

РЯБОВ Виктор Германович

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР ЦЕНТРАЛЬНОЙ  
ТРЕКОВОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ФЕНИКС И ИССЛЕДОВАНИЕ  
AU + AU ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРИ ЭНЕРГИИ  $\sqrt{s_{NN}} = 130$  ГэВ**

Специальность 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2001

Работа выполнена в Санкт-Петербургском Государственном  
Техническом Университете

Научный руководитель: д. ф.-м. н., профессор, Самсонов В. М.

Официальные оппоненты:

д. ф.-м. н., профессор, Григорьев В. А.

к. ф.-м. н., с.н.с., Щетковский А. И.

Ведущая организация: Институт Физики Высоких Энергий (г. Протвино)

Защита состоится “19” декабря 2001 г. в 16:00 на заседании диссертационного  
совета Д 212.229.05 Санкт-Петербургского Государственного Технического  
Университета, 195251, С.-Петербург, Политехническая ул., д.29, корпус 2,  
аудитория 265

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского  
Государственного Технического Университета

Автореферат разослан “14” ноября 2001 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Титовец Ю.Ф.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Исследование столкновений тяжелых релятивистских ядер позволяет изучать поведение ядерной материи в условиях высоких плотностей частиц и энергии. Согласно предсказаниям квантовой хромодинамики, при температуре взаимодействующей системы  $\sim 150$  МэВ должен происходить переход адронной материи в состояние со “свободными” кварками и глюонами. Экспериментальное и теоретическое исследование нового состояния материи, названного кварк - глюонной плазмой, является одним из приоритетных направлений в физике высоких энергий. Первым в мире коллайдером, предназначенным для изучения кварк – глюонной плазмы, стал Релятивистский Коллайдер Тяжелых Ионов (RHIC), который был запущен летом 2000 года в Брукхэйвенской Национальной Лаборатории (БНЛ) в США. Эксперимент ФЕНИКС является одним из двух больших экспериментов на коллайдере RHIC и предназначен для изучения процессов и явлений, связанных с образованием кварк-глюонной плазмы.

Данная работа посвящена анализу физических результатов, полученных во время первого физического цикла работы коллайдера RHIC, оптимизации параметров основного детектора центральной трековой системы эксперимента ФЕНИКС – многопроволочной фокусирующей дрейфовой камеры (ДК). Тема настоящей работы является актуальной, так как она связана с разработкой, оптимизацией и созданием самой современной техники в области экспериментальной физики высоких энергий, а также с изучением характеристик взаимодействий тяжелых релятивистских ядер при энергии  $\sqrt{s_{NN}} = 130$  ГэВ.

Цель работы заключалась в измерении плотностей заряженных частиц и поперечной энергии по псевдобыстроте, спектров поперечных импульсов заряженных адронов во взаимодействиях ядер золота при максимально достижимой энергии во время первого физического цикла работы коллайдера RHIC. Для достижения этой цели в настоящей работе было осуществлено:

1. Определение конструктивных и аппаратных требований к ДК центральной трековой системы эксперимента ФЕНИКС на основе общих физических требований (разрешение по массе и импульсу, множественность и т.д.).
2. Оптимизация проволочной структуры, состава рабочей газовой смеси и режимов работы ДК ФЕНИКС путем компьютерного моделирования и экспериментального изучения прототипов с помощью космических мюонов, протонного пучка Гатчинского синхроциклотрона с энергией 1 ГэВ,  $\beta$  - источника, тестового  $e^-/\pi^-$  пучка синхротрона AGS (БНЛ, США) со средней энергией 200 МэВ. Запуск полномасштабных ДК в составе экспериментальной установки ФЕНИКС и исследование их характеристик.
3. Создание мониторинговой камеры (дополнительная дрейфовая камера малого размера, находящаяся в рабочих условиях основного детектора) для измерения дрейфовой скорости электронов и пространственной калибровки ДК ФЕНИКС, а также для непрерывного контроля влияния параметров рабочей газовой смеси (температура, давление, состав) на дрейфовую скорость и газовое усиление в процессе эксперимента.
4. Получение и анализ экспериментальных данных с установки ФЕНИКС при максимально достижимой энергии пучков ядер золота во время первого физического цикла работы коллайдера RHIC.

#### Научная новизна работы

1. Исследована и оптимизирована фокусирующая  $jet^1$  проволочная структура с управляемой зоной сбора заряда, обеспечивающая с использованием горячей газовой смеси<sup>2</sup> Ar-C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (50%-50%) высокое одно- и двухтрековое пространственное разрешение ( $\sigma \leq 150$  мкм и  $\sigma_{||} \leq 2$  мм соответственно), высокую однопроволочную эффективность (~99%) в условиях большой множественности заряженных частиц.

---

<sup>1</sup> В данном случае имеется в виду проволочная структура цилиндрических многопроволочных дрейфовых камер с азимутальным дрейфом электронов (с небольшой длиной дрейфа).

<sup>2</sup> Газовая смесь, в которой средняя энергия дрейфующих электронов значительно выше энергии их теплового движения.

Разработанная проволочная структура использована для создания больших ДК центральной трековой системы эксперимента ФЕНИКС ( $6 \text{ м}^3$ , 12000 сигнальных проволок).

2. Разработана конструкция и создана мониторинговая камера, обеспечивающая измерение дрейфовой скорости электронов в различных газовых смесях с наивысшей на данный момент точностью ( $< 0.5 \%$ ).

3. Выполнены измерения зависимостей дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля в различных аргон - этановых смесях. Результаты измерений по точности не имеют аналогов в литературе.

4. Показано, что дрейфовая скорость электронов в аргон - этановых смесях в области электрических полей  $0.4 \text{ кВ/см} < E < 2 \text{ кВ/см}$  может быть рассчитана с точностью не хуже  $0.5 \%$  в рамках простой теоретической модели, учитывающей только сечения взаимодействия электронов с атомами (молекулами) газов, образующих смесь, и зависимости энергетических потерь электронов в одном акте столкновения от их энергии.

5. Проведен анализ данных, полученных в эксперименте ФЕНИКС при изучении столкновений встречных пучков ядер золота с энергией  $65 \text{ ГэВ} \cdot A$ , который показал, что:

- пространственные плотности энергии и заряженных частиц в 1.7 раза выше при энергиях коллайдера RHIC ( $\sqrt{s_{NN}} = 130 \text{ ГэВ}$ ), чем при энергиях синхротрона SPS ( $\sqrt{s_{NN}} = 17.2 \text{ ГэВ}$ );
- наблюдается подавление выхода заряженных адронов с большим поперечным импульсом по сравнению с  $p + p$  и  $A + A$  взаимодействиями при более низких энергиях, что качественно согласуется с предположением больших энергетических потерь жестких партонов в плотной среде, образующейся на начальных стадиях реакций.

Научная и практическая значимость работы заключается в том, что:

1. Оптимизирована для использования с горячей газовой смесью  $\text{Ar-C}_2\text{H}_6$  (50%-50%) фокусирующая jet проволочная структура с управляемой зоной

сбора заряда, обладающая высоким одно- и двухтрековым пространственным разрешением

( $\sigma \leq 150$  мкм и  $\sigma_{||} \leq 2$  мм соответственно), высокой эффективностью (~ 99 %), отсутствием лево-правой неопределенности в определении положения трека.

2. Созданы и запущены фокусирующие ДК центральной трековой системы эксперимента ФЕНИКС, что позволило начать выполнение физической программы эксперимента на коллайдере RHIC.

3. Разработана конструкция и создана мониторинговая камера, позволяющая измерять абсолютную величину дрейфовой скорости электронов в различных газовых смесях с точностью лучше 0.5 % в диапазоне электрических полей  $0.1 \text{ кВ/см} < E < 2.2 \text{ кВ/см}$ .

4. Измеренные зависимости дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля в аргон - этановых смесях по точности не имеют аналогов в литературе и могут быть использованы для проверки теоретических моделей расчета транспортных коэффициентов электронов в различных газовых смесях.

5. Экспериментально показано, что при энергиях нового ускорительного комплекса RHIC ( $\sqrt{s_{NN}} = 130$  ГэВ) плотности энергии и заряженных частиц возрастают на 70 % по сравнению с величинами, измеренными при энергиях синхротрона SPS ( $\sqrt{s_{NN}} = 17.2$  ГэВ). Измеренное подавление выхода заряженных адронов с большим поперечным импульсом качественно согласуется с предположением больших энергетических потерь партонов, распространяющихся в плотной среде. Полученные результаты уже могут быть использованы для проверки различных теоретических моделей.

#### Основные положения, выносимые на защиту:

1. Теоретическое и экспериментальное исследование возможности создания легких<sup>3</sup> фокусирующих дрейфовых камер больших размеров (6 м<sup>3</sup>, 12000 сигнальных проволок) с проволочной структурой jet типа и управляемой зоной сбора

---

<sup>3</sup> С малой радиационной длиной.

заряда, удовлетворяющих требованиям высокого пространственного одно- и двух-трекового разрешения ( $\sigma \leq 150$  мкм и  $\sigma_{||} \leq 2$  мм соответственно) и высокой эффективности ( $\sim 99\%$ ) с использованием газовой смеси Ar-C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (50% - 50%).

2. Исследование параметров и конструкция мониторинговой камеры, позволяющей измерять абсолютную величину дрейфовой скорости электронов в различных газовых смесях с точностью не хуже 0.5 % в диапазоне электрических полей  $0.1 \text{ кВ/см} < E < 2.2 \text{ кВ/см}$ .

3. Расчет дрейфовой скорости электронов в аргон - этановых смесях при напряженности электрического поля  $0.4 \text{ кВ/см} < E < 2 \text{ кВ/см}$  с точностью не хуже 0.5 % в рамках простой теоретической модели, учитывающей только сечения взаимодействия электронов с атомами (молекулами) газов, образующих смесь, и зависимости энергетических потерь электронов в одном акте столкновения от их энергии.

4. Результаты экспериментального исследования Au + Au взаимодействий при энергии в системе центра масс равной  $\sqrt{s_{NN}} = 130$  ГэВ.

Апробация результатов работы. Результаты работы обсуждались на семинарах Отдела Физики Высоких Энергий ПИЯФ, на семинарах международной коллаборации по проведению эксперимента ФЕНИКС в БНЛ (США), докладывались на Всероссийской молодежном форуме “Интеллектуальный потенциал России – в XXI век” (С.-Петербург, 1995), 8 - ой Венской Конференции по Проволочным Камерам (Австрия, 1998).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 14 печатных работ, перечень которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и перечня цитируемой литературы. Работа содержит 150 страниц машинописного текста, 70 рисунков и 10 таблиц. Перечень цитируемой литературы содержит 100 наименований.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обосновывается актуальность, сформулированы цели, научная новизна и практическая значимость работы. Представлены основные результаты и положения, выносимые на защиту, а также кратко изложено содержание основных разделов диссертации.

В первой главе сформулированы и систематизированы физические и конструктивные требования к ДК центральной трековой системы эксперимента ФЕНИКС, вытекающие из потребностей физической программы.

В *первом* и во *втором параграфах* кратко описаны состав и характеристики ускорительного комплекса RHIC и экспериментальной установки ФЕНИКС.

В *третьем параграфе* обсуждаются основные элементы физической программы эксперимента ФЕНИКС.

Физические цели эксперимента ФЕНИКС заключаются в регистрации и изучении свойств нового состояния материи – кварк-глюонной плазмы. Для этого необходимо провести систематическое измерение максимально возможного числа теоретически предсказанных признаков образования кварк-глюонной плазмы как функции плотности энергии в  $A + A$ ,  $p + A$  и  $p + p$  столкновениях.

В *четвертом параграфе* рассматриваются условия работы, определяются и систематизируются требования к ДК центральной трековой системы эксперимента ФЕНИКС

Требование высокого разрешения центральных спектрометров по массе

$$\left( \frac{\Delta M_{\Phi \rightarrow K^- K^+}}{M_{\Phi}} \sim 0.1\%, \quad \frac{\Delta M_{j/\Psi \rightarrow e^- e^+}}{M_{j/\Psi}} \sim \frac{\Delta M_{\Phi \rightarrow e^- e^+}}{M_{\Phi}} \sim \frac{\Delta M_{\omega \rightarrow e^- e^+}}{M_{\omega}} \sim 0.4\% \right)$$

приводит к необходимости измерения поперечных импульсов заряженных частиц ( $p_t$ ) с точностью  $\Delta p_t/p_t \sim 0.5\%$  при

$p_t \sim 0.3 - 0.4$  ГэВ/с. Такому импульсному разрешению при заданном аксиальном магнитном поле центрального магнита ( $\int B dr = 0.78$  Т·м) соответствует угловое разрешение  $\sim 0.35$  мрад. Монте-Карло моделирование показало, что требуемое угловое разрешение может быть достигнуто при использовании двух радиальных наборов



проволок, разнесенных на расстояние 27 см и содержащих по шесть сигнальных проволок с пространственным разрешением  $\sigma \sim 150$  мкм.

Требование эффективного восстановления треков заряженных частиц ( $> 97\%$ ) в условиях большой множественности (при центральных столкновениях ядер золота с энергией 100 ГэВ·А ожидается рождение более полутора тысяч заряженных частиц на единицу псевдобыстроты  $dN/d\eta \sim 1500$ ) накладывает ограничение на двухтрековое разрешение в направлении дрейфа электронов ( $\sigma_{||}$ ) и разрешение вдоль оси пучка ( $\sigma_z$ ):  $\sigma_{||} \leq 2$  мм,  $\sigma_z \leq 2$  мм.

Требование эффективной регистрации продуктов взаимодействия протонов (при пересечении двух пучков протонов со светимостью  $2 \cdot 10^{32}$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> в среднем будет происходить  $\sim 5 \cdot 10^5$  взаимодействий в секунду) накладывает ограничения на максимальное время дрейфа электронов  $t_{dr}^{max} \leq 0.5$  мкс.

В качестве компонент газовой смеси ДК целесообразно использовать аргон, этан или метан, учитывая, что данные газы также используются в других детекторных подсистемах.

Конструкция ДК должна быть оптимизирована с точки зрения удобства массового производства и возможности доступа к элементам камеры для обслуживания в условиях многолетней эксплуатации.

Во второй главе приведены результаты исследования и оптимизации конструкции ДК центральной трековой системы эксперимента ФЕНИКС, экспериментального измерения основных характеристик детектора на прототипах с помощью космических мюонов, протонного пучка Гатчинского синхроциклотрона с энергией 1 ГэВ,  $\beta^-$  - источника и тестового  $e^-/\pi^-$  пучка синхротрона AGS (БНЛ, США) со средней энергией 200 МэВ.

В *первом параграфе* проводится анализ факторов, ограничивающих точность измерения координат в многопроволочных газовых детекторах.

Во *втором параграфе* приведено описание и произведен анализ проволочной структуры ДК, представленной в проекте ФЕНИКС<sup>4</sup>. С целью получения оптимальных рабочих параметров (эффективность, пространственное разрешение,

---

<sup>4</sup> PHENIX Conceptual Design Report, BNL, 1993.

длительность сигналов, влияние рассеянного магнитного поля и наклона треков на точность измерения координат), упрощения проволочной структуры и выбора рабочей газовой смеси ДК ФЕНИКС было проведено компьютерное моделирование процессов ионизации в газе, дрейфа электронов первичной ионизации в электрическом поле, образования лавины в окрестности сигнальных проволок и отклика электроники на токовые импульсы с сигнальных проволок. В ходе моделирования изменялись геометрия дрейфовых ячеек, состав газовой смеси и потенциалы на электродах, исследовалось смещение проволок под действием электростатических и гравитационных сил. На рис. 1 а) показан конечный вариант проволочной конфигурации ДК ФЕНИКС. Как видно из рисунка, структура содержит большое число проволок различных типов: сигнальные (S), катодные (C) для формирования дрейфового промежутка, фокусирующие (G) для ограничения ширины дрейфового промежутка, потенциальные (P) для разделения соседних S - проволок и контроля газового усиления, запирающие (B) для препятствия дрейфа электронов на S - проволоки со стороны B - проволок, терминальные (T) для компенсации краевых эффектов. Данная геометрия характеризуется отсутствием левосторонней неопределенности в определении положения трека относительно плоскости анодных проволок. Это значительно упрощает алгоритм восстановления треков и вдвое уменьшает загрузку сигнальных проволок. На рис. 1 б) показаны траектории дрейфа электронов при оптимальных напряжениях<sup>5</sup> на B, G, P, C - проволоках. Максимальное время дрейфа электронов при использовании горячей газовой смеси Ar-C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (50%-50%) составляет ~ 450 нс, что находится в соответствии с временной структурой протонного пучка. Разброс времен дрейфа электронов равен ~ 10 нс, что говорит о потенциально высоком двухтрековом разрешении. Длина проволок определяется требуемым геометрическим аксептансом детектора и равна 180 см.

Исследования показали, что для повышения эффективности восстановления треков, лежащих на малом расстоянии друг от друга вдоль направления дрейфа электронов, необходимо уменьшить загрузку сигнальных проволок. Для этого каждая сигнальная проволока специальным образом электрически разомкнута в

---

<sup>5</sup>Совокупность режимов по высокому напряжению, при которых данная проволочная структура удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ДК ФЕНИКС.

центре камеры, и оба ее конца прикреплены к легкой каптоновой поддержке (~ 250 мг). Введение центральной поддержки условно делит каждую ДК на две камеры, имеющих длину 90 см, без введения дополнительной поддерживающей структуры в активный объем детектора. Это вдвое увеличивает число считываемых каналов, но позволяет снизить требования к двухтрековому пространственному разрешению.

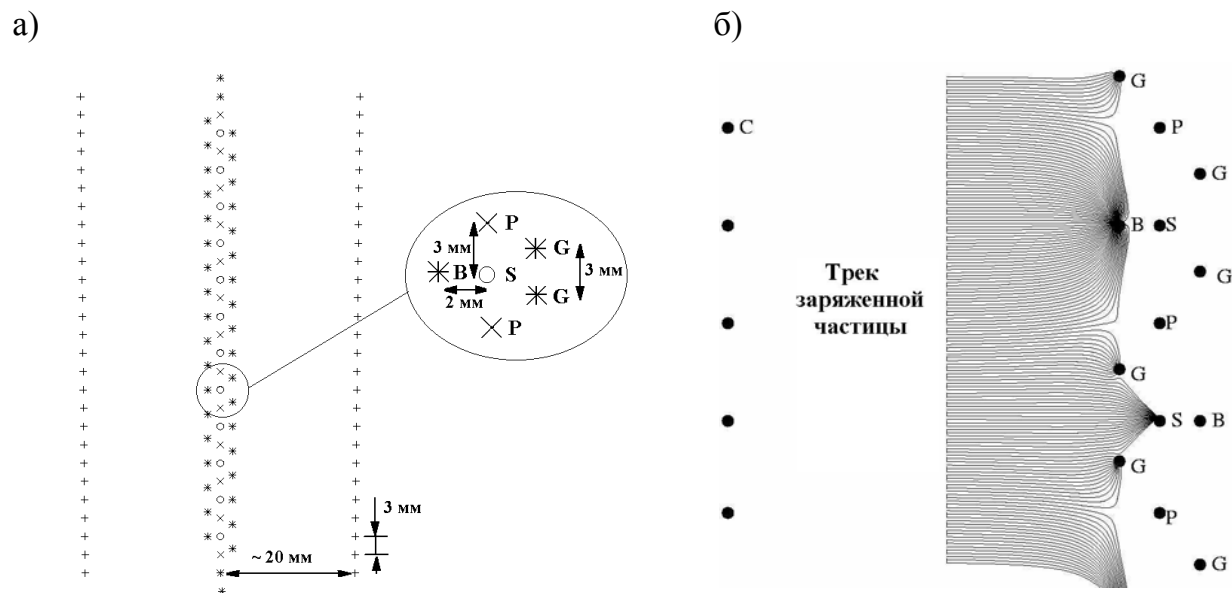


Рис.1. а) Проволочная конфигурация ДК ФЕНИКС. б) Траектории дрейфа электронов при оптимальных напряжениях на В, G, P, С - проволоках.

Для измерения координат треков заряженных частиц вдоль оси пучка была разработана стерео - структура U и V - сеток (см. рис. 2). Углы наклона U1, V1, U2 и V2 - слоев по отношению к X - слоям, предназначенным для точного измерения положения треков в плоскости перпендикулярной к оси пучка, равны  $5.376^{\circ}$ ,  $5.512^{\circ}$ ,  $5.9^{\circ}$  и  $6.04^{\circ}$  соответственно. Анодные сетки X и U,V - типов содержат 12 и 8 сигнальных проволок соответственно. Точность измерения координат треков вдоль оси пучка определяется пространственным разрешением U и V - сеток ( $\sigma \leq 150$  мкм) и тангенсом угла их наклона к оси пучка:  $\sigma/\text{tg}(\alpha) \sim 1.5$  мм. Общее число сигнальных проволок в ДК равно 12544.

В *третьем параграфе* приводятся результаты экспериментального изучения основных параметров четырех прототипов анодной сетки и трехсекторного полно-

масштабного прототипа ДК ФЕНИКС с помощью космических мюонов,  $\beta$  - источника, протонного пучка Гатчинского синхроциклотрона с энергией 1 ГэВ и тестового  $e^-/\pi^-$  пучка синхротрона AGS со средней энергией 200 МэВ.

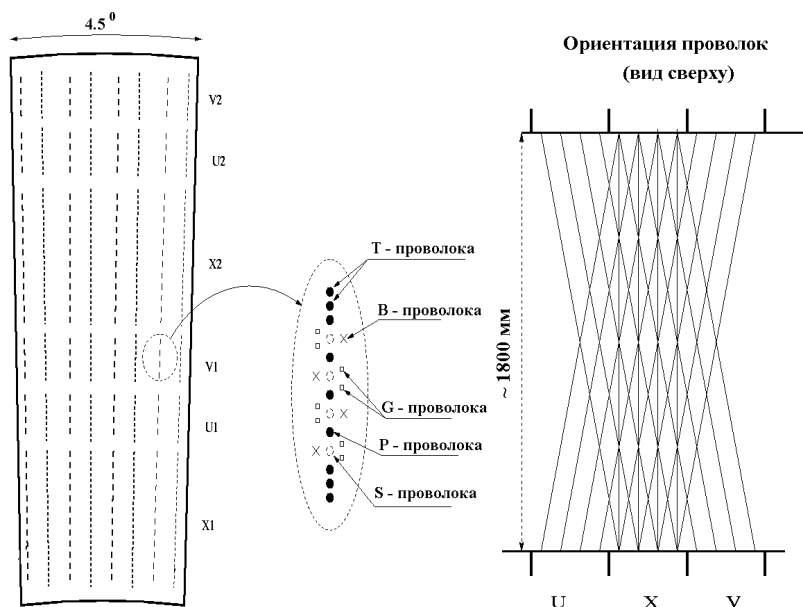


Рис. 2. Расположение X, U и V - слоев в ДК ФЕНИКС.

Третья глава посвящена описанию мониторинговой камеры (дополнительная дрейфовая камера малого размера, находящаяся в рабочих условиях основного детектора), предназначенной для измерения дрейфовой скорости электронов и пространственной калибровки ДК ФЕНИКС, а также для непрерывного контроля влияния параметров рабочей газовой смеси (температура, давление, состав) на дрейфовую скорость и газовое усиление в процессе эксперимента.

В *первом параграфе* обосновывается необходимость создания и формулируются требования, предъявляемые к мониторинговой камере.

Во *втором, третьем и четвертом параграфах* обсуждается метод измерения дрейфовой скорости электронов, приводятся результаты компьютерного моделирования и экспериментального изучения прототипа и рабочего варианта мониторинговой камеры, анализируются источники систематических ошибок измерений и способы их уменьшения.

Схематический вид мониторинговой камеры показан на рис. 3. Метод, лежащий в основе измерения дрейфовой скорости электронов, состоит в измерении времени дрейфа электронов в однородном электрическом поле, создаваемом в газовом объеме мониторинговой камеры в области между щелями прецизионных коллиматоров. Первичная ионизация в газовом объеме камеры, заполненной исследуемой смесью, создается с помощью двух коллимированных пучков  $\beta$  - частиц. Скорость дрейфа ( $w$ ) определяется разницей времен дрейфа электронов от двух щелей коллиматоров ( $t_1, t_2$ ), расположенных друг от друга на известном расстоянии  $L$ :  $w = L/(t_2 - t_1)$ . Для измерения газового усиления используется общепринятый метод амплитудных измерений с анодной проволоки, облучаемой  $Fe^{55}$   $\gamma$  - источником.

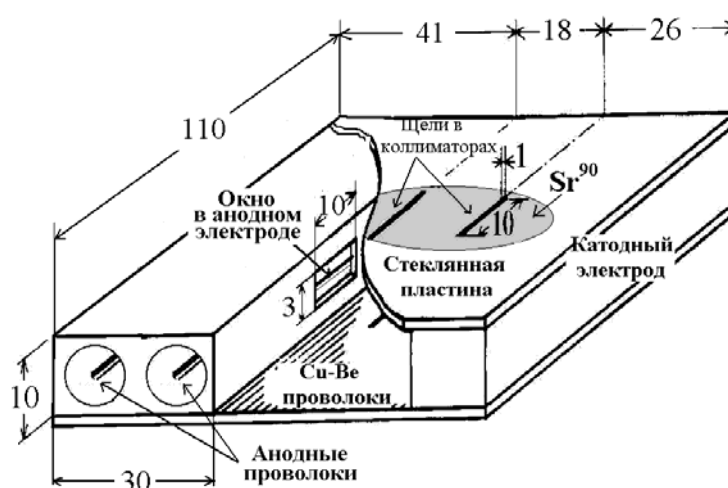


Рис.3. Схематический вид мониторинговой камеры.

Управление электронной схемой временных измерений, считывание и запись данных осуществляется дистанционно с помощью Argnet<sup>6</sup>. Данные, поступающие с мониторинговой камеры, могут направляться в общий поток данных эксперимента ФЕНИКС для последующего анализа и/или просматриваться в реальном времени на экране терминала. Для этого была написана специальная программа на языке Java,

<sup>6</sup> Совокупность электронных устройств и программного обеспечения для организации локальных компьютерных сетей.

использующая пакет ROOT для обработки спектров, расчета дрейфовой скорости и определения погрешности измерений.

Компьютерное моделирование и экспериментальное исследование прототипа позволило разработать конструкцию и создать рабочий вариант мониторинговой камеры, обеспечивающий измерение абсолютной величины дрейфовой скорости электронов и относительного газового усиления в различных газовых смесях с точностью лучше 0.5 % и 1 % соответственно.

В *пятом параграфе* приводятся результаты измерения дрейфовой скорости электронов и относительного газового усиления в различных аргон - этановых смесях с помощью рабочего варианта мониторинговой камеры. Относительная погрешность измерения дрейфовой скорости не превышает 0.5 %. На основе данных измерений было показано, что дрейфовая скорость в аргон-этановых смесях в диапазоне электрических полей  $0.4 \text{ кВ/см} < E < 2 \text{ кВ/см}$  может быть рассчитана с большой точностью ( $\sim 0.5\%$ ) в рамках теоретической модели, учитывающей только сечения взаимодействия электронов с молекулами газов, образующих смесь, и зависимости энергетических потерь электронов в одном акте взаимодействия от их энергии.

В *шестом параграфе*, с использованием вышеописанных результатов, показано, что газовая смесь Ar-C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (50 % - 50 %) имеет широкое плато в зависимости дрейфовой скорости от напряженности электрического поля, отвечает требованиям высокой скорости дрейфа, большого газового усиления, низкой продольной и поперечной диффузии, малого угла Лоренца, совместимости с конструкционными материалами и является оптимальной для использования в качестве рабочей газовой смеси ДК ФЕНИКС.

В четвертой главе приводится описание состава и задач экспериментальной установки ФЕНИКС во время первого физического цикла работы коллайдера RHIC. Подробно рассмотрен алгоритм отбора событий взаимодействия встречных пучков ядер золота с энергией 65 ГэВ·А. Приведены результаты экспериментального определения параметров ДК на пучке в составе экспериментальной установки. Представлены физические результаты, полученные с участием автора при обработке

данных, накопленных во время первого физического цикла работы коллайдера RHIC.

В *первом параграфе* описан состав экспериментальной установки ФЕНИКС во время первого физического цикла работы коллайдера RHIC и алгоритм отбора событий, соответствующих взаимодействиям ядер золота.

В задачи эксперимента ФЕНИКС входило:

- калибровка и геометрическая привязка детекторных подсистем в отсутствие магнитного поля;
- запись нескольких миллионов событий, соответствующих столкновениям ядер золота при максимально достижимой энергии;
- определение общих характеристик столкновений, таких как спектры множественности, поперечной энергии и импульса.

Во *втором параграфе* анализируются параметры ДК ФЕНИКС, достигнутые во время первого физического цикла работы коллайдера RHIC.

В *третьем параграфе* приведены физические результаты, полученные при анализе данных, накопленных в эксперименте ФЕНИКС с использованием ДК центральной трековой системы. Представлены результаты измерения плотности заряженных частиц и поперечной энергии по псевдобыстроте. Анализируются зависимости данных величин от числа взаимодействующих нуклонов и числа парных столкновений. Приводится сравнение с результатами вычислений по моделям HIJING и EKRT. Приведены результаты измерения распределений поперечного импульса заряженных адронов. Полученные спектры анализируются в зависимости от центральности столкновений.

Анализ данных, полученных в эксперименте ФЕНИКС во время первого физического цикла работы коллайдера RHIC, позволил получить следующие результаты:

1. Величина плотности заряженных частиц по псевдобыстроте, измеренная в эксперименте ФЕНИКС для 6 % наиболее центральных столкновений, находится в согласии с результатами коллаборации ФОБОС:

$$dN_{ch}/d\eta|_{\eta=0} = 609 \pm 1 \text{ (стат.)} \pm 37 \text{ (сист.)} - \text{ФЕНИКС, 6 \%}$$

$$dN_{ch}/d\eta|_{\eta=0} = 555 \pm 12 \text{ (стат.)} \pm 35 \text{ (сист.)} - \text{ФОБОС, 6 \%}$$

2. Плотности заряженных частиц ( $dN_{ch}/d\eta|_{\eta=0}$ ) и поперечной энергии ( $dE_T/d\eta|_{\eta=0}$ ) по псевдобыстроте ( $\eta$ ), а также пространственная плотность энергии ( $\epsilon_{Bj}$ ) в 1.7 раза больше при  $\sqrt{s_{NN}} = 130$  ГэВ (RHIC), чем при  $\sqrt{s_{NN}} = 17.2$  ГэВ (SPS).
3. Постоянство отношения средней поперечной энергии ( $\langle E_T \rangle$ ) к среднему числу заряженных частиц ( $\langle N_{ch} \rangle$ ), равного  $\langle E_T \rangle / \langle N_{ch} \rangle \sim 0.8$  ГэВ/частицу практически во всем диапазоне изменения центральности столкновений, свидетельствует о том, что увеличение плотности энергии в ядро-ядерных взаимодействиях на коллайдере RHIC по сравнению с синхротроном SPS происходит в основном за счет увеличения числа рождающихся частиц, а не за счет увеличения энергии частиц.
4. Плотности заряженных частиц ( $dN_{ch}/d\eta|_{\eta=0}$ ) и поперечной энергии ( $dE_T/d\eta|_{\eta=0}$ ) по псевдобыстроте монотонно возрастают с увеличением числа взаимодействующих нуклонов ( $N_p$ ). Аппроксимация измеренных зависимостей ( $dN_{ch}/d\eta|_{\eta=0}$ ) и ( $dE_T/d\eta|_{\eta=0}$ ) функцией  $dX/d\eta \propto N_p^\alpha$  дает значения параметра  $\alpha$  равные  $\alpha = 1.16 \pm 0.04$  и  $\alpha = 1.13 \pm 0.05$  при  $X = N_{ch}$  и  $X = E_T$  соответственно. При энергиях синхротрона SPS ( $\sqrt{s_{NN}} = 17.2$  ГэВ) измеренные значения параметра  $\alpha$  равнялись:  $\alpha = 1.05 \pm 0.05$  и  $\alpha = 1.08 \pm 0.06$ .
5. Возрастание плотности заряженных частиц  $dN_{ch}/d\eta|_{\eta=0}$  с увеличением числа взаимодействующих нуклонов противоречит предсказаниям модели EKRT и находится в качественном согласии с предсказаниями модели HIJING, которая, по данным настоящей работы, недооценивает выход частиц на  $\sim 15\%$ .
6. В области поперечных импульсов  $p_t > 2$  ГэВ/с, в которой жесткое рассеяние партонов является основным процессом, определяющим рождение частиц, спектр поперечного импульса заряженных адронов, соответствующий периферийным столкновениям ядер золота, согласуется в пределах систематических ошибок с представлением А+А взаимодействий в виде суммы нуклон-нуклонных взаимодействий. В случае центральных столкновений, спектр поперечного импульса лежит значительно ниже предсказаний, основанных на  $N_c$  - масштабирование результатов p+p и периферийных Au+Au



