

Рецензия

на проект STAR (участие ОИЯИ), тема 1066

Установка STAR была создана в Брукгейвенской 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 , $^{96}_{44}\text{Ru}$, $^{96}_{40}\text{Zr}$, U), с целью изучения его свойств различными пробниками в широком диапазоне энергий и центральности столкновений, и определение свойств фазовой диаграммы ядерной материи.

Результаты проведённых исследований на RHIC подтверждают заключения об образовании сильно взаимодействующего ядерного вещества.

Установлено, что новое состояние ядерной материи при максимальных энергиях RHIC характеризуется сильным подавлением выходов частиц в $\text{Au}+\text{Au}$ при больших поперечных импульсах рождённых адронов, большим эллиптическим потоком рождения адронов с лёгкими и тяжёлыми странными кварками, отличием его для барионов и мезонов при средних импульсах p_T , наличием сильных $\Delta\eta$ и $\Delta\phi$ корреляций (ridge effect) и «кварковый скейлинг» для легких и тяжелых кварков. Эти свойства больше всего напоминают свойства идеальной жидкости, чем долгое время предполагавшиеся, свойства идеального газа.

Результаты, полученные при максимальной энергии коллайдера RHIC, до сих пор не дают ответа на вопрос: какова структура фазовой диаграммы ядерного вещества – положение фазовых границ, типов фазовых переходов и наличие критической точки.

Для решения этого вопроса была предложена программа энергетического сканирования ядерной материи, сначала BES-I, и затем ее продолжение - BES-II, на новом качественном уровне (модернизация установки STAR и создание систем для повышения светимости коллайдера при низких энергиях).

Участие группы ОИЯИ с 2019 по 2022 годы в программе энергетического сканирования на установке STAR является главной задачей проекта. Уже выполнены запланированные измерения при пяти энергиях коллайдера (7,7; 9,1; 11,5; 14,6 и 19,6 ГэВ). Также выполнены измерения с фиксированной мишенью, которые расширяют диапазон энергетического сканирования до более низких энергий (7,7; 6,2; 5,2; 4,5; 3,94; 3,5 ГэВ). В настоящее время идет набор статистики при минимально достижимой на коллайдере RHIC энергии 7.7 ГэВ. Измерения в этой точке с высокой точностью чрезвычайно важны для сравнения с будущими измерениями на коллайдере NICA. Предлагаются дополнительные измерения при шестой энергии 16,7 ГэВ, которые обеспечат более детальное сканирование в диапазоне, где есть указания о том, что энергетическая зависимость «net-baryon» флуктуаций претерпевает значительные изменения.

Из наиболее важных физических результатов полученных в 2019-2021 годах отмечу следующие. Измерены выходы гипертрионов и анти-гипертрионов в столкновениях ядер золота, определены их массы и энергии связи и установлено отсутствие нарушений СРТ симметрии. Эта работа продолжает цикл исследований группы ОИЯИ по изучению свойств материи и антиматерии, в том числе

антиматерии со странными кварками. Экспериментальный материал, полученный в программе энергетического сканирования в коллайдерной моде и в экспериментах с фиксированной мишенью, позволит авторам проекта расширить данную тематику на поиск и изучение мультигиперядер.

В рамках предыдущего проекта получены важные результаты по спиновой физике. Обнаружено отличие спин-зависимых распределений морских u и d кварков в протоне в экспериментах по измерению продольной односпиновой асимметрии рождения W бозонов при энергии 510 ГэВ. Установлен положительный интегральный вклад глюонов в спин протона при измерении двухспиновой продольной асимметрии рождения струй в столкновениях протонов при энергии 510 ГэВ.

В предлагаемом проекте в 2022 году планируется продолжить программу поляризационных исследований - Cold QCD Physics, с поперечно поляризованными протонами при энергии 510 ГэВ и в 2024 году с энергией 200 ГэВ в реакциях взаимодействия поляризованных протонов с ядрами.

Большой интерес представляет программа – Hot QCD Physics, которую планируется выполнить в 2023 и 2025 годы по изучению микроструктуры кварк-глюонной плазмы (КГП) в соударениях золото-золото при энергии 200 ГэВ, направленная на решение двух важнейших задач – детализацию фазовой диаграммы КХД и определение свойств КГП на малых масштабах.

Проведена модернизация установки STAR: с помощью внутренней время-проекционной камеры (iTPC) и торцевого время-пролётного детектора (eTOF) улучшена идентификация частиц при высоких импульсах в области больших быстрот. Детектор для определения плоскости реакции (EPD) позволил определить центральность и плоскость реакции в области больших быстрот с малыми систематическими ошибками. Все это позволит в 2022-2025 годах существенно расширить аксептанс установки STAR (Mid-rapidity от $-1.5 < \eta < 1.5$) в область передних углов (Forward-rapidity $2.8 < \eta < 4.2$) провести измерения ядерных и поляризационных эффектов в новой кинематической области.

Среди задач проекта, предлагаемых группой ОИЯИ, хочу отметить следующие:

1. Использование метода корреляционной фемтоскопии для систематического изучения пространственно-временных параметров рождения частиц при энергетическом сканировании с учетом различных флуктуаций.
2. Исследование структуры событий с применением метода фрактального анализа, кумулятивного рождения частиц в зависимости от энергии и множественности, модификации спектров в ядерной среде.
3. Изучение энергетической и угловой зависимости глобальной поляризации и завихренности (vorticity) ядерной материи для различных гиперонов.
4. Создание в ОИЯИ инфраструктуры для обработки данных с установки STAR с использованием GRID технологий и развития новых методов идентификации частиц и получение функции отклика TPC с высокой точностью.

Физические результаты, полученные группой ОИЯИ в коллаборации STAR, постоянно представляются на международных конференциях и публикуются в реферируемых журналах.

Следует отметить, что в последние 2-3 года удалось привлечь к работам по эксперименту STAR молодых специалистов и студентов старших курсов. Они 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 $\sqrt{s_{NN}} = 4-11$ ГэВ и по программе поляризационных исследований на SPD/NICA в диапазоне энергий $\sqrt{s} = 12-27$ ГэВ.

Ресурсы, запрашиваемые авторами по проекту STAR (участие ОИЯИ) на 2022–2024 гг., обоснованы. Я рекомендую продолжить работы по данному проекту с первым приоритетом и представить его на ПКК по физике частиц.

Доктор физико-математических наук

vladygin@jinr.ru

В.П. Ладыгин