установки, на которой проводился набор данных по рождению частиц в ультрапериферических столкновениях ядер.

Данные, используемые для анализа в диссертационной работе, были получены в эксперименте STAR (Solenoid Tracker At RHIC), на ускорителе релятивистских тяжелых ионов RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) в Брукхейвенской Национальной лаборатории (США).

STAR – один из двух крупных экспериментов на RHIC цель которого состоит в одновременном измерении характеристик образования адронов в большом диапазоне углов. Характерной особенностью STAR является система детекторов с высокой эффективностью полного восстановления зарегистрированных треков частиц, измерения импульсов и идентификации

частиц в условиях высокой плотности треков. Большой акцептанс установки STAR позволяет особенно хорошо проводить событийный анализ столкновений тяжелых ионов.

В разделе 3.1 кратко описывается ускоритель RHIC и процедура ускорения ионов на нем. Наибольшая энергия в системе центра масс, достижимая на RHIC в столкновениях ядер золота или дейтона, составляет $\sqrt{S} = 200$ ГэВ/нуклон.

Разделы 3.2 и 3.3 посвящены описанию основных детекторов установки STAR, которые были задействованы в программе по ультрапериферической физике. Установка STAR представлена на рис.3. Детекторы установки STAR могут быть условно разделены на две группы – быстродействующие детекторы, которые могут считывать данные с частотой, близкой к частоте банчей RHIC, и медленные детекторы, которые работают на частоте, существенно меньшей частоты RHIC, но могут обеспечивать намного более детальной информацией.

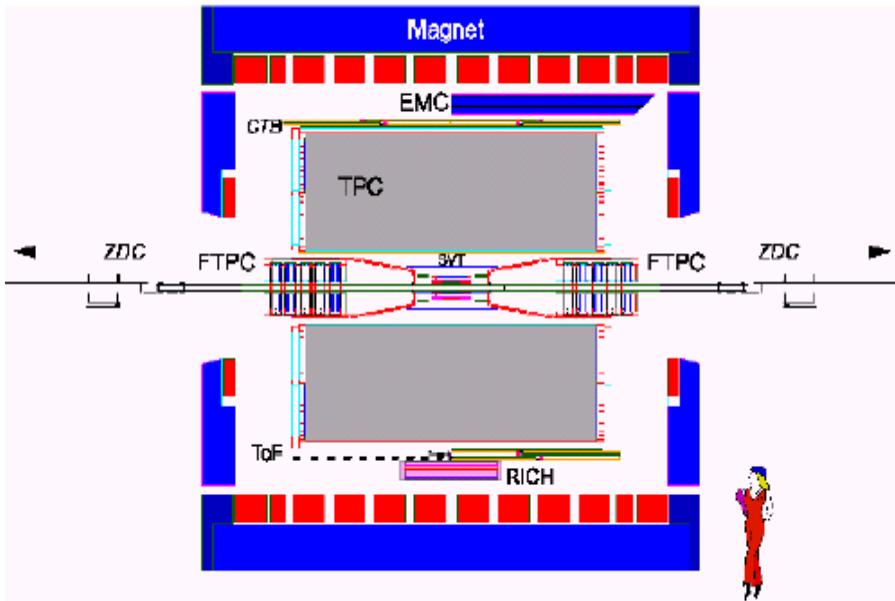


Рис.3. Схематичный вид установки STAR

При изучении ультрапериферических столкновений тяжелых ионов в установке STAR используются следующие основные детекторы:

- калориметры нулевых углов (Zero Degree Calorimeters, ZDC). Они предназначены для обнаружения и измерения энергии незаряженных частиц, испускаемых из области взаимодействия в направлении пучков.
- времяпроекционная камера (TPC). Это ионизационный детектор, идентифицирующий частицы по их энергетическим потерям.
- центральный баррельный триггер (СТВ) – детектор, расположенный вокруг внешнего диаметра TPC. СТВ является инструментом для измерения множественности заряженных частиц в центральном диапазоне псевдобыстрот $|\eta| < 1$.
- кремниевый вершинный детектор (SVT) – это детектор, расположенный вокруг области взаимодействия встречных пучков, во внутренней области TPC. Его назначение состоит в том, чтобы получить дополнительную информацию о треках частиц в области, непосредственно связанной с областью взаимодействия пучков, и обеспечить информацией о вершинах.

Раздел 3.4 посвящен триггерной системе установки STAR. Для отбора ультрапериферических взаимодействий золота и дейтона в эксперименте STAR были использованы два различных типа триггеров.

