

Отзыв рецензента о продлении проекта NA61/SHINE (участие ОИЯИ)

Эксперимент NA61/SHINE в CERN на SPS получил свое название (SPS Heavy Ion and Neutrino Experiment) благодаря двойной экспериментальной программе.

Программа исследования сильных взаимодействий в эксперименте NA61/SHINE основана на сканировании пучками легких и промежуточных ядер ($p+p$, $p+Pb$, $Be+Be$, $Ar+Sc$, $Xe+La$, $Pb+Pb$) с энергиями в диапазоне 13A - 158A ГэВ.

Отметим, что именно эта область энергий соответствует переходной области энергий, на которую нацелены исследования на строящемся ускорительном комплексе ОИЯИ NICA.

В данном эксперименте проводятся точные измерения процессов, необходимых для экспериментов с космическими лучами и нейтрино. В течение многих лет коллаборация NA61/SHINE реализует программу измерений образования адронов для экспериментов по осцилляциям нейтрино с длинной базой в J-PARC и Фермилабе. Эти измерения улучшают знания о потоке нейтрино, образующемся в пучках на ускорителях. NA61/SHINE также выполняет измерения образования адронов, необходимые для интерпретации данных обширных атмосферных ливней при сверхвысоких энергиях, и измеряет сечения образования и фрагментации для понимания данных по галактическим космическим лучам.

Следует особенно отметить, что NA61/SHINE - это единственная в мире установка для исследований в области релятивистской ядерной физики в указанном диапазоне энергий, имеющая набор детекторов (TPC+TOF), обеспечивающих прецизионное измерение угловых и энергетических характеристик вторичных частиц при условии их идентификации.

Группа физиков из ОИЯИ продолжительное время активно участвует в создании детекторной базы исследования NA61/SHINE. Коллаборация NA61/SHINE провела большую работу по модернизации установки в 2019-2022 годах. Инженеры и физики Лаборатории физики высоких энергий создали новую систему регистрации времени полета, основанную на детекторах MRPC, которая является ключевым детектором для идентификации заряженных частиц. Система состоит из двух стенок. Первая стенка уже введена в состав установки и надежно проработала в сеансах в 2023 г. В настоящее время проводится работа по вводу второй стенки детектора в установку. Новая система обладает существенно лучшим временным разрешением (50 пс), чем предыдущая, основанная на сцинтилляционных счетчиках (70 пс).

В рамках программы исследований коллаборацией NA61/SHINE были набраны большие объемы данных при столкновениях $p+p$, $Be+Be$, $Ar+Sc$, $Xe+La$ и $Pb+Pb$ в течение 2009-2018 гг. Дальнейшие измерения на высокой статистике столкновений с помощью модернизированного детектора продолжились в 2022 и 2023 гг. После модернизации скорость набора данных существенно возросла (примерно в 15 раз).

При сканировании фазовой диаграммы необходимо проводить измерения наблюдаемых переменных, чувствительных к рассматриваемым эффектам в столкновениях ядро-ядро. Такими наблюдаемыми величинами являются множественность заряженных частиц, их поперечные импульсы и спектральные характеристики вторичных адронов, включая странные барионы и антибарионы.

Первоначально программа исследований NA61/SHINE включала измерения выходов заряженных частиц в $p+p$ и центральных столкновениях ядер ${}^7\text{Be} + {}^9\text{Be}$, $Ar+Sc$, $p+Pb$ и $Xe + La$ при импульсах 13, 19, 30, 40, 75, 150/158 АГэВ/с на нуклон. Затем исследовательская программа NA61/SHINE была расширена. Теперь она включает в себя изучение коллективных потоков при столкновениях ядро-ядро в одном и том же энергетическом диапазоне, а также изучение образования гиперонов и гиперядер. Гиперядра являются уникальными объектами для углубления наших знаний о

взаимодействиях странных частиц с ядрами в многочастичной среде и в контролируемых условиях.

Также важна программа по исследованию рождения очарованных частиц в столкновениях релятивистских тяжелых ионов. Особенность рождения очарованных частиц при столкновении тяжелых ионов может быть признаком образования КГП, в частности, подавления выхода J/ψ -мезонов. Таких данных пока нет, и в рамках эксперимента NA61/SHINE планируется осуществить такой анализ.

Необходимо подчеркнуть, что результаты экспериментов вдохновили некоторые теоретические исследования, особенно те, которые относятся к доказательству начала деконфайнмента на SPS при пониженной энергии. Эти исследования планируется продолжить и в дальнейшем. Кроме того, они стимулировали измерения при низких энергиях в экспериментах STAR и PHENIX на установке RHIC в Брукхейвенской национальной лаборатории (США) и реализацию приоритетных проектов по программе NICA/MPD в ОИЯИ и CBM в GSI.

Сотрудники ОИЯИ внесли значительный вклад в измерение и анализ процессов получения легких ядер. Эта часть эксперимента была полностью возложена на группу ЛФВЭ от набора данных, анализа данных и публикации физических результатов. Сотрудничество в рамках NA61/SHINE очень эффективно и одновременно плодотворно для обоих институтов: ЦЕРН и ОИЯИ. По результатам эксперимента NA49/NA61SHINE было защищено несколько кандидатских и докторских диссертаций.

Продолжение этого сотрудничества обеспечит более глубокое понимание свойств ядерной материи при релятивистских энергиях. Анализ экспериментальных данных NA61/SHINE, безусловно, чрезвычайно ценен для подготовки к экспериментам на ускорительном комплексе ОИЯИ NICA. Участие ОИЯИ в эксперименте NA61/SHINE также очень важно для подготовки молодых ученых ОИЯИ для проекта NICA, физическая программа которого содержит задачи, близкие для проекта NA61/SHINE. Опыт работы группы ОИЯИ с различными детекторами на ионных пучках SPS в ЦЕРНЕ и их участие в обработке и анализе данных трудно переоценить.

Из вышесказанного следует, что участие группы ОИЯИ в эксперименте NA61 является весьма плодотворным. Финансовые запросы полностью оправдываются хорошими физическими результатами, которые способствуют укреплению научной репутации ОИЯИ. Кроме того, ожидаемые результаты, несомненно, будут признаны значительным вкладом в развитие долгосрочных исследовательских программ в области релятивистской физики тяжелых ионов в ОИЯИ. Я хотел бы рекомендовать одобрить продление участия ОИЯИ в эксперименте NA61 в 2025-2029 годах с первым приоритетом в рамках запрашиваемых ресурсов.

Доктор физ.-мат. наук,
начальник отдела ЛФВЭ ОИЯИ
15.03.2024 г.

А.А. Балдин