взаимодействий. Данный эффект никогда ранее не наблюдался и противоречит результатам, полученным при изучении  $p+A$  и  $A+A$  взаимодействий при более низких энергиях, в которых наблюдалось увеличение выхода заряженных адронов с большим поперечным импульсом. Подавление выхода заряженных адронов в центральных столкновениях ядер золота находится в качественном согласии с предсказаниями существенных энергетических потерь партонов, распространяющихся в плотной среде, образующейся на начальных стадиях взаимодействия тяжелых релятивистских ядер.

В заключении кратко изложены основные результаты, полученные при выполнении настоящей работы.

Результаты диссертационной работы содержатся в следующих публикациях:

1. С.А.Буцык, В.Г.Рябов, А.В.Хомутников, Стендовые испытания дрейфовой камеры для системы ФЕНИКС, Тезисы докладов на Всероссийском молодежном научном форуме “Интеллектуальный потенциал России – в XXI век”, С.-Петербург, 13-14, 1995.
2. V.G.Riabov, Drift chambers for the PHENIX central tracking system, Talk given at 8th Vienna Wire Chamber Conference, Vienna, Austria, 1998, Nucl. Instrum. Meth. A419, 363-369, 1998.
3. Y. Akiba, O. Alford, V.Riabov, et al., The PHENIX experiment at RHIC, Nucl. Phys. A638, 565-570, 1998.
4. С.А.Буцык, С.Н.Дмитриев, В.Г.Рябов и др., Электро-резонансный измеритель натяжения анодных проволок в дрейфовой камере ФЕНИКС, Препринт ПИЯФ-2290, Гатчина, с.23, 1999; Electro-resonance tension meter for the PHENIX drift chamber, PNPI research report 1998-1999, Part 1, Gatchina, 206-207, 2000.
5. V.V.Baublis, S.A.Butsyk, V.G.Riabov, et al., Analysis of operation gas contamination sources in the PHENIX drift chamber using electron drift velocity monitoring chamber, Preprint PNPI-2326, Gatchina, p.16, 1999.
6. С.А.Буцык, Б.К.Комков, В.Г.Рябов и др., Влияние гравитационных и электростатических сил на положение проволочек в дрейфовой камере экспериментальной установки ФЕНИКС, Препринт ПИЯФ-2291, Гатчина, с.25, 1999.
7. V.V.Baublis, S.A.Butsyk, V.G.Riabov, et al., Chamber for electron drift velocity monitoring in the operation gas of the PHENIX drift chamber, Preprint PNPI-2327, Gatchina, p.17, 1999.
8. V.V.Baublis, M.R.Kan, V.G.Riabov, et al., Prototype of the electron drift velocity monitoring chamber for the PHENIX drift chamber, PNPI research report 1998-1999, Part 1, Gatchina, 208-209, 2000.
9. V.S.Kozlov, V.G.Riabov, Yu.G.Riabov, et al., Measurement of the electron drift velocity and gas gain in argon-ethane gas mixtures using the PHENIX monitoring chamber, PNPI research report 1998-1999, Part 1, Gatchina, 210-211, 2000.

10. V.Baublis, V.Evseev, V.Riabov, et al., Present status of the drift chamber for the PHENIX central tracking system, PNPI research report 1998-1999, Part 1, Gatchina, 33-34, 2000.
11. W.A.Zajc, K. Adcox, V.G.Riabov, et al., Overview of PHENIX results from the first RHIC run, e-Print Archive: nucl-ex/0106001.
12. K. Adcox, S.S. Adler, V.G.Riabov, et al., Measurement of the midrapidity transverse energy distribution from  $\sqrt{s_{NN}} = 130$  GeV Au+Au collisions at RHIC, Phys. Rev. Lett. 87:052301, 2001.
13. K. Adcox, S.S. Adler, V.G.Riabov, et al., Centrality dependence of charged particle multiplicity in Au – Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 130$  GeV, Phys. Rev. Lett. 86, 3500-3505, 2001.
14. K. Adcox, S.S. Adler, V.Riabov, et al., Suppression of hadrons with large transverse momentum in central Au + Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 130$  GeV, submitted to Phys. Rev. Lett, e-Print Archive: nucl-ex/0109003.