

Рецензия на проект

Изучение осцилляций нейтрино в эксперименте JUNO (Участие ОИЯИ) Продление проекта на период 2021-2023 гг

Эксперимент JUNO характеризуется широкой научной программой, включающей задачи определения иерархии масс нейтрино, измерения параметров смешивания лептонов, поиска распада протона, изучения нейтрино от вспышки Сверхновой звезды (SN), а также нейтрино от других источников. Все эти задачи являются высокоприоритетными в современной физике частиц, а их решение позволит закрыть «белые пятна» стандартной модели, а возможно и выйти за ее пределы.

Эксперимент JUNO представляет собой высокочувствительный детектор нейтрино, расположенный на расстоянии 52 км от АЭС Янцзян и Тайшань общей мощностью 26,6 ГВт., настроенный на регистрацию потока антинейтрино и восстановление их энергетического спектра. Центральный детектор (CD) состоит из 20 тыс. тонн жидкого сцинтиллятора в акриловой сфере диаметром 35м, 78% поверхности которой просматривается 18000 ФЭУ 20" и 26000 ФЭУ 3". Для контроля потока мюонов сверху расположен Top Tracker (ТТ). CD позволяет восстанавливать энергетические спектры нейтрино с характерным разрешением 3% при 1 МэВ.

В состав эксперимента входит также детектор Тайшаньская Антинейтринная Обсерватория (ТАО), расположенный на расстоянии 30 м от центра реактора Тайшаньской АЭС. Он позволяет учесть структуру энергетического спектра антинейтрино от АЭС для улучшения чувствительности эксперимента к измеряемым параметрам. Этот детектор содержит 2,8 тонн жидкого сцинтиллятора, ~ 10 кв.м поверхности которого просматривается кремниевыми ФЭУ. Это позволяет достичь почти предельно возможного энергетического разрешения в жидком сцинтилляторе при восстановлении спектров антинейтрино.

Точности достижимые в эксперименте JUNO позволяют получить результаты на переднем фронте исследований физики нейтрино. Главную задачу, определить массовую иерархию на уровне трех стандартных отклонений, можно будет выполнить за восемь лет. Это уступает возможностям только лишь ускорительного нейтринного эксперимента DUNE. В эксперименте JUNO будут существенно (в несколько раз) улучшены точности измеренных на сегодня параметров: разности масс нейтрино трех поколений и углов их смешивания. Будут понижены пределы вероятности распада протона по сравнению с результатом, полученным в эксперименте Super-Kamiokande, во много раз увеличена статистика зарегистрированных SN нейтрино, улучшена статистика гео, атмосферных и солнечных нейтрино.

Таким образом высокая научная значимость и конкурентоспособность эксперимента JUNO не вызывает сомнений.

Участие группы ОИЯИ в этом проекте является логическим продолжением нейтринного реакторного экспериментов Daya Bay, в котором, при активном участии группы ОИЯИ, было сделано значительное открытие – впервые измерено ненулевое значение угла смешивания лептонов 1–го и 3–го поколений, и тем самым

открыта перспектива поиска фазы, ответственной за CP-нарушение в лептонном секторе.

В 2018-2020 годах группа ОИЯИ, продолжая анализ данных эксперимента Daya Bay, основными силами начала работать над проектом JUNO (тема 1099). На данном этапе рассматривается продолжение этих работ в 2021-2023 годах.

Группа ОИЯИ вносит большой вклад в разработку и создание многих блоков детектора и играет важную роль в проекте JUNO:

- отвечает за разработку и производство высоковольтных устройств для ФЭУ;
- участвует в создании детектора Top Tracker, в т.ч. системы механической поддержки, разработки аппаратного и программного обеспечения для мониторинга сцинтилляторов, системы реконструкции треков и сбора данных (DAQ);
- участвует в испытаниях крупных PMT;
- участвует в проектировании и создании детектора TAO;
- участвует в разработке программного обеспечения пакета Global Neutrino Analysis (GNA);
- вводит в эксплуатацию центр обработки данных, предназначенный для производства, хранения и обработки данных в Монте-Карло, который станет одним из трех европейских центров обработки данных, управляющих данными JUNO.

К концу 2020 года планируется произвести 25000 ВВ устройств для ФЭУ и после этого контролировать сборку и испытания электроники. Будет разработано программное обеспечение для соответствующего Slow Control.

