



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

На правах рукописи

2002-9

Харлов Юрий Витальевич

**КОГЕРЕНТНЫЕ
ДВУХФОТОННЫЕ ПРОЦЕССЫ
И ОБРАЗОВАНИЕ ЦЕНТАВР-СОБЫТИЙ
В РЕЛЯТИВИСТСКИХ СТОЛКНОВЕНИЯХ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ**

01.04.23 — физика высоких энергий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Протвино 2002

Работа выполнена в Государственном научном центре РФ Институт физики высоких энергий (г. Протвино).

Научные руководители: доктор физико-математических наук В.Л. Коротких, кандидат физико-математических наук С.А. Садовский.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор Л.Н. Смирнова (НИИЯФ МГУ), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник А.П. Самохин (ГНЦ ИФВЭ).

Ведущая организация: Институт общей и ядерной физики Российского научного центра “Курчатовский институт”.

Защита диссертации состоится “_____” _____ 2002 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета К 501.001.03 в Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова по адресу: 119992, Москва, Ленинские горы, МГУ, 19-й корпус, ауд.2-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИЯФ МГУ.

Автореферат разослан “_____” _____ 2002 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.К. Манагадзе

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена исследованию двух классов процессов взаимодействия релятивистских тяжелых ионов, а именно когерентных двухфотонных процессов и процессов образования событий типа Центавр.

При взаимодействиях ионов с прицельным параметром, большим суммы радиусов ядер, все нуклоны ядер могут взаимодействовать когерентно. Электромагнитное поле вокруг ядра может быть заменено полем излучения с соответствующим распределением частот. Спектр этого излучения вычисляется из кинематики процесса в рамках так называемого метода эквивалентных фотонов. В диссертации получены значения эффективных двухфотонных функций светимости и сечений процессов, представляющих интерес для изучения двухфотонных взаимодействий на ускорителях RHIC и LHC, таких как $\gamma\gamma \rightarrow X$ и процессы образования фермион-антифермионных пар, мезонных резонансов, пар W^+W^- , пар суперсимметричных чарджино.

Основное внимание при исследовании двухфотонных процессов уделено возможности их экспериментального изучения, рассмотрены основные источники фона для двухфотонных процессов, разработаны методы регистрации этих процессов в экспериментах на ускорителях тяжелых ионов, а также проведено моделирование триг-

гера на ультрапериферические взаимодействия тяжелых ионов для эксперимента ALICE.

Для описания образования Центавр-событий разработана феноменологическая модель, в рамках которой образование Центавр-событий и стренджлетов имеет естественное объяснение. Показано, что эти события могут происходить в результате образования и эволюции кварковой материи с особыми термодинамическими характеристиками — высоким бариохимическим потенциалом и относительно низкой температурой.

Построенная модель позволяет предсказать наблюдаемые характеристики Центавр-событий в столкновениях тяжелых ионов на ускорителе LHC. Проведено моделирование образования Центавр-событий в столкновении ядер свинца при энергиях 5.5 ТэВ/нуклон и получены оценки возможности экспериментального наблюдения Центавр-событий и стренджлетов с помощью специализированного детектора CASTOR.

В диссертации также описано создание и испытание прототипа вето-детектора заряженных частиц для электромагнитного калориметра эксперимента ALICE на ускорителе LHC. Условия, в которых будет работать эксперимент ALICE, налагают жесткие требования на этот детектор. Выбранная конструкция детектора удовлетворяет механическим и радиационным требованиям, а полученная в ходе испытаний на пучке заряженных частиц точность восстановления координат удовлетворительна с точки зрения физических требований эксперимента.

Актуальность изучаемых задач

Процессы двухфотонных взаимодействий давно изучаются как в рамках теоретической физики, так и в экспериментальных исследованиях. Интерес к двухфотонным процессам определяется тем, что при взаимодействии фотонов могут происходить процессы образования частиц, которые не могут рождаться непосредственно в столкновении элементарных частиц-фермионов (электронов и кварков) ввиду различия квантовых чисел фотонов и фермионов. По-

этому данные, полученные при изучении столкновений фотонов и фермионов, дополняют друг друга.

До запуска ускорителя RHIC двухфотонные процессы изучались только в столкновениях электронов и позитронов, сопровождаемых полями виртуальных фотонов различных энергий, взаимодействия которых приводят к двухфотонным процессам. Экспериментально взаимодействия фотонов при более высоких энергиях предлагают изучать на специализированных двухфотонных коллайдерах, в которых фотонные пучки образуются в результате комптоновского рассеяния лазерного света на высокоэнергичных электронах. Релятивистские столкновения ионов с большим электрическим зарядом также могут служить источником почти реальных фотонов, изучение которых имеет свои преимущества по сравнению с двухфотонными процессами в e^+e^- -столкновениях и на будущих фотонных коллайдерах.

