

РЕКОМЕНДАЦИИ СОВМЕСТНОЙ СЕССИИ ПКК ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ И ПКК ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ ПО ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКЕ НЕЙТРИННОЙ ПРОГРАММЫ ОИЯИ

22 января 2019 года ПКК по физике частиц и ПКК по ядерной физике провели совместное заседание для оценки всех проектов и тем исследований, выполняемых в ОИЯИ в области физики нейтрино, астрофизики и темной материи, далее именуемой Нейтринная программа ОИЯИ.

ПКК благодарят директора ЛЯП В. А. Беднякова за сделанный им всесторонний обзор Нейтринной программы ОИЯИ.

Нейтринная программа ОИЯИ уже была рассмотрена программными комитетами в июне 2014 года. ПКК вновь подтверждают рекомендации предыдущей совместной сессии, в частности:

– «Физика нейтрино и астрофизика являются одним из основных направлений исследований в ОИЯИ. Это направление имеет стратегическое значение и обладает многообещающим потенциалом для открытий и получения интересных результатов в ближайшем и отдаленном будущем;

– ПКК призывают дирекцию ЛЯП активизировать свои усилия по сокращению менее значимых научных тем и по концентрации всех возможных ресурсов (людских, финансовых, интеллектуальных) в выбранных экспериментах Нейтринной программы ОИЯИ;

– в частности, ЛЯП рекомендуется установить приоритеты для всех нейтринных проектов, в которых участвует ОИЯИ, в соответствии со следующими критериями: (i) научная значимость и потенциал научных открытий, (ii) задействованные ресурсы (персонал и финансирование), (iii) признание значимости участия ОИЯИ, (iv) конкурентоспособность и своевременность по отношению к другим международным проектам».

В январе 2018 года ПКК по ядерной физике провел оценку шести проектов этой программы, а ПКК по физике частиц рассмотрел еще семь проектов.

На данной сессии все проекты Нейтринной программы ОИЯИ были совместно оценены ПКК по физике частиц и ПКК по ядерной физике с конечной целью классифицировать их по трем категориям А, В или С, основываясь на научной значимости проекта и эффективности работы группы ОИЯИ:

категория А: отличные проекты, которые следует финансировать в полной мере, обеспечивать адекватными ресурсами и поощрять к продолжению с тем, чтобы их влияние расширялось;

категория В: очень хорошие проекты, но с некоторыми недостатками. Они должны финансироваться при исполнении строгой рекомендации о том, что необходимо улучшить;

категория С: хорошие проекты, которые, однако, демонстрируют относительно низкую эффективность.

Руководителям проектов было предложено ответить на общий список вопросов, подготовленный представителями двух ПКК по согласованию с руководством ОИЯИ. ПКК благодарят руководителей проектов за своевременное представление ответов и высоко оценивают работу, проделанную по их подготовке. Каждый проект был рассмотрен одним рецензентом из ПКК по физике частиц и одним из ПКК по ядерной физике. Сами вопросы и ответы на них, а также отчеты рецензентов размещены на веб-странице совместного заседания в Indico. Окончательная классификация каждого проекта по категориям А, В и С была выполнена с учетом мнений двух соответствующих рецензентов и последующего обсуждения проекта.

COMET. Целью эксперимента на ускорителе J-PARC в Японии является высокочувствительный поиск безнейтринной конверсии мюонов в электроны в поле ядра ($\mu^- + N \rightarrow e^- + N$), в которых не сохраняется лептонное число. Запланированное измерение конверсии на уровне 10^{-17} в 10000 раз лучше, чем существующий экспериментальный предел. Техническая поддержка и вклад ОИЯИ в создание электромагнитного калориметра (ECAL, теперь с кристаллами LYSO) и строу-трекера очень важны и имеют решающее значение для успеха COMET. Тем не менее, имея в своем составе около 30 научных сотрудников, группа ОИЯИ должна быть гораздо более амбициозной. Если ОИЯИ хочет претендовать на будущие результаты и получить высокое научное признание, необходимо взять на себя больше обязательств по работе всего детектора, сбору и анализу данных эксперимента, и на этом этапе может потребоваться больше ресурсов, чем планируется.