Первый – «топологический триггер» – был специально разработан для того, чтобы выделять 2-трековые события в ультрапериферических взаимодействиях с помощью СТВ. Данный триггер был также запрограммирован на Уровне 0 триггерной системы STAR, чтобы принимать события, которые имеют зарядовую множественность 1 в двух квадрантах - «северном» и «южном» детекторе СТВ, и не дают сигнала в «верхнем» и «нижнем» квадранте (чтобы избавиться от фона космических лучей). Данный тип триггера был обозначен как «trg_3000».

Другой триггер – это комбинация топологического триггера и детектора ZDC. Данный триггер был запрограммирован на Уровне 0, требуя сигнал от калориметра нулевых углов «WestZDC» и отсутствие сигнала от «EastZDC». Это соответствует процессу распада дейтона на протон и нейтрон, при этом ядро золота остается в основном состоянии. Данный тип триггера был обозначен как «trg_3001».

Четвертая глава посвящена анализу экспериментальных данных по ультрапериферическим столкновениям ядер золота и дейтона при энергии в системе центра масс $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ/нуклон.

Для анализа ультрапериферических столкновений ядер золота и дейтона использовались данные, набранные коллаборацией STAR в 2003 году. В течение 50 часов работы двух триггеров на ультрапериферические события было набрано около 700 тысяч событий при работе триггера trg_3000 и около 250 тысяч событий на триггере trg_3001 .

Для того, чтобы вычислить сечение реакции образования ρ^0 -мезонов, нужно найти количество событий, которые наблюдаются в изучаемой реакции ($N_{observe}$), знать полную интегральную светимость, соответствующую набранным данным (L_{tot}), эффективность триггера для событий данного триггера (ε_{trig}), а также определить эффективность реконструкции событий данного типа, т.е. эффективность детектора (ε_{det}):

$$\sigma = \frac{N_{observe}}{L_{tot} \times \varepsilon_{trig} \times \varepsilon_{det}}. \quad (1)$$

Для определения светимости были проанализированы 170 ультрапериферических сеансов, которые были объединены в специальные контейнеры ультрапериферических событий. После учета необходимых критериев было оставлено 49 «хороших» сеансов, с которыми далее проводился детальный анализ. Выражение (1) может применяться одинаково как к ультрапериферическим столкновениям, так и к столкновениям с прицельным параметром, меньшим суммы двух радиусов сталкивающихся ядер. В частности, с помощью данного выражения, применимому к вычислению полного сечения адронных взаимодействий ядер золота и дейтона, было получено $\sigma_{had} = 2.21 \pm 0.09$ барн. Анализ адронных реакций в детекторе STAR показывает, что события с более чем 7 отрицательно заряженными адронами в TPC в диапазоне псевдобыстроты $|\eta| < 0.5$ и с поперечными импульсами $p_{\perp} > 100$ МэВ/с, составляют $\varepsilon_{det} = 95\%$ от общего полного адронного сечения. Это позволяет вычислить произведение полной светимости и эффективности триггера:

$$L_{tot} \cdot \varepsilon_{trig} = \frac{N^{hadronic}}{\sigma_{had} \cdot \varepsilon_{det} \cdot p}, \quad (2)$$

где p - масштабный фактор, который учитывает нескоррелированность пучков. На рис.4 представлены распределения светимости в зависимости от номера сеанса для различных триггеров. Видно, что разброс в светимости для второго триггера намного больше, чем для первого. Поэтому для дальнейшего анализа для каждого сеанса учитывалась своя светимость.

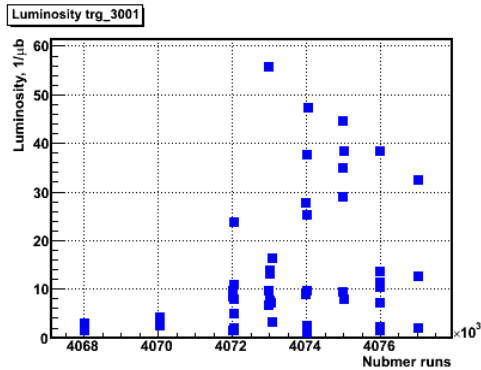
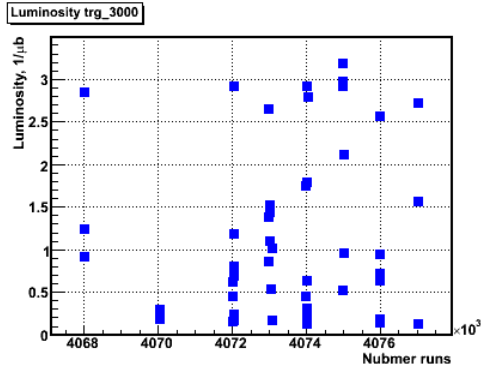


Рис.4. Светимость в зависимости от номера сеанса для различных триггеров.