По сравнению с современными e^+e^- -коллайдерами потоки фотонов, образующиеся в столкновениях тяжелых ионов, на порядки выше так же, как выше и диапазон достижимых энергий $\gamma\gamma$ -взаимодействий. Столкновения же фотонов на специализированных фотонных коллайдерах являются до сих пор делом будущего. Диапазон энергий, доступных в $\gamma\gamma$ -процессах, в столкновениях тяжелых ионов может достигать нескольких сотен ГэВ на ускорителе LHC, что делает доступными для изучения процессы образования от легких мезонных резонансов до суперсимметричных частиц. Расчеты двухфотонных функций светимости и сечений различных процессов в двухфотонных взаимодействиях в столкновениях тяжелых ионов, проведенные с помощью программы TRNHC, весьма актуальны для формирования физической программы на ускорителях тяжелых ионов RHIC и LHC, так как определяют физический потенциал экспериментов на этих ускорителях по изучению двухфотонных взаимодействий.

Другой класс явлений в столкновениях тяжелых ионов при сверхвысоких энергиях, а именно образование событий типа Центавр и стренджлетов, также представляет большой интерес. Природа Центавр-событий и стренджлетов до сих пор не изучена из-за ма-

лой статистики таких событий в космических лучах. Существует несколько моделей, объясняющих эти события, и для выбора модели, наиболее полно описывающей образование Центавр-событий, необходимы систематические исследования на ускорителях.

Для описания процессов образования Центавр-событий и стренджлетов мы разработали количественную феноменологическую модель, обобщающую экспериментальные факты, наблюдаемые в космических лучах, и дающую последовательное термодинамическое и кинематическое описание этих событий. С помощью построенной модели можно получить основные характеристики Центавр-событий, образующихся в столкновениях релятивистских тяжелых ионов на ускорителе LHC.

Весьма актуальной является также задача создания детекторов для готовящихся экспериментов на ускорителе LHC. В диссертации описано испытание прототипа вето-детектора заряженных частиц для электромагнитного калориметра эксперимента ALICE. Детектор построен на основе пропорциональных счетчиков с катодно-падовым съемом информации. Показано, что изучаемый прототип вето-детектора удовлетворяет требованиям, предъявляемым к такого класса детекторам.

Цель работы

Целью диссертации является исследование и физическое моделирование двух классов процессов взаимодействия релятивистских тяжелых ионов, а именно когерентных двухфотонных процессов и процессов образования событий типа Центавр, для планируемого эксперимента ALICE на ускорителе LHC. В диссертации также рассматривается создание и испытание прототипа вето-детектора заряженных частиц для электромагнитного калориметра эксперимента ALICE на основе пропорциональных счетчиков с катодно-падовым съемом информации.

Научная новизна и практическая ценность работы

Вычислены двухфотонные функции светимости в столкновении релятивистских тяжелых ионов, а также определены сечения образования различных физических процессов, доступных для изучения

на ускорителях RHIC и LHC. Расчеты проведены с помощью специально созданного генератора событий TRHC, позволяющего проводить моделирование процессов $\gamma\gamma \rightarrow X$, $\gamma\gamma \rightarrow f\bar{f}$ (f — фермионы), $\gamma\gamma \rightarrow R$ (R — мезонные резонансы), $\gamma\gamma \rightarrow W^+W^-$, $\gamma\gamma \rightarrow S\bar{S}$ (S — суперсимметричные частицы).

Показано, что для экспериментального изучения двухфотонных процессов наиболее подходят столкновения ионов средней массы (Ar), благодаря высокой светимости пучков ионов и меньшему радиусу ядра. С помощью созданного генератора событий были проведены расчеты возможности экспериментального наблюдения двухфотонных процессов в экспериментах FELIX, CMS и ALICE.

Впервые разработаны триггер на когерентные ультрапериферические взаимодействия, а также методы их экспериментального изучения для эксперимента ALICE.

Предложена количественная феноменологическая модель образования Центавр-событий и стренджлетов в столкновениях релятивистских тяжелых ионов. Модель реализована в виде генератора событий CNGEN, который позволяет делать численные оценки параметров кварковой материи, образованной в столкновении тяжелых ядер, характеристик Центавр-событий, а также проводить моделирование образования Центавр-событий и стренджлетов на ускорителях тяжелых ионов. С помощью этого генератора событий впервые проведены расчеты эффективности регистрации Центавр-событий и стренджлетов в детекторе CASTOR и получены методы выделения этих событий над фоном. Благодаря проведенным расчетам было доказано, что детектор CASTOR имеет оптимальные параметры для регистрации Центавр-событий; в настоящее время этот детектор является официально принятым проектом эксперимента ALICE и находится в стадии создания и испытания прототипов и разработки основных элементов экспериментальной установки. Генератор событий CNGEN был также использован для расчетов возможности наблюдения Центавр-событий в эксперименте CMS.

Создан и испытан на пучке прототип вето-детектора заряженных частиц на основе пропорциональных счетчиков. Детектор предназначен для идентификации ливней, вызванных заряженными частицами

в электромагнитном калориметре PHOS эксперимента ALICE. Измерены эффективность и координатные разрешения этого детектора. Показано, что измеренные свойства прототипа и технология изготовления детектора удовлетворяют требованиям, предъявляемым к вето-детектору заряженных частиц.

**На защиту выносятся следующие результаты и
выводы, полученные в ходе выполнения
диссертационной работы**

1. Определение двухфотонных функций светимости в столкновении тяжелых ионов на ускорителях RHIC и LHC.
2. Определение сечений процессов образования адронов, фермионных пар, мезонных резонансов, пар электрослабых калибровочных бозонов, пар суперсимметричных фермионов и суперсимметричных скалярных частиц.
3. Проведение расчетов и моделирования когерентных двухфотонных процессов в столкновении релятивистских тяжелых ионов на ускорителях RHIC и LHC с помощью специально созданного генератора событий.
4. Разработка методов экспериментальных исследований когерентных двухфотонных процессов в столкновении тяжелых ионов и моделирование триггера на ультрапериферические процессы.
5. Разработка феноменологической модели образования Центавр-событий и стренджлетов в столкновениях релятивистских тяжелых ионов.
6. Проведение расчетов характеристик процессов образования Центавр-событий и стренджлетов для коллайдеров тяжелых ионов с помощью специально созданного генератора событий.
7. Моделирование регистрации Центавр-событий и стренджлетов в детекторе CASTOR.
8. Создание и испытание прототипа детектора заряженных частиц для электромагнитного калориметра эксперимента ALICE.

Апробация работы и публикации

Результаты, приведенные в диссертации, опубликованы в журналах “Nucl. Phys. Proc. Suppl.”, “Il Nuovo Cimento C”, “Приборы и Техн. Эксп.”, в трудах конференций ICRAQGP-97, EPS-HEP-99, ICRC-99, SQM-2001, а также в виде препринтов ИФВЭ и препринтов коллабораций CMS и ALICE. Результаты также докладывались на рабочих совещаниях коллаборации ALICE и семинарах ГИЦ ИФВЭ. Апробация диссертации прошла в ГИЦ ИФВЭ 5 марта 2002 г. Основные результаты диссертации опубликованы в работах [1–14].

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 107 страниц, включая 38 рисунков, 12 таблиц и список литературы, который содержит 96 ссылок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена изучению когерентных двухфотонных процессов в релятивистских столкновениях тяжелых ионов. Вначале излагается формализм эквивалентных фотонов, описан спектр эквивалентных фотонов, который позволяет вычислять сечение двухфотонных взаимодействий в столкновениях ядер, связанное с сечением элементарного $\gamma\gamma$ -процесса эффективной двухфотонной светимостью.

Получены двухфотонные светимости для ускорителей тяжелых ионов RHIC и LHC, которые показаны на рис.1. Затем описаны физические процессы в $\gamma\gamma$ -взаимодействиях, доступные для изучения на ускорителях тяжелых ионов. Рассмотрена физическая природа фотона как составной частицы, дана классификация двухфотонных процессов, а также рассмотрены процессы рождения легких мезонов и тяжелых кваркониев, рождения пар фермионов (лептонов и кварков), рождения пар слабых векторных бозонов и пар суперсимметричных частиц. Получены сечения образования этих процессов, приведенные в табл. 1.