Детектор Top Tracker создается из модулей, состоящих из пластиковых сцинтилляторов, ранее произведенных группой ОИЯИ и использовавшихся в эксперименте OPERA. Это зачтено, как in-kind вклад ОИЯИ в эксперимент JUNO. Была разработана и создана система, обеспечивающая непрерывный и удаленный мониторинг характеристик сцинтилляционных пластин, которые меняются со временем из-за старения. Группа ОИЯИ участвует в разработке и создании механической 140-тонной конструкции детектора, а также отвечает за разработку программного обеспечения системы DAQ, которое должно обеспечивать эффективный сбор данных с детектора. Сборка, установка и ввод в эксплуатацию детектора Top Tracker начнется в 2021 году при непосредственном участии специалистов ОИЯИ.

Группа ОИЯИ вносит большой вклад в массовое тестирование ФЭУ. Была построена и введена в эксплуатацию темная комната со станцией сканирования в ОИЯИ и две темные комнаты с двумя станциями сканирования на полигоне в Китае. К настоящему времени было выполнено около 3900 сканирований и было протестировано около 2500 ФЭУ: 350 Hamamatsu и 2200 NNVT. Группа ОИЯИ также участвует в разработке системы защиты ФЭУ от магнитного поля земли. Кроме базовой системы, катушек Гельмгольца, для защиты исследуются различные материалы, обеспечивающие магнитное экранирование.

Основной вклад ОИЯИ в детектор TAO, это приобретение половины кремниевых ФЭУ, обеспечение всех (4500 шт.) источниками питания и разработка программного обеспечения для slow control. Одновременно решается непростая задача объединения кремниевых ФЭУ в структурные блоки «плитки», которыми должна быть покрыта поверхность сцинтиллятора максимально плотно и однородно. В ЛЯП создана установка, позволяющая изучать характеристики

кремниевых ФЭУ при рабочей температуре -50 С. С ее помощью будет осуществляться выбор кремниевых ФЭУ и их массовое тестирование.

В работах, запланированных по проекту на три года (2021-2023), примет участие 39 сотрудников ОИЯИ, не превышая при этом 20 FTE в каждом году. Около трети участников – студенты и аспиранты. Такую же долю составляют инженеры.

За время проведения эксперимента Daya Bay и подготовки проекта JUNO группа ОИЯИ проявила высокий профессионализм в разработке и создании детекторов и инженерных систем, в разработке программного обеспечения, обработке и анализе физической информации. Только за последние 5 лет по материалам этих работ сотрудниками ОИЯИ было опубликовано 19 работ в престижных научных журналах и сделано 30 докладов на международных конференциях. То, что эта группа выполнит взятые по проекту обязательства и внесет значимый материальный и интеллектуальный вклад в получение научных результатов, не вызывает сомнений.

Несомненно, что участие в эксперименте такого высокого научного уровня очень важно для ОИЯИ. Прежде всего, это позволит получить яркие научные результаты, что будет способствовать укреплению научного престижа участников проекта и авторитета института в целом. Подготовка и проведение такого эксперимента играет важную роль в формировании высокопрофессиональных кадров, ученых и инженеров, в ОИЯИ. Убедительным свидетельством этого является защита пяти диссертаций, в т.ч. трех докторских, в основу которых легли результаты, полученные в рассмотренных нейтринных экспериментах. В ходе подготовки к эксперименту JUNO в ЛЯП создается инфраструктура, позволяющая разрабатывать и конструировать современные детекторы. Это обеспечит хорошую базу для подготовки других проектов.

Считаю важнейшей задачей активное участие группы ОИЯИ в Глобальном нейтринном анализе (GNA). Этот вопрос, на мой взгляд, недостаточно полно отражен в проекте.

Всего международная коллаборация JUNO насчитывает около 650 участников из 77 институтов. Группа ОИЯИ является второй по численности после Института физики высоких энергий (Пекин) и несет большой объем обязательств по проекту. Из представленного материала трудно оценить, насколько объективно сбалансированы обязательства ОИЯИ по сравнению с другими участниками коллаборации.

Других замечаний к проекту нет.

В целом, участие группы ОИЯИ в проекте JUNO заслуживает высокой оценки и рекомендуется продолжить проект с первым приоритетом.



В.Д. Кекелидзе
20 апреля 2020г.