Для анализа образования ρ^0 -мезона в ультрапериферических столкновениях ядер золота и дейтона использовались события, содержащие ровно два реконструированных трека в ТРС. События принимались, если эти два трека выходили из одной вершины, которая находилась в пределах области взаимодействия (в пределах 2 см в направлениях X и Y и в пределах 50 сантиметров по оси Z от точки взаимодействия пучков). При отборе данных учитывался также геометрический акцептанс установки STAR, т.е. кандидаты в ρ^0 -мезоны принимались с учетом акцептанса по быстроте в пределах $|y| < 1$. Используя информацию по удельным потерям энергии частиц dE/dx в ТРС, было получено, что в отобранных событиях

доминируют пионные пары. Без использования данных от детекторов ZDC в топологическом триггере, основной вклад в фон дают космические лучи. Для уменьшения влияния космических частиц при анализе данных допускалось, чтобы два пионных трека были несколько некопланарны, то есть угол между ними должен быть меньше 3 радиан. Данное условие уменьшает эффективность реконструкции ρ^0 -мезона вблизи $y=0$, когда два пионных трека выходят почти в противоположных направлениях.

В начале 60х и 70х годов были опубликованы разные методы для извлечения « ρ^0 -мезона» из распределений по инвариантной массе $\pi^+\pi^-$ пары. К сожалению, результирующие значения сечения « ρ^0 » зависят от метода, используемого при анализе. Поэтому, в данном анализе при фитировании распределения по инвариантной массе $\pi^+\pi^-$ пары были использованы различные методы, и полученные результаты сравнивались между собой. На рис. 5 приведен пример распределения событий по инвариантной массе $\pi^+\pi^-$ пары для параметризации Содинга (сплошная линия).

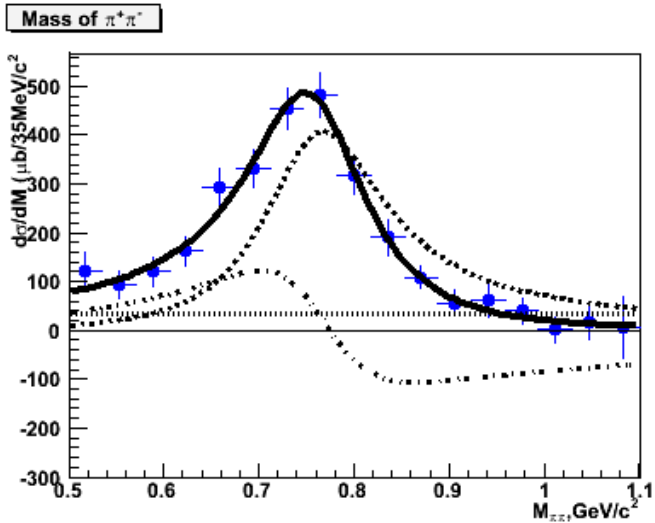


Рис.5. Распределение по инвариантной массе пионов. Сплошная линия – сумма брейт-вигнеровского резонанса (точечная линия), прямого образования $\pi^+\pi^-$ пары и их интерференции (пунктирная линия).

Для анализа были использованы 3 различные параметризации:

$$\frac{d\sigma}{dM_{\pi\pi}} = \left| A \frac{\sqrt{M_{\pi\pi} M_\rho \Gamma_\rho}}{M_{\pi\pi}^2 - M_\rho^2 + i M_\rho \Gamma_\rho} + B \right|^2, \quad (3)$$

$$\frac{d\sigma}{dM_{\pi\pi}} = f_\rho BW(M_{\pi\pi})(m_\rho / M_{\pi\pi})^n, \quad (4)$$

$$\frac{d\sigma}{dM_{\pi\pi}} = f_\rho BW(M_{\pi\pi}) + f_I I(M_{\pi\pi}), \quad (5)$$