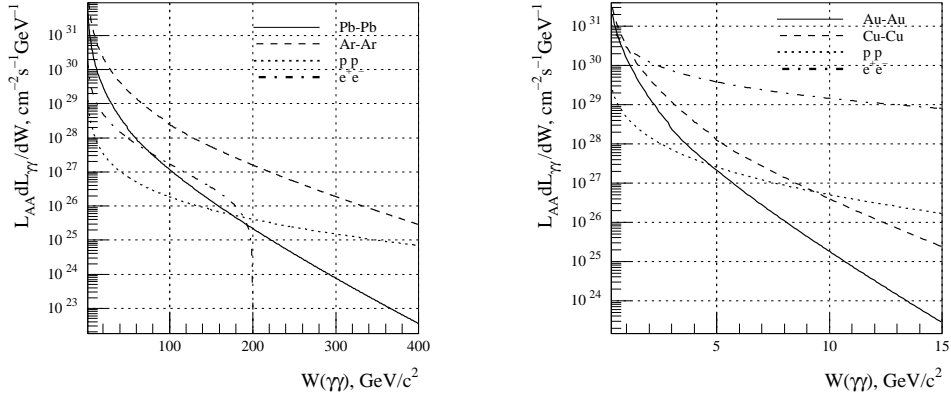


Рис. 1. Эффективные двухфотонные функции светимости для LHC (слева) и RHIC (справа) для различных ионов и протонов, а также для e^+e^- коллайдера LEP-II.

Таблица 1. Сечения образования $f\bar{f}$ и W^+W^- и некоторых мезонных резонансов в двухфотонных взаимодействиях при энергии столкновения ионов $Au-Au$ при $\sqrt{s_{AA}} = 100 A \cdot \text{ГэВ}$ на RHIC, а также в столкновениях ионов $Ca-Ca$ и $Pb-Pb$ при $\sqrt{s_{AA}} = 7.2 A \cdot \text{ТэВ}$ и $5.5 A \cdot \text{ТэВ}$ соответственно на LHC.

Процесс	Диапазон масс, ГэВ	$\sigma(AA \rightarrow AA + f^+f^-)$ мкб		
		AuAu	CaCa	PbPb
$\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$	$1 < W < 10$	280	730	$1.1 \cdot 10^5$
$\gamma\gamma \rightarrow s\bar{s}$	$1 < W < 10$	7.6	20	$3.1 \cdot 10^3$
$\gamma\gamma \rightarrow c\bar{c}$	$3.7 < W < 10$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	6.2	790
$\gamma\gamma \rightarrow b\bar{b}$	$10.6 < W < 20$	—	$1.3 \cdot 10^{-2}$	1.2
$\gamma\gamma \rightarrow \eta_c$	$W = 2.98$	1.8	3.7	$0.54 \cdot 10^3$
$\gamma\gamma \rightarrow \chi_{c0}$	$W = 3.42$	0.38	1.2	$0.17 \cdot 10^3$
$\gamma\gamma \rightarrow \chi_{c2}$	$W = 3.56$	0.17	0.59	85
$\gamma\gamma \rightarrow \eta_b$	$W = 9.37$	—	$2.8 \cdot 10^{-3}$	0.32
$\gamma\gamma \rightarrow \chi_{b0}$	$W = 9.86$	—	$0.15 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$
$\gamma\gamma \rightarrow \chi_{b2}$	$W = 9.91$	—	$0.18 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$
$\gamma\gamma \rightarrow W^+W^-$	$W < 160$	—	$29 \cdot 10^{-6}$	$190 \cdot 10^{-6}$

Отдельная часть первой главы посвящена модели Монте-Карло двухфотонных взаимодействий в столкновении тяжелых ионов. Модель выполнена в виде генератора событий и позволяет как вычислять двухфотонные функции светимости и сечения различных процессов, так и давать полную конфигурацию события, что необходимо для моделирования отклика детектора. С помощью этого генератора событий проведены расчеты сечений двухфотонных процессов при энергиях ускорителей RHIC и LHC.

Первая глава завершается обсуждением возможности экспериментального наблюдения двухфотонных событий в эксперименте ALICE на ускорителе LHC. Показано, что основными источниками фона являются процессы множественного образования e^+e^- -пар, а также фотон-померонные и померон-померонные процессы. При этом в столкновении тяжелых ионов процесс множественного рождения e^+e^- -пар доминирует и составляет 230 кб в столкновениях ионов свинца при энергии 5.5 ТэВ/нуклон, но сечение померонных взаимодействий невелико по сравнению с сечением двухфотонных процессов.

Разработан триггер на двухфотонные взаимодействия в столкновении тяжелых ионов для эксперимента ALICE. Триггер основан на отборе событий с малой множественностью во внутренней трековой системе. Показано, что частота триггера составляет $8.4 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ для кремниевого пиксельного детектора и 17 с^{-1} для кремниевого микрострипового детектора. Приведены скорости регистрации реакций $\gamma\gamma \rightarrow X$ и $\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$ в эксперименте ALICE с учетом акцептанса и эффективности установки. Обсуждаются методы регистрации двухфотонных процессов в экспериментах на ускорителях RHIC и LHC.