Daya Bay/JUNO. Исследование включает в себя участие в эксперименте с нейтрино на реакторе Daya Bay в КНР и в более широком масштабе в рамках последующего проекта JUNO. Daya Bay обнаружил ненулевой угол θ_{13} , в то время как JUNO, как ожидается, проведет высокочувствительное измерение иерархии масс нейтрино. Оба уникальных эксперимента являются в своих областях абсолютными научными ориентирами. Вклад ОИЯИ в эксперимент Daya Bay значителен и

включает разработку алгоритмов отбора событий, анализ данных для наиболее точного определения θ_{13} и Δm^2_{32} , а также более точные измерения энергетических спектров антинейтрино от реактора. Для будущего JUNO задачи группы также значительны и включают в себя создание стендов для тестирования фотоумножителей, научно-исследовательские разработки для трекового детектора и изготовление источников высокого напряжения. В будущем группе рекомендуется сосредоточиться на основных направлениях в анализе данных. Хотя большая часть группы занимается подготовкой JUNO, не следует пренебрегать ожидаемыми научными результатами Daya Bay, в основном, в связи с возможностью подготовки высококачественных диссертаций.

NOvA. Эксперимент NOvA в Fermilab направлен на детальное изучение осцилляций нейтрино. Его основными целями являются определение иерархии масс нейтрино и проверка фазы CP-нарушения матрицы смешивания PMNS. Группа ОИЯИ внесла ценный вклад в создание в ЛЯП испытательных стендов для электроники и жидких сцинтилляторов, в создание Центра дистанционного управления в ОИЯИ для мониторинга работы оборудования и проведения сменных дежурств, а также в инфраструктуру GRID/Cloud для обработки данных. Ученые ОИЯИ также участвуют в анализе данных как по основным направлениям, так и по поиску экзотики. Количество выступлений на конференциях достаточно для группы из 24 ученых. Группе следует сосредоточиться на достижении более значительной роли в эксперименте, приняв участие в некоторых из будущих перспективных исследований, а также в некоторых исследованиях экзотики, которые можно было бы предложить и выполнить на основе огромного объема экспериментальных данных.

BOREXINO. Основными целями эксперимента BOREXINO в подземной лаборатории Гран-Сассо является изучение потоков солнечных нейтрино и их измерение с повышенной точностью во второй фазе эксперимента. В прошлом группа ОИЯИ работала в нескольких направлениях: создание прототипа детектора BOREXINO (CTF) и его дальнейшая эксплуатация, разработка и эксплуатация стенда для тестирования фотоумножителей, обеспечение работы основного детектора, а также участие в ряде анализов данных. Группа намеревается продолжить анализ данных и улучшить исследования спектра ^7Be , геонейтрино и солнечных (CNO) нейтрино. Все доклады на конференции были сделаны двумя членами группы, и большинство из них не были представлены на важных международных

конференциях. Группа относительно небольшая (9 человек с 4,6 FTE) и будет еще сокращена с отъездом аспиранта, который вносит 0,5 FTE.

TAIGA. Основная цель гамма-обсерватории TAIGA — изучение гамма-излучения и заряженных космических лучей в диапазоне энергий 10^{13} эВ – 10^{18} эВ. Это международный научный проект по поиску источников галактических космических лучей с энергиями выше 1 ПэВ. Самая северная точка расположения объекта дает ему некоторые преимущества по сравнению с другими экспериментами с аналогичными научными целями. К проведению наблюдений TAIGA приступит в 2020 году, на несколько лет раньше, чем другие конкурирующие проекты. Команда из ОИЯИ несет полную ответственность за конструирование, создание и испытания атмосферных черенковских телескопов (IACT) для получения изображений; она также отвечает за испытания всех 1200 ФЭУ для двух телескопов IACT. ПКК рекомендует расширить деятельность группы в анализе конкретной физической проблемы. Группе следует увеличить количество публикаций в рецензируемых журналах (включая также методические результаты) и увеличить количество аспирантов.

Mu2e, g-2. Группа ОИЯИ участвует в двух экспериментах Fermilab, находящихся на переднем крае международных исследований в данной области, и проводит поиск небольших отклонений от предсказаний Стандартной модели: эксперимент Mu2e пытается обнаружить сильно подавленную реакцию ($\mu^- + N \rightarrow e^- + N$), в то время как g-2 стремится точно измерить аномальный магнитный момент мюона, то есть установить наблюдаемое отклонение от Стандартной модели на уровне 5σ . Основным вкладом группы является участие в создании системы вето космических лучей и в некоторых работах для кристалла ECAL установки Mu2e. Тем не менее, научная значимость участия ОИЯИ и уровень принятых на себя обязательств в двух проектах должны быть улучшены. Кроме того, бюджет на расходные материалы и оборудование на следующие 2 года (~320 тыс. долл. США) недостаточен для обеспечения ощутимого вклада в строительство двух крупных установок. Наконец, группа не представлена адекватно в руководящих научных и управленческих позициях коллабораций.