где $I(M_{\pi\pi}) = \frac{(M_\rho^2 - M_{\pi\pi}^2)}{\left[(M_\rho^2 - M_{\pi\pi}^2)^2 + M_\rho^2 \Gamma_\rho^2 \right]}$ – интерференционное слагаемое, а

резонансная часть $\pi^+\pi^-$ распределения была параметризована с помощью релятивистской функции Брейт-Вигнера $BW = \frac{M_{\pi\pi} M_\rho \Gamma_\rho}{\left[(M_\rho^2 - M_{\pi\pi}^2)^2 + M_\rho^2 \Gamma_\rho^2 \right]}$. Здесь

M_ρ – масса ρ^0 -мезона и Γ_ρ – ширина, зависящая от импульса следующим образом:

$$\Gamma_\rho(M_{\pi\pi}) = \Gamma_0 \frac{M_\rho}{M_{\pi\pi}} \left[\frac{q^*}{q_0} \right]^3, \quad (6)$$

где Γ_0 – ширина ρ^0 -мезона, q^* – импульс π -мезона в система покоя $\pi^+\pi^-$ пары и q_0^* – значение q^* при соотношении $M_{\pi\pi} = M_\rho$. Для изучения систематических ошибок были также использованы следующие две альтернативные параметризации ширины в зависимости от импульса

$$\Gamma_\rho(M_{\pi\pi}) = \Gamma_0 \frac{\left[\frac{q^*}{q_0} \right]^3}{1 + \left(\frac{q^*}{q_0} \right)^2} \quad (7)$$

и

$$\Gamma_\rho(M_{\pi\pi}) = \Gamma_0 \left[\frac{q^*}{q_0} \right]^3. \quad (8)$$

В табл.1 суммированы все результаты от всех различных вариаций фитирования данных, полученных с помощью триггера «trg_3001». В колонке, помеченной как «модель», представлены различные комбинации параметризаций массы и ширины ρ^0 -мезона. Отношение χ^2 / NDF для всех способов фитирования удовлетворительное. Из таблицы 1 можно видеть, что значения M_ρ массы и ширины Γ_0 ρ^0 -мезона зависят от используемых параметризаций. Полученное значение массы ρ^0 -мезона в пределах ошибок совпадает со значением массы ρ^0 -мезона из PDG ($M_\rho = 768.1 \pm 1.3 \text{ МэВ}/c^2$), в то время как ширина незначительно отличается от $\Gamma_0 = 150.9 \pm 3.0 \text{ МэВ}/c^2$.

Табл. 1. Параметры фитирования различных моделей.

Модель	M_ρ , МэВ/ c^2	Γ_0 , МэВ/ c^2	χ^2 / NDF	$ B/A $	n	$ f_p / f_1 $
(3)+(6)	780±9	164±15	1.02	0.78±0.08	-	-
(3)+(6)	782±7	157±14	0.92	0.87±0.08	-	-
(3)+(6)	780±10	165±15	1.06	0.77±0.08	-	-
(4)+(7)	773±3	156±15	1.01	-	5.33±0.38	-
(4)+(7)	781±7	167±19	1.01	-	5.93±0.43	-
(4)+(7)	773±7	156±15	1.03	-	5.33±0.38	-
(5)+(8)	772±7	162±14	1.03	-	-	0.39±0.04
(5)+(8)	781±8	163±16	0.93	-	-	0.44±0.04
(5)+(8)	769±7	163±14	1.09	-	-	0.37±0.06

На рис. 6(а,б,в) показаны зависимости параметров фитирования массовых распределений $|B/A|$, n и $|f_p / f_1|$ как функции квадрата переданного импульса $|t|$. Можно видеть, что отношение $|B/A|$, которое чувствительно к отношению нерезонансного вклада к резонансному, а также параметр n и отношение $|f_p / f_1|$ сначала увеличиваются с увеличением $|t|$, достигают некоторого максимального значения и дальше уменьшаются. Данные