Вторая глава посвящена образованию Центавр-событий. В первой части этой главы дается обзор данных, полученных в экспериментах с космическими лучами, обсуждаются основные наблюдаемые этих событий: множественности нейтральных и заряженных частиц, различные кинематические характеристики, такие как средний поперечный импульс и быстрота. Затем рассматривается феноменологическая модель, объясняющая Центавр-события как про-

явление нового состояния вещества, кварковой материи с высоким бариохимическим потенциалом, которая образуется в столкновении ядер при высоких энергиях, и дается термодинамическое описание квазистационарного состояния ядерной материи в терминах температуры, бариохимического потенциала, давления, плотности энергии, описана эволюция этого состояния материи.

Далее представлена модель Монте-Карло образования Центавр-событий в столкновениях тяжелых ионов, позволяющая предсказывать свойства этих событий в условиях коллайдеров тяжелых ионов. Согласно этой модели в центральных столкновениях ядер образуется файербол, состоящий из кварков одного из налетающих ядер, находящихся в состоянии деконфайнмента. Барионное число такого файербола может иметь значения в столкновениях ядер свинца от 140 до 190 в зависимости от прицельного параметра. Этот файербол характеризуется высоким бариохимическим потенциалом ($\mu_b \sim 1.5 - 3$ ГэВ) и относительно низкой температурой ($T \sim 130 - 250$ МэВ). Такое соотношение бариохимического потенциала и температуры приводит к значительному подавлению образования кварк-антикварковых пар $u\bar{u}$ и $d\bar{d}$, а, следовательно, и к подавлению выхода π -мезонов. Плотность энергии ε и объем V_{fb} образовавшегося файербола зависят от термодинамических параметров и могут составлять $\varepsilon = 3 - 13$ ГэВ фм^{-3} и $V_{\text{fb}} = 50 - 100$ фм^3 , что определяет массу файербола, равную $200 - 600$ ГэВ.

Описывается также кинематика файербола, показано, что он может образовываться в области больших быстрот, $y = 4 - 6$. Модель также описывает эволюцию файербола, в ходе которой глюоны, находящиеся изначально в файерболе, фрагментируют в пары $s\bar{s}$, а \bar{s} -кварки могут связываться с u - и d -кварками, излучаясь с K^+ - и K^0 -мезонами. Странность, остающаяся в файерболе после излучения антистранных мезонов, может составлять от 6 до 70 в зависимости от параметров модели. Образующийся файербол странной кварковой материи распадается на барионы и адронные объекты с барионным числом $A = 7 - 15$, высокой странностью $S/A \approx 1$ и малым зарядом $Z/A \approx 0$. Эти объекты ассоциируются с глубокопроникающими адронными ливнями, наблюдаемыми в космических лучах и называемыми стренджлетами.

В рамках модели предсказывается отношение множественности адронов к полной множественности, равное 0.93, и отношение энергии адронов к полной энергии события, равное 0.99. Средний поперечный импульс вторичных частиц составляет 1.3 – 1.8 ГэВ/с, а скорости вторичных частиц лежат в диапазоне от 4.5 до 6.5.

В заключение второй главы проведено обсуждение возможности наблюдения Центавр-событий и стренджлетов на ускорителе LHC в эксперименте ALICE. Средняя множественность заряженных частиц от Центавр-событий в детекторе составляет 30–60, что в 30 раз выше средней множественности адронных событий. Центавр-события в детекторе будут также отличаться повышенной по сравнению с адронными событиями кумулятивностью вторичных частиц. Получены эффективности регистрации Центавр-событий и проведено их сравнение с регистрацией обычных адронных процессов в сталкивающихся ядрах. Результаты проделанной работы легли в основу предложения проекта CASTOR эксперимента ALICE.

Третья глава описывает создание прототипа вето-детектора заряженных частиц для фотонного спектрометра PHOS эксперимента ALICE (LHC) и испытание его на пучке ускорителя PS в ЦЕРН. Вето-детектор заряженных частиц предназначен для идентификации ливней в электромагнитном калориметре, вызванных заряженными частицами. Вето-детектор заряженных частиц должен удовлетворять жестким требованиям, необходимым для работы в эксперименте ALICE в условиях больших множественностей.

Предложенный детектор относительно дешев, имеет малое количество материала, позволяет охватить большие площади и измерять координаты с высоким разрешением, что достигается считыванием информации с катодных стрипов или падов. При считывании информации с падов детектор обеспечивает также высокое разрешение двух соседних треков. В главе описывается конструкция этого детектора, экспериментальная установка для его испытаний, результаты, полученные в ходе испытаний на пучке.