SuperNEMO. Демонстратор SuperNEMO, являющийся первым модулем детектора SuperNEMO, размещен в подземной лаборатории Модан (Франция). Он

предназначен для поиска безнейтринного двойного бета-распада ($0\nu\beta\beta$) ^{82}Se с целью раскрытия природы нейтрино. Детектор нового поколения SuperNEMO будет иметь модульную конструкцию (20 модулей) с возможностью одновременного измерения нескольких изотопов с уровнем чувствительности к периоду полураспада $T_{1/2}(2\beta 0\nu) \geq 10^{26}$ лет. Вклад ОИЯИ включает производство пластиковых сцинтилляторов, строительство калориметров и трекеров, разработку новой установки для радиохимической очистки обогащенного ^{82}Se , приобретение компонентов детектора и участие в анализе данных. ОИЯИ имеет долгую и успешную историю участия в экспериментах NEMO. Текущие показатели работы группы в числе докладов на международных конференциях и защищенных кандидатских диссертаций должны быть улучшены. Группе ОИЯИ следует стремиться оказывать такое же влияние на анализ данных SuperNEMO, как и NEMO-3. Участие молодых людей в анализе данных позволит ОИЯИ проявить научную значимость, соразмерную демонстрируемому группой уровню разработки детекторов и инвестиций.

GEMMA-III. Проект GEMMA направлен на исследование фундаментальных свойств нейтрино, таких как магнитный момент нейтрино (MMN) и когерентное рассеяние нейтрино на ядре. Первая фаза проекта (GEMMA-I) установила лучший в мире верхний предел для MMN $< 2,9 \cdot 10^{-11} \mu\text{B}$ (90% CL). Ожидается, что GEMMA-III улучшит этот предел в 5 раз. Экспериментальная установка GEMMA-III установлена в 10 м от центра активной зоны реактора Калининской атомной электростанции с потоком антинейтрино свыше $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Первые результаты с начальной компоновкой установки, состоящей из четырех низкопороговых детекторов HPGe (общая масса 1,6 кг) ожидаются в середине 2019 года. Благодаря успешной разработке детекторов и местоположению на Калининской АЭС проект играет заметную роль в глобальном соревновании по поиску рассеяния нейтрино на ядре и в получении предела на MMN. В связи с конкурирующими экспериментами команде рекомендуется намного увеличить объем детектора, больше, чем предполагалось, тем самым сократить многолетнюю продолжительность работы и достичь целей в конкурентном масштабе времени. Для этого нужно расширить состав группы с точки зрения FTE, команде также следует стремиться к большему числу публикаций.

EDELWEISS-LT. Эксперимент в подземной лаборатории Модан (Франция) сфокусирован на прямом поиске слабо взаимодействующих массивных частиц (WIMP) из галактического гало, считающихся основным кандидатом на роль частиц

темной материи. Группа ОИЯИ отвечает за детекторы по контролю низкого уровня фона от радона, нейтронов и альфа-частиц, за их разработку, эксплуатацию, обслуживание, сбор данных, мониторинг и анализ данных. Планируется продолжить эти работы на следующем этапе эксперимента. Общее число FTE в группе из 12 исследователей и инженеров составляет 5. Исследовательский состав, включая студентов, участвующих в анализе данных, должен быть более многочисленным, чтобы обеспечить заметное влияние на сотрудничество и большую квоту для докладов на конференциях.

G&M (GERDA). Эксперимент GERDA (GERDA&MAJORANA) посвящен поиску безнейтринного двойного бета-распада ^{76}Ge с открытыми Ge-детекторами, непосредственно погруженными в жидкий аргон. Этот проект является частью большой международной коллаборации, расположенной в Гран-Сассо в Италии. Наблюдение безнейтринного двойного бета-распада явилось бы главным прорывом в современном понимании законов физики. Группа ОИЯИ отвечает за проектирование, производство, испытания и установку пластиковой мюонной вето-системы. Она участвует в разработке измерительных приборов для жидкого аргона, в анализе данных GERDA и играет ведущую роль в модернизации детектора и в обеспечении его работы. Тем не менее, такой показатель работы большой группы (17 ученых), как количество выступлений на международных конференциях, может быть улучшен, а число диссертаций (ни одна не защищена) является недостаточным и не соответствует стандартам.