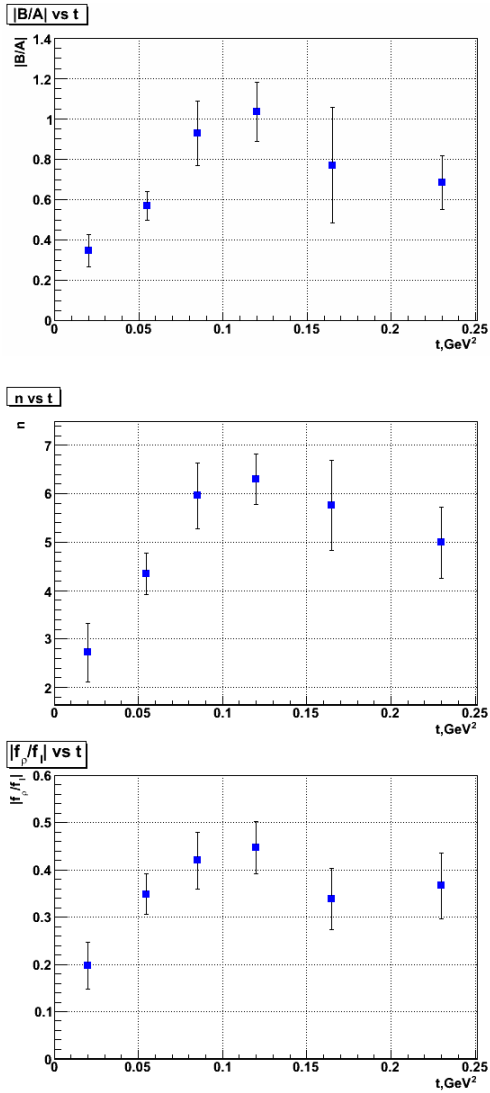


Рис.6. Зависимость параметров фитирования массовых распределений $|B/A|$, n и $|f_\rho/f_1|$ как функция от квадрата переданного импульса $|t|$ соответственно.

зависимости были получены впервые, и нигде раньше такое поведение $|V/A|$, n и $|f_p/f_1|$ в экспериментальных данных не наблюдалось. В экспериментах на протонах и тяжелых ядрах при малых энергиях наблюдалось уменьшение этих отношений с увеличением квадрата переданного импульса $|t|$. Но стоит заметить, что данные результаты отвечают некогерентному образованию ρ^0 -мезона при ультрапериферических столкновениях ядер золота и дейтона, то есть случаю, когда ρ^0 -мезон образуется на дейтоне, и при этом происходит распад дейтона на протон и нейтрон. Исследовать и сравнить поведение $|V/A|$, n и $|f_p/f_1|$ в зависимости от $|t|$ в случае когерентного образования ρ^0 -мезона (данные триггера `trg_3000`), к сожалению, не представляется возможным из-за малой статистики.

При вычислении сечений интегрирование во всех случаях проводилось в диапазоне масс $0.5 < M_{\pi\pi} < 1.1$ ГэВ/ c^2 , и в дальнейшем полученные значения сечений экстраполировались на диапазон $2M_{\pi} < M_{\pi\pi} < M_{\rho} + 5\Gamma_0$ ГэВ/ c^2 , где масса M_{ρ} и Γ_0 ширина ρ^0 -мезона были взяты из PDG, а M_{π} - масса π -мезона. Полученные сечения приведены в табл.2. В этой таблице также указаны сечения, полученные при использовании других параметризаций ширины, описанных в четвертой главе. Можно видеть, что, в зависимости от используемой модели, сечения изменяются в пределах 15%.

Табл. 2. Сечения при различных параметризациях

Модель	σ , мб	Статистические погрешности	Систематические погрешности
(3) + (6)	2.18	0.32	0.52
(3) + (6)	1.99	0.27	0.47
(3) + (6)	2.17	0.38	0.52
(4) + (7)	2.56	0.18	0.61
(4) + (7)	2.48	0.19	0.59
(4) + (7)	2.55	0.18	0.61
(5) + (8)	2.63	0.13	0.63
(5) + (8)	2.44	0.12	0.58
(5) + (8)	2.66	0.13	0.64

Для измеряемых физических величин, например, таких как сечение образования ρ^0 -мезона и его масса, были рассчитаны систематические ошибки, которые вычислялись путем вариации накладываемых ограничений, а также путем вариации свободных параметров, используемых в Монте-Карловской программе моделирования образования ρ^0 -мезона. При этом для каждого изменения анализ был повторен, и полученные сечения сравнивались с номинальными значениями. Для вычисления полной систематической ошибки неопределенности от разных вкладов складывались квадратично. Полученные значения сечений и погрешностей (статистических и систематических) представлены в табл.2.

При изучении дифференциального сечения $d\sigma/dt$ использовалась кинематическая переменная $t_{\perp} = p_{\perp}^2$. При энергиях ускорителя RHIC продольная компонента 4-импульса много меньше поперечной компоненты, поэтому $t \approx t_{\perp}$. На рис.7 представлено дифференциальное сечение $d\sigma/dt$. Можно видеть, что при малых значениях квадрата переданного импульса дифференциальное сечение уменьшается. Полученное распределение сравнивалось с данными, полученными в эксперименте по рассеянию фотона на дейтоне (рис.8). Видно, что поведение распределения по квадрату переданного импульса подобно некогерентному распределению по t на рис.8. Таким образом, можно заключить, что образование ρ^0 -мезона, при отборе данных с помощью триггера `trg_3001`, соответствует некогерентному взаимодействию фотона с ядром дейтона.

Дифференциальное сечение $d\sigma/dt$ было профитировано в кинематическом диапазоне масс $0.5 < M_{\pi\pi} < 1.1$ ГэВ/ c^2 . Для фитирования данного распределения использовалась функция:

$$\frac{d\sigma}{dt} = A_{\pi\pi} e^{-b_{\pi\pi} t}$$

В результате фитирования были определены параметр наклона b и A .

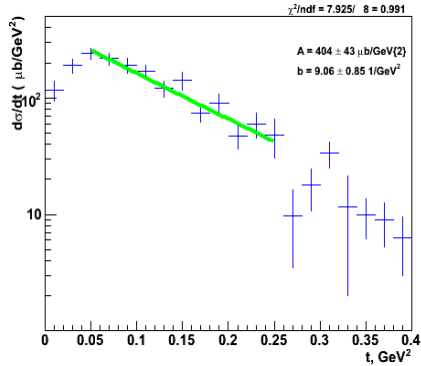


Рис.7. Распределение по квадрату поперечного импульса полученных с помощью триггера trg_3001.

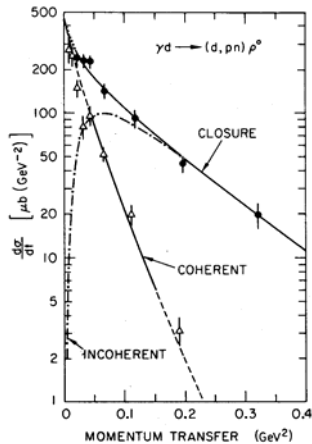


Рис.8. Распределение по квадрату поперечного импульса (Y. Eisenberg et al., Nucl. Phys. B 104 (1976) 91).

В заключении диссертации перечислены основные результаты:

1. Проведено полное Монте-Карловское моделирование образования векторных мезонов в ультрапериферических столкновениях ядер золота и дейтона при энергиях в системе центра масс $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ/нуклон.

2. С помощью метода Монте-Карло вычислены акцептанс установки STAR и эффективность регистрации пионов.
3. Проведен анализ экспериментальных данных с установки STAR по рождению ρ^0 -мезона в ультрапериферических столкновениях ядер золота и дейтона при энергиях в системе центра масс $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ/нуклон.
4. Определены сечения образования ρ^0 -мезона $\sigma = 2.18 \pm 0.32(\text{stat}) \pm 0.52(\text{cism})$ мб и его кинематические характеристики при взаимодействии ядер золота и дейтона.

Опубликованные работы по теме диссертации:

1. S. L. Timoshenko. ρ^0 meson production in ultraperipheral dAu collision. Proceedings of the XVII International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems, v.1 (2005), 292.
2. В.М. Емельянов, С.Л. Тимошенко, М.Н. Стриханов. Введение в релятивистскую ядерную физику. М., издательство ФМЛ, 2004.
3. С.Л. Тимошенко, Емельянов В.М. Рождение векторных мезонов в ультрапериферических ядро-ядерных взаимодействиях, Физика элементарных частиц и атомного ядра, т.37, вып.4 (2006) 1151.
4. J. Adams, ..., S. Timoshenko et al.. Production of e+e- Pairs Accompanied by Nuclear Dissociation in Ultra-Peripheral Heavy Ion Collision. Phys. Rev. C 70 (2004) 031902(R).
5. С. Л. Тимошенко. Образование ρ^0 мезонов в ультрапериферических dAu столкновениях. IV конференция НОЦ CRDF «Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях». Сборник научных трудов, МИФИ, 2006, 32.
6. С. Л. Тимошенко, Образование ρ^0 мезонов в ультрапериферических столкновениях dAu. II конференция НОЦ CRDF «Фундаментальные исследования материи в экстремальных состояниях». Сборник научных трудов, МИФИ, 2004.