Один из прототипов этого детектора построен на основе пропорциональных трубок со считыванием информации сегментированным катодом. Детектор имеет плоско-параллельную конструкцию с ромбовидными пропорциональными счетчиками и большими катодны-

ми падами. Каждый пад имеет форму квадрата, размер которого $2.2 \times 2.2 \text{ см}^2$ определяется компромиссом между требуемой координатной точностью и стоимостью детектора, которая растет с ростом числа каналов считывающей электроники. Конструкция прототипа детектора показана на рис.2.

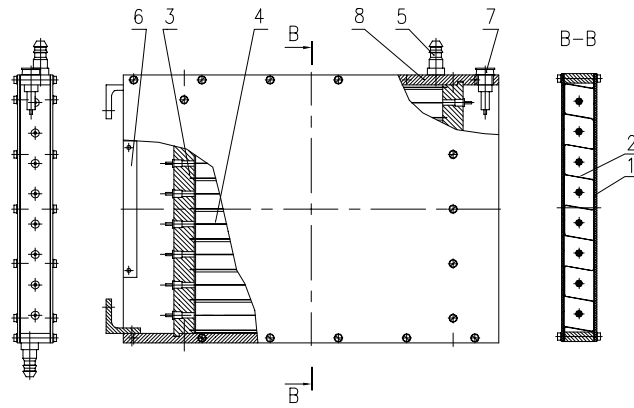


Рис. 2. Конструкция CPV: (1) катодная плоскость, (2) гофрированная алюминиевая фольга, (3) рама установки анодных проволок, (4) анодные проволоки, (5) газовый клапан, (6) разъем считывающей электроники, (7) разъем высоковольтного кабеля, (8) внешняя стенка детектора.

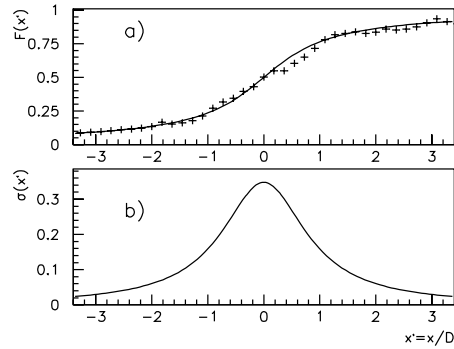
Характеристики построенного прототипа детектора заряженных частиц были изучены на канале T10 выведенных из ускорителя PS (ЦЕРН) пучков в диапазоне импульсов от 1 до 6 ГэВ/с. Экспериментальная установка состояла из системы сцинтилляционных и черенковских счетчиков для выбора пучковых частиц и выработки триггера, а также из 10 плоскостей микрострипового кремниевого детектора (МКД) для определения истинной координаты пучковой частицы. Считывающая электроника была выполнена на основе 16-канальных интегральных усилителей GASSIPLEX с мультиплексированием. Усиленный сигнал оцифровывался в едином для всех каналов 10-разрядном АЦП. Система сбора данных была построена на основе электронного модуля, поддерживающего управление мультиплексированной передачи данных от GASSIPLEX к АЦП. Данные записывались в цифровом формате на жесткий диск компьютера системы сбора данных.

При прохождении заряженной частицы через детектор образуется наведенный заряд на катодной плоскости, распределение которого определяется через амплитуды падов. Сигналы, наведенные на падах заряженными частицами, сгруппированы в кластеры вдоль анодных проволочек. В ходе испытаний прототипа было выбрано рабочее высокое напряжение 2050 В, при котором эффективность детектора максимальна (99%), а вклад однопадовых кластеров невелик. По распределению амплитуд в падах была измерена функция отклика детектора, выражающаяся через распределение заряда $\sigma(x)$ или кумулятивную зарядовую функцию

$$F(x) = \frac{1}{Q_0} \cdot \int_{-\infty}^x \sigma(\zeta) d\zeta .$$

Измеренная функция отклика показана на рис.3.

Рис. 3. Зарядовая кумулятивная функция (эксперимент) в зависимости от координаты x — (а). Соответствующая функция плотности распределения заряда — (b).



Координаты прошедших через детектор частиц находились по наведенным на падах зарядам с помощью специальной процедуры. В частности, координата y (поперек анодных проволочек) определялась по номеру сработавшей трубки. Соответствующее координатное разрешение теоретически оценивается как $\sigma_y = a/\sqrt{12} \approx 0.64$ см, что и было подтверждено непосредственными измерениями. В направлении x (вдоль проволочек) было получено существенно лучшее координатное разрешение, $\sigma_x = 1.25$ мм, за счет использования процедуры взвешивания амплитуд сигналов в кластере.

