

**РЕКОМЕНДАЦИИ СОВМЕСТНОЙ СЕССИИ
ПКК ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ И ПКК ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ
ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕЙТРИННЫХ ПРОЕКТОВ ОИЯИ**

В ходе 123-й сессии Ученый совет одобрил предложение обоим ПКК о проведении совместных заседаний для оценки нейтринных проектов ОИЯИ. 21 января 2021 года ПКК по физике элементарных частиц и ПКК по ядерной физике провели совместное заседание по оценке пяти нейтринных проектов по теме «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика».

Следуя принципам, предложенным директором ОИЯИ Г. В. Трубниковым, конечной целью была классификация проектов на три категории с использованием схемы, принятой на предыдущем совместном заседании в январе 2019 года, исходя, прежде всего, из научной значимости проекта, эффективности и результатах работы группы ОИЯИ. Руководителям проектов было предложено ответить на вопросы из короткого общего списка, подготовленного представителями двух ПКК. Каждый проект был рассмотрен одним рецензентом ПКК по физике частиц и одним из ПКК по ядерной физике. Сама анкета, ответы на анкету и отчеты рецензентов были размещены на веб-странице Indico совместной сессии. Окончательная оценка каждого проекта проводилась с учетом мнений двух соответствующих рецензентов и последующего обсуждения проекта на совместном заседании двух ПКК.

Проект GERDA (LEGEND)

ПКК заслушал доклад К. Н. Гусева о проекте GERDA (LEGEND), посвященном поиску безнейтринного двойного бета-распада ^{76}Ge с помощью открытых Ge-детекторов, непосредственно погруженных в жидкий аргон. Проект GERDA реализуется в Гран-Сассо (Италия) усилиями большого международного коллектива.

После достижения запланированной экспозиции 100 кг лет, вторая фаза эксперимента GERDA (2015-2020) была успешно завершена. Был достигнут беспрецедентный уровень фона $5 \cdot 10^{-4}$ отсчетов / (кэВ кг год). Анализ полного набора данных GERDA, соответствующего суммарной экспозиции 127,2 кг лет

первой и второй фазы, позволил установить новый рекордный предел периода полураспада для безнейтринного двойного бета-распада ^{76}Ge свыше $1,8 \cdot 10^{26}$ лет.

Впечатляющие характеристики GERDA вселяют уверенность в осуществимость эксперимента нового поколения LEGEND с тонной ^{76}Ge . Предполагается, что LEGEND будет проходить в два этапа, как и в случае с GERDA. На первом этапе будет использоваться до 200 кг германиевых детекторов внутри существующего криостата GERDA. Планируется достичь чувствительности 10^{27} лет, что потребует снижения текущего фона в пять раз. Полномасштабный проект с 1 т ^{76}Ge нацелен на чувствительность 10^{28} лет за счет уменьшения фона в десять раз с потенциальной целью ответить на вопрос об иерархии масс нейтрино.

Рекомендация. ПКК признает важную роль группы ОИЯИ в экспериментах GERDA (LEGEND) и рекомендует продолжить этот проект в 2022–2024 годах с рейтингом А.

Проект SuperNEMO

ПКК заслушал доклад В. И. Третьяка о проекте SuperNEMO, посвященном поиску безнейтринного двойного бета-распада ($0\nu 2\beta$) с использованием треко-калориметрической методики, которая позволяет реконструировать углы и энергии продуктов распада для каждого события. Многолетнее участие ЛЯП ОИЯИ в экспериментах первого поколения NEMO-2/3 привело к результатам мирового уровня для двухнейтринного и безнейтринного двойного бета-распадов изотопов ^{48}Ca , ^{82}Se , ^{96}Zr , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{130}Te и ^{150}Nd .

В LSM (Modane) создается детектор SuperNEMO нового поколения с проектной возможностью измерять порядка 100 кг различных изотопов для максимальной чувствительности детектора к периодам полураспадов $T_{1/2}(0\nu 2\beta) \geq 10^{26}$ лет. «SuperNEMO Demonstrator» (первый модуль из двадцати), который сейчас находится на этапе ввода в эксплуатацию, в 2022 году будет готов к поиску распадов $0\nu 2\beta$ в ~ 7 кг обогащенного ^{82}Se . Группа ОИЯИ играет важную роль в этом проекте, в частности, в создании пассивной защиты, системы VETO, калориметра, программного обеспечения и обработки данных, а также в разработке методов радиохимической очистки.

ПКК отмечает, что, несмотря на эти достижения, исполнение проекта задерживается на несколько лет, и, хотя группа представила убедительные обоснования, это препятствует успеху эксперимента в условиях жесткой международной конкуренции, уже нацеленной на создание высокочувствительных детекторов третьего поколения, использующих германий и ксенон. Тем не менее, возможности трекового калориметра, а также свободная селективность по любому из изотопов-кандидатов, помогут SuperNEMO внести свой вклад в оценку возможного сигнала $0\nu 2\beta$, обнаруженного в результате других поисков.

Рекомендация. ПКК признает потенциальные возможности метода, используемого SuperNEMO, и рекомендует продолжить этот проект в 2022–2024 годах с рейтингом В. ПКК призывает авторов к созданию эффективной группы, нацеленной на использование детектора «SuperNEMO Demonstrator».

Проект DANSS

ПКК заслушал доклад Ю. А. Шитова о реакторном нейтринном проекте DANSS на Калининской АЭС, посвященном поиску стерильных нейтрино. В эксперименте DANSS компактный нейтринный спектрометр безопасно установлен рядом с реактором. За пять лет работы в 2016–2020 годах зарегистрирована мировая рекордная статистика в четыре миллиона реакторных антинейтрино (один миллион событий в год, или пять тысяч событий в день). Это позволило DANSS получить результаты мирового уровня, среди которых:

- Отсутствие значимого сигнала осцилляций реакторных антинейтрино в стерильные нейтрино после анализа большей части собранной статистики (~ 3М событий). В результате была исключена наибольшая (по сравнению с конкурентами) область пространства параметров ($\sin^2(2\theta_{14})$, Δm_{14}^2) возможных осцилляций, в том числе точка, соответствующая лучшему фиту реакторной нейтринной аномалии, исключена на уровне более 5σ .

- Возможность контролировать мощность реактора со статистической погрешностью ~ 1,5% за два дня измерений и определять состав ядерного топлива (соотношение уран / плутоний), что подтверждает применимость предложенной технологии для контроля реакторов.

Основной задачей на следующем этапе проекта является модернизация спектрометра DANSS-2 с улучшением в два раза энергетического разрешения, что позволит существенно расширить исследуемую область фазового пространства для поиска стерильных нейтрино, включая область ($\sin^2(2\theta_{14}) \sim 0,25$, $\Delta m_{14}^2 \sim 7 \text{ эВ}^2$), где эксперимент NEUTRINO-4 сообщил о сигнале, а также получить более качественный спектр реакторных антинейтрино, что важно для решения проблемы спектральной аномалии.

Кроме того, планируется продолжить работы по созданию мини-спектрометра S³ (S-куб) объемом ~ 64 литра с улучшенными детектирующими элементами. Такой детектор будет регистрировать ~ 300 – 400 нейтрино в сутки и совