

Рецензия

на проект STAR (участие ОИЯИ), тема 1066

Установка STAR была создана в Брукхейвенской национальной лаборатории для проведения экспериментов на релятивистском коллайдере тяжёлых ионов (RHIC). Главной задачей физической программы на ускорительном комплексе RHIC является получение нового состояния ядерной материи, образующейся в столкновениях тяжёлых ионов (Cu, Au, Pb), с целью изучения его свойств различными пробникам в широком диапазоне энергий и центральности столкновений и определение свойств фазовой диаграммы ядерной материи. Результаты проведённых исследований на RHIC подтверждают заключения об образовании сильновзаимодействующего ядерного вещества — кварк-глюонной плазмы (КГП).

Было установлено, что новое состояние ядерной материи при максимальных энергиях RHIC характеризуется сильным подавлением выходов частиц в Au+Au относительно p+p столкновений при больших поперечных импульсах рождённых адронов, большим эллиптическим потоком (v_2) рождения адронов с лёгкими и тяжёлыми странными кварками, отличием v_2 для барионов и мезонов при средних импульсах p_T и наличием сильных $\Delta\eta$ и $\Delta\phi$ корреляций. Эти свойства связывают с существованием кварк-глюонной фазы ядерной материи.

Проект группы STAR на 2019–2020 гг. ориентирован на две программы, которые являются ключевыми для выполнения исследований на RHIC. Первая программа включает изучение столкновений изобар ($^{96}_{44}\text{Ru}$, $^{96}_{40}\text{Zr}$), которое даст лучшее понимание роли магнитного поля при измерениях разделения заряда (киральная магнитная эффект). Вторая – заключается в проведении программы энергетического сканирования (BES-II), необходимого для определения фазовой диаграммы КГП в области энергий $\sqrt{s_{NN}} = 9\text{--}20$ ГэВ в коллайдерной моде. Эксперименты с фиксированной мишенью на установке STAR в диапазоне энергий $\sqrt{s_{NN}} = 3\text{--}7,7$ ГэВ значительно расширят диапазон для поиска новой физики.

Модернизация установки STAR с помощью внутренней время-проекционной камеры (iTPC) и торцевого время-пролётного детектора (eTOF) позволит улучшить идентификацию частиц при высоких импульсах в области больших быстрот. Детектор для определения плоскости реакции (EPD) позволит определить центральность и плоскость реакции в области больших быстрот с малыми систематическими ошибками, которые возникают от автокорреляции в области средних быстрот.

Физические результаты, полученные коллаборацией STAR, постоянно представляются на международных конференциях и публикуются в реферируемых журналах. Среди наиболее интересных результатов я бы отметил следующие: характеристики событий столкновения тяжёлых ионов, полученные в рамках программы энергетического сканирования, глобальная поляризация в процессах образования Λ гиперонов, первые высокоточные измерения $\Lambda\Lambda$ -корреляций, измерения характеристик (длина рассеяния, эффективный радиус) взаимодействия антипротонов, эллиптические потоки лёгких ядер, рождение странных частиц в

Au+Au столкновениях, спектры рождения D и J/ψ мезонов, полученные с помощью трекера тяжёлых флейворов (HFT) и детектора для регистрации мюонов (MTD), и фактор ядерной модификации R_{CP} .

Основной вклад группы ОИЯИ в эксперимент STAR — создание торцевого электромагнитного калориметра (EEMC). Все компоненты EEMC были успешно разработаны и интегрированы в установку STAR. Группа ОИЯИ постоянно поддерживает системы EEMC в рабочем состоянии. Этот детектор является важной компонентой установки STAR при проведении исследований с поляризованными протонами: измерений продольной асимметрии A_{LL} рождения струй в области больших быстрот (распределение поляризованных глюонов), односпиновой асимметрии A_L рождения $W^\pm$ бозонов (разделение спиновых распределений партонов с различными ароматами), поперечных односпиновых пионных асимметрий A_N при $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 500$ ГэВ, отношения сечений рождения тяжёлых бозонов (W^+, W^-) при энергии $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 510$ ГэВ (новые ограничения на распределение морских d- и u-антикварков).

Оригинальный метод анализа данных, основанный на теории z-скейлинга, предложенный группой ОИЯИ, был расширен для описания характеристик процессов с участием поляризованных протонов: двойной продольной асимметрии A_{LL} инклюзивного рождения струй и рождения пионов, а также коэффициента передачи поляризации D_{TT} при рождении Λ и $\bar{\Lambda}$ -гиперонов. Проведена проверка скейлингового поведения спин-зависимых функций, и получены оценки для спин-зависимых фрактальных размерностей протона и Λ -гиперона в этих процессах.

Члены группы ОИЯИ принимают участие в анализе данных по изучению спектров рождения заряженных адронов в столкновениях ядер золота при энергиях BES-I. Проведены работы по анализу этих данных и дана их интерпретация в рамках теории z-скейлинга. Метод z-скейлинга использовался для поиска новых физических явлений (сигнатур фазовых переходов и критической точки, скейлингов, ...). Импульсные спектры рождения заряженных адронов в широком диапазоне энергий $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 7,7\text{--}200$ ГэВ и центральности столкновений использовались группой ОИЯИ для проверки самоподобия образования частиц, оценки потерь энергии партонов, определения энергетической зависимости фрактальных размерностей сталкивающихся ядер и процесса фрагментации в рамках метода z-скейлинга. Установленная энергетическая зависимость дает дополнительную мотивацию для выполнения программы энергетического сканирования (BES-II) при энергии $\sqrt{s_{\text{NN}}} < 20$ ГэВ и поиска критической точки в кумулятивной области. Скейлинговая функция рождения заряженных адронов при энергиях BES-I и различных центральностях анализировалась в области малых и больших поперечных импульсов. Полученный результат подтверждает гипотезу самоподобия рождения частиц в Au+Au столкновениях. Экспериментальные данные о рождении странных мезонов и барионов в протон-протонных столкновениях в области энергий $\sqrt{s} = 7,7\text{--}200$ ГэВ также были проанализированы в рамках теории z-скейлинга с целью изучения природы странности и поиска новой физики с использованием странных пробников. Была установлена фрактальная размерность для частиц (от K мезона до Ω гиперона) с разным содержанием странности. Получены новые указания о скейлинговых свойствах

рождения странных частиц в протон-протонных столкновениях на RHIC. Изучены скейлинговые свойства рождения кумулятивных частиц и рождения частиц с большим поперечным импульсом в протон-ядерных (от D до Pb) столкновениях при высоких энергиях. Предложены изучение самоподобия рождения частиц и поиск сигнатур фазовых переходов в жёстких кумулятивных процессах в эксперименте с фиксированной мишенью в рамках программы BES-II на STAR.

Группа ОИЯИ планирует участвовать в наборе и анализе данных в рамках программы BES-II. Развиваются следующие методы анализа — метод парных корреляций, спиновых $\Lambda\Lambda$ -корреляций, фрактального анализа событий и метод z-скейлинга. Ожидается, что большая статистика событий при различных энергиях и центральностях столкновений позволит получить новые ограничения на модельные параметры и даст новые указания о положении критической точки. Предполагается, что область, наиболее предпочтительная для поиска сигнатур фазовых переходов и критической точки, соответствует $\sqrt{s_{NN}} < 20$ ГэВ и большим поперечным импульсам, в которой потери энергии партонов малы.

Эксперимент STAR в течение многих лет получает поддержку со стороны ОИЯИ для использования облачных и GRID инфраструктур. В настоящее время эксперимент STAR использует 500 стоек кластера TIER-2 с перспективой расширения их количества до 1000. STAR успешно провела обработку 100 млн событий, и обсуждается возможность создания более компактных форматов записи данных (MuDst, PicoDst).

Молодые специалисты проявляют интерес к исследованиям, проводимым коллаборацией STAR. Опыт сотрудников, вовлечённых в этот эксперимент, чрезвычайно важен для подготовки физического проекта по программе исследований с тяжёлыми ионами на комплексе MPD/NICA в диапазоне энергий $\sqrt{s_{NN}} = 4\text{--}11$ ГэВ и по программе поляризационных исследований на SPD/NICA в диапазоне энергий $\sqrt{s} = 12\text{--}25$ ГэВ. Это позволит использовать более развитые технологии в создании новых установок (MPD и SPD) и подготовить физическую программу с учётом последних результатов, полученных на ускорителях SPS и RHIC.

Ресурсы, запрашиваемые авторами по проекту STAR (участие ОИЯИ) на 2019–2021 г.г., обоснованы. Я рекомендую продолжить работы по этому проекту с первым приоритетом и представить Проект на ПАК.

Доктор физико-математических наук

vladygin@jinr.ru

В.П. Ладыгин