БАЙКАЛ-ГВД. Проект направлен на обнаружение высокоэнергетических галактических и внегалактических нейтринных событий в воде озера Байкал, оснащенной на глубине оптическими модулями. Глубоководный нейтринный телескоп регистрирует черенковское излучение от вторичных частиц, образующихся при взаимодействии высокоэнергетических нейтрино внутри или вблизи инструментального объема. Отличительными особенностями проекта БАЙКАЛ-ГВД по сравнению с другими работающими (IceCube) или запланированными (KM3NeT) международными проектами являются взаимодополняемость экспериментальной установки, возможность смотреть на другую часть неба и вклад в Глобальную нейтринную сеть путем добавления ценной статистики в другие проекты. Это флагманский проект ОИЯИ с его большим участием и уровнем заинтересованности. Группа ОИЯИ лидирует во многих работах над детектором, таких как работа над

оптическими модулями, над системами считывания и синхронизации. В дальнейшие планы входит, в частности, создание испытательного комплекса для оптимизации конструкции модуля. Относительно небольшое количество публикаций отражает нынешнюю фазу эксперимента. В будущем следует ожидать более заметного участия в выступлениях на крупных международных конференциях. Следует приложить усилия для привлечения больших внутренних ресурсов, а также молодых и целеустремленных студентов. Для таких проектов, как БАЙКАЛ-ГВД, важно, чтобы финансовый план был достаточно амбициозным, намного выше порога, и обеспечивал значимый и полезный вклад от группы ОИЯИ.

DANSS. Спектрометр DANSS установлен на Калининской АЭС. В дополнение к первоначальной цели мониторинга реактора детектор имеет возможность поиска осцилляций нейтрино в стерильные состояния на короткой базе. Основной вклад в детектор DANSS вносит ОИЯИ. Он включает в себя изготовление 2500 сцинтилляционных детекторов, считываемых 2500 SiPM, системы активного мюонного вето, электроники управления, защиты детектора и электроники сбора данных. Планируется разработать и построить два новых нейтринных детектора S^3 (S-cube) с использованием более качественного сцинтилляционного материала, обладающего в 4 раза большим световыходом. В настоящее время в эксперименте DANSS получены наилучшие ограничения по осцилляциям реакторных нейтрино в стерильные нейтрино. Проект DANSS и планы группы на будущее стоит поддержать до тех пор, пока проблема стерильных нейтрино не будет решена. Чтобы закрепить свои лидирующие позиции в мире, группе следует сосредоточить усилия на наборе и анализе данных экспериментов DANSS и S^3 , прежде чем рассматривать участие в других проектах.

NA64. Проект NA64 — это эксперимент с фиксированной мишенью на SPS в ЦЕРН, специально разработанный для прямого поиска процесса распада «темного» фотона $A' \rightarrow$ невидимое. Группа ОИЯИ отвечает за проектирование, производство, испытания и установку 14 строу-камер, а также программного обеспечения для сбора данных, декодирования первичных данных, онлайн-мониторинга и визуализации, реконструкции и Монте-Карло моделирования. Члены группы приняли участие в сеансах набора данных и обеспечили работу строу-детектора. Команда достигла отличных успехов в процессе окончательной подготовки детектора к этапу сбора данных. Тем не менее, было бы очень желательно увидеть подготовленный план

привлечения к проекту студентов, их участие, приводящее к написанию диссертаций. Также было бы отраднo видеть, что команда ОИЯИ играет ведущую роль в физическом анализе. Кроме того, относительное количество FTE (4,7 для команды из 13 человек) должно быть выше для видимого и более эффективного влияния.

Наконец, после проведенной совместно ПКК по физике частиц и ПКК по ядерной физике оценки проектов на основе их научной значимости и результатов работы групп ОИЯИ, проекты в области физики нейтрино, астрофизики и темной материи были классифицированы следующим образом:

категория А: БАЙКАЛ-ГВД, DANSS, Daya Bay/JUNO, NOvA;

категория В: COMET, EDELWEISS-LT, GEMMA-III, GERDA, NA64, SuperNEMO, TAIGA;

категория С: BOREXINO, Mu2e, g-2.

И. Церруя

Председатель ПКК по физике частиц

М. Левитович

Председатель ПКК по ядерной физике