

## **АННОТАЦИЯ РАБОТ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ЭТАПЕ № 6**

Исследований по проблеме

«Поиск и экспериментальное исследование свойств плотной и горячей материи, образующейся в столкновениях тяжелых релятивистских ядер при энергии 62.4 ГэВ»

Государственного контракта с Министерством образования и науки  
от «24» мая 2010 г. № П 792

Шифр заявки «НК-533П/12»

Период выполнения этапа 04.09.2012 – 23.11.2012

Исполнитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт - Петербургский государственный политехнический университет» (ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»).

**Цель работы:** Измерение зависимости от поперечного импульса дифференциальных сечений рождения и факторов ядерной модификации для легких заряженных адронов ( $\pi$ ,  $K$ ,  $p$ ) и легких нейтральных адронов ( $\pi^0$ ,  $\phi$ ,  $\omega$  и др.) в адронных и ди-электронных каналах распада в столкновениях протонов ( $p+p$ ), ядер меди ( $Cu+Cu$ ) и ядер золота ( $Au+Au$ ) при энергии 62.4 ГэВ с целью изучения фундаментальных свойств ядерной материи в условиях высоких плотностей энергии.

**Цель работы на шестом этапе:** Анализ полученных экспериментальных результатов. Сравнение с предсказаниями различных теоретических моделей с целью выделения качественной и количественной информации о свойствах среды, образующейся в столкновениях тяжелых релятивистских ядер при энергии 62 ГэВ. Разработка рекомендаций по использованию полученных экспериментальных данных в ведущих российских и зарубежных научных центрах (ОИЯИ, ИФВЭ, GSI, BNL).

### **1. Наименование разрабатываемой продукции**

Инвариантные спектры рождения  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p$ , анти  $p$ ,  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  и  $\phi \rightarrow K^+K^-$  в столкновениях протонов, ядер золота и меди при энергии столкновений 62.4 ГэВ. Факторы ядерной модификации для  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p$ , анти  $p$ ,  $\pi^0$ , измеренного в канале распада  $\gamma\gamma$ , и  $\phi$ , измеренного в канале распада  $K^+K^-$ , в столкновениях ядер золота и меди при энергии столкновений 62.4 ГэВ. Спектры инвариантной массы электрон-позитронных пар, рожденных в результате

столкновений ядер золота при энергии 62.4 ГэВ. Спектральные параметры пиков (ширина, масса) соответствующих легким векторным мезонам. Рекомендации по использованию полученных экспериментальных данных в ведущих российских и зарубежных научных центрах (ОИЯИ, ИФВЭ, GSI, BNL).

## **2. Характеристика выполненных на этапе работ по созданию продукции**

### 2.1 Результаты работы на 6 этапе НИР:

- Анализ полученных экспериментальных результатов и сравнение с предсказаниями различных теоретических моделей позволили выделить качественную и количественную информацию о свойствах среды, образующейся в столкновениях тяжелых релятивистских ядер при энергии 62 ГэВ.
- Поведение факторов ядерной модификации  $\phi$ ,  $\pi^0$ -мезонов и протонов в Cu+Cu и Au+Au столкновениях при энергии  $\sqrt{s_{NN}} = 62.4$  ГэВ качественно согласуется с поведением этих частиц в Cu+Cu и Au+Au столкновениях при энергии  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  ГэВ, что указывает на возможность образования кварк-глюонной плазмы в столкновениях ядер не только при энергии 200 ГэВ, но и при энергии 62.4 ГэВ;
- Различие в степенях подавления выходов  $\pi^0$ ,  $\phi$ -мезонов и протонов в Cu+Cu и Au+Au столкновениях при энергиях  $\sqrt{s_{NN}} = 62.4$  и 200 ГэВ не имеет исчерпывающего теоретического описания. Качественно эффект может быть объяснен при привлечении рекомбинационных моделей, учитывающих рекомбинацию ливневых и тепловых кварков. Данные модели подразумевают наличие теплового источника партонов, который может быть идентифицирован с кварк-глюонной плазмой;
- Степени подавления мезонов могут быть теоретически описаны в GLV моделях при значениях глюонной плотности  $175 < dN^g/dy < 255$ ;
- Проведены предварительные измерения спектральных свойств (ширина и масса) легких векторных мезонов. На данный момент признаков модификации масс и ширин не обнаружено, что

указывает на отсутствие признаков восстановления киральной симметрии.

- Разработаны рекомендации по использованию полученных экспериментальных данных в ведущих российских и зарубежных научных центрах (ОИЯИ, ИФВЭ, GSI, BNL).

## **2.2. Новизна применяемых решений в сравнении с другими работами, родственными по тематике и целевому назначению и определяющими мировой уровень.**

На данный момент RHIC является единственным в мире коллайдером, позволяющим изучать взаимодействия тяжелых релятивистских ядер при энергии в 62.4 ГэВ. Подобные столкновения характеризуются очень высокой множественностью рождающихся частиц, поэтому изучение взаимодействий тяжелых релятивистских ядер в эксперименте ФЕНИКС требует использования детекторов уникальной конструкции, разработки оригинальных методик калибровки детекторов и анализа экспериментальных данных, не использовавшихся ранее. Все результаты, приведенные в предыдущем пункте, являются новыми.

## **2.3. Особенности исследования, разработки, метода или методологии проведения работы на отчетном этапе.**

Спектры рождения  $\phi$ -мезонов в  $p+p$ ,  $Cu+Cu$  и  $Au+Au$  взаимодействиях измерялись в канале распада  $\phi \rightarrow K^+K^-$  в рамках трех различных подходов: с идентификацией двух каонов, с идентификацией одного каона и без идентификации заряженных частиц. Хорошее согласие между результатами измерений свидетельствует о высокой достоверности полученных результатов. Малая статистическая значимость изучаемых эффектов объясняется огромным уровнем комбинаторного фона, обусловленным в основном Далиц-распадами  $\pi^0$ -мезонов и конверсией  $\gamma$ -квантов в пучковой трубе и материалах детектора.

## **3. Области и масштабы использования полученных результатов**

Результаты, полученные в данном проекте, могут быть использованы:

3.1. В части научных исследований — в крупнейших университетах и научных центрах РФ (таких как МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ, НИЯУ МИФИ, ПИЯФ им. Б.П. Константинова РАН, ОИЯИ, ИТЭФ, ИЯИ и других организациях Минобрнауки, госкорпорации «Росатом» и РАН РФ).

Полученные результаты найдут практическое применение при анализе экспериментальных данных, получаемых в настоящее время и планируемых в будущем на крупнейших ускорителях мира: CERN, эксперимент ALICE, ATLAS на LHC; FNAL, эксперименты на покоящихся мишенях; RHIC: эксперименты PHENIX, STAR; GSI: эксперименты CBM, PANDA, а также при поиске в вышеупомянутых экспериментах новых физических явлений. Расчет эффективности регистрации различных частиц экспериментальной установкой является частью методики анализа экспериментальных данных, которая будет использована в коллаборации PHENIX, в том числе в СПбГПУ, ПИЯФ РАН, ИТЭФ и в Курчатовском институте. Выбранные направления исследований являются частью физической программы эксперимента ФЕНИКС.

3.2. В части развития учебно-методической деятельности — при разработке новых и модернизации существующих образовательных программ магистерской подготовки высшего профессионального образования, модернизации курсов лекций, проектных заданий для студентов, создании компьютерных практикумов с использованием возможностей вычислительных центров BNL (США), GSI (Германия), организации стажировок (за счет принимающей стороны) студентов (летние школы и на период работы над магистерской диссертацией) и аспирантов.

Результаты, полученные на данном этапе работы, использованы для модернизации курса лекций «Введение в стандартную модель элементарных частиц», предназначенного для студентов 5-го курса (магистратура) кафедры «Экспериментальная ядерная физика» СПбГПУ.

3.3. В части влияния на подготовку и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров — аспиранты, участвующие в данной работе, будут продолжать работать с целью защиты диссертационной работы. Полученные результаты войдут как часть материала диссертаций. Суетин Д.П. после защиты магистерской диссертации в июне 2012 г. поступил в сентябре 2012 г. в аспирантуру (кафедра «Экспериментальная ядерная физика», СПбГПУ) по тематике данного проекта. Другие студенты, участвующие в данной работе, останутся на кафедре в качестве аспирантов или будут продолжать работу в организациях АН РФ, Росатома, Минобрнауки или оборонной промышленности.

#### 4. Выводы

Анализ полученных экспериментальных результатов и сравнение с предсказаниями различных теоретических моделей позволяют сделать следующие выводы:

- Эффект подавления выхода  $\pi^0$ ,  $\phi$  - мезонов и протонов в Cu+Cu и Au+Au столкновениях при энергиях  $\sqrt{s_{NN}} = 62.4$  и 200 ГэВ может быть объяснен при привлечении рекомбинационных моделей, учитывающих рекомбинацию ливневых и тепловых кварков. Данные модели подразумевают наличие теплового источника партонов, который может быть идентифицирован как кварк-глюонная плазма (КГП);
- Степени подавления мезонов могут быть теоретически описаны в GLV моделях при значениях глюонной плотности КГП  $175 < dN^g/dy < 255$ ;
- Проведенный предварительный анализ спектральных свойств (ширина и масса) легких векторных мезонов позволяет сказать, что на данный момент признаков модификации масс и ширин не обнаружено, что указывает на отсутствие признаков восстановления киральной симметрии;
- Поведение факторов ядерной модификации, измеренных в данной работе для  $\phi$  мезонов в Cu+Cu и Au+Au столкновениях при энергии  $\sqrt{s_{NN}} = 62.4$  ГэВ, а также  $\pi^0$ -мезонов и протонов, измеренных ранее, качественно согласуется с поведением этих частиц в Cu+Cu и Au+Au столкновениях при энергии  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  ГэВ.

Поставленные задачи были полностью выполнены.

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»



Райчук Д.Ю.

Руководитель работ по проекту

Бердников Я.А.