В **заклучении** приведены основные результаты диссертации, которые могут быть сформулированы следующим образом.

1. Получены значения эффективных двухфотонных функций светимости в столкновении тяжелых ионов на ускорителях RHIC и LHC. Показано, что столкновения ионов средней массы, таких как Ca или Ar , являются оптимальными для изучения двухфотонных взаимодействий, так как частоты двухфотонных взаимодействий в столкновениях этих ионов имеют наибольшие величины, и диапазон инвариантных масс $\gamma\gamma$ -системы шире, чем в столкновениях тяжелых ионов (Pb).
2. Получены сечения образования адронов, фермионных пар, мезонных резонансов, пар электрослабых калибровочных бозонов, пар суперсимметричных фермионов и суперсимметричных скалярных частиц. Показано, что в двухфотонных столкновениях ионов Ca на ускорителе LHC сечение процессов $\gamma\gamma \rightarrow X$, образования фермион-антифермионных пар достаточно велико вплоть до инвариантных масс 200 ГэВ. Образование мезонных резонансов может быть изучено до масс резонансных состояний $b\bar{b}$.
3. Уделено особое внимание экспериментальному изучению процессов двухфотонного взаимодействия на ускорителях тяжелых ионов, показано, что основными источниками фона являются процессы многократного образования пар e^+e^- , а также фотон-померонные и двухпомеронные взаимодействия. Вклад в скорость регистрации событий процесса множественного образования пар e^+e^- особенно велик в случае столкновения тяжелых ионов, в то время как вклад фотон-померонных и двухпомеронных процессов по сравнению с двухфотонными процессами мал при столкновении тяжелых ионов. Показано, что триггер на когерентные ультрапериферические взаимодействия ионов в эксперименте ALICE может быть построен на основе детекторов внутренней трековой системы. Показано, что в столкновениях ионов Pb при энергии 5.5 ТэВ/нуклон загрузка этого триггера определяется сечением образования e^+e^- -пар с поперечным импульсом выше 2.3 МэВ/с. Определена скорость

- счета такого триггера и частота регистрации двухфотонных процессов, отобранных этим триггером.
4. Для изучения когерентных двухфотонных процессов в столкновении тяжелых ионов был создан генератор событий TRNIS, с помощью которого были вычислены эффективные двухфотонные светимости, сечения двухфотонных процессов, а также проведено моделирование двухфотонных процессов в эксперименте ALICE.
 5. Разработана феноменологическая модель образования Центавр-событий и стренджлетов в столкновениях тяжелых ядер при релятивистских энергиях. Показано, что Центавр-события и стренджлеты могут образовываться в результате рождения и распада кварковой материи, образующейся в столкновениях тяжелых ионов при высоких энергиях. Построенная количественная модель позволяет предсказать термодинамические и кинематические характеристики Центавр-событий и стренджлетов в столкновении тяжелых ионов на ускорителе LHC.
 6. В результате проведенного моделирования образования Центавр-событий и их регистрации в специализированном детекторе CASTOR эксперимента ALICE определены эффективности регистрации этих событий и показано, что кинематическими наблюдаемыми, позволяющими отличить Центавр-событий от обычных адронных взаимодействий, являются множественность заряженных частиц, средний поперечный импульс, отношение адронной к полной энергии и степень кумулятивности событий. Показано, что выбранная геометрия детектора CASTOR оптимальна для регистрации Центавр-событий и стренджлетов.
 7. Феноменологическая модель образования Центавр-событий и стренджлетов в столкновении тяжелых ионов реализована в виде генератора событий CNGEN, с помощью которого выполнены все расчеты характеристик Центавр-событий, приведенные в данной работе, а также проведено моделирование регистрации Центавр-событий и стренджлетов в детекторе CASTOR.
 8. Создан и испытан на пучке прототип вето-детектора заряженных частиц для электромагнитного калориметра эксперимента ALICE на основе пропорциональных счетчиков. Получена

функция отклика детектора и измерена точность восстановления координаты заряженных частиц. Показано, что выбранная конструкция детектора удовлетворяет механическим и радиационным требованиям к работе в эксперименте ALICE, а измеренная координатная точность удовлетворяет требованиям физической программы эксперимента.

Список литературы

- [1] K. Hencken, Yu.V. Kharlov, G.V. Khaustov, S.A. Sadovsky and V.D. Samoylenko. TPHIC, event generator of two photon interactions in heavy ion collisions. IHEP Preprint 96-38, Protvino, 1996.
- [2] G. Baur, K. Hencken, D. Trautmann, S. Sadovsky and Yu. Kharlov. Photon-Photon Physics with heavy ions at CMS. CMS Note 1998/009, 1998.
- [3] G. Baur, M. Bedjidian, D. Denegri, . . . , Yu.V. Kharlov et al. Heavy Ion Physics Programme in CMS. CMS Note 2000/060, 2000.
- [4] E.Gładysz-Dziaduś, Yu.V. Kharlov, A.D. Panagiotou, S.A. Sadovsky. Generator for Centauro event simulation. – In: B. Sinha *et al.*, editors, *Proc. 3rd International conference on physics and astrophysics of quark gluon plasma, Jaipur, 1997*, page 554, New Delhi (1998). Narosa Publishing House.
- [5] K. Hencken, G. Baur, D. Trautmann, S. Sadovsky and Yu. Kharlov. Coherent $\gamma\gamma$ and γA interactions in very peripheral collisions at relativistic ion colliders. hep-ph/0112211, 2001.
- [6] A.L.S. Angelis, E.Gładysz-Dziaduś, Yu.V. Kharlov, V.L. Korotkikh, A.D. Panagiotou and S.A. Sadovsky. Model of Centauro and stranglet production in heavy ion collisions. IHEP Preprint 2002-8. Protvino, 2002.
- [7] A.L.S. Angelis, J. Bartke, M.Y. Bogolyubsky, . . . , Yu.V. Kharlov et al. Formation and identification of Centauro and strangelets in nucleus-nucleus collisions at the LHC. // *Nucl. Phys. Proc. Suppl.*, **75A**, 203 (1999).
- [8] A.L.S. Angelis, J. Bartke, M.Y. Bogolyubsky, . . . , Yu.V. Kharlov et al. Formation of Centauro and strangelets in nucleus-nucleus collisions at the LHC and their identification by the ALICE experiment. – In: B. Dingus, D. Kieda, and M. Salamon, editors, *Proc. 26th International Cosmic Ray Conference (ICRC 99), Salt Lake City, UT, 17–25 Aug 1999*, vol.2, p.424, Salt Lake City (1999). AIP.

- [9] A.L.S. Angelis, J. Bartke, M.Y. Bogolyubsky, . . . , Yu.V. Kharlov et al. CASTOR: Centauro and strange object research in nucleus nucleus collisions at the LHC. // *Nucl. Phys. Proc. Suppl.*, **97**, 227 (2001).
- [10] A.L.S. Angelis, J. Bartke, M.Y. Bogolyubsky, . . . , Yu.V. Kharlov et al. Formation of Centauro in Pb+Pb collisions at the LHC and their identification in the ALICE experiment. – In: K. Huitu, H. Kurki-Suonio, and J. Maalampi, editors, *Proc. Intern. Europhysics Conference on High-energy Physics - EPS-HEP '99, Tampere, Finland, 15–21 Jul 1999*, page 957, Bristol, UK (2000). IOP.
- [11] A.L.S. Angelis, J. Bartke, M.Y. Bogolyubsky, . . . , Yu.V. Kharlov et al. CASTOR: A forward detector for the identification of Centauro and strangelets in nucleus-nucleus collisions at the LHC. – In: N.G.Antoniou, A.P.Contogouris, and F.K.Diakonou, editors, *Proc. 28th International Symposium on Multiparticle Dynamics, Delphi, Greece, 6–11 Sep 1998.*, page 134, Singapore (2000). World Sci.
- [12] A.L.S. Angelis, X. Aslanoglou, J. Bartke, . . . , Yu.V. Kharlov et al. CASTOR detector: model, objectives and simulated performance. // *Il Nuovo Cimento C*, **24**, 755 (2001).
- [13] А.М. Блик, М.Ю. Боголюбский, С.В. Ерин, . . . , Ю.В. Харлов и др. Детектор с катодно-падовым съемом данных. // *Приб. и техник. эксп.*, **44**, 63 (2001).
- [14] K. Hencken, S.A. Sadovsky and Yu.V.Kharlov. Ultra-peripheral trigger in ALICE. ALICE Internal Note ALICE-INT-2002-11, 2002.

Рукопись поступила 25 марта 2002 года.

Ю.В. Харлов.

Когерентные двухфотонные процессы и образование Центавр-событий
в релятивистских столкновениях тяжелых ионов.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 26.03.2002. Формат $60 \times 84/16$. Офсетная печать.
Печ.л. 1.06. Уч.-изд.л. 0.93. Тираж 100. Заказ 50. Индекс 3649.
ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т 2002-9, И Ф В Э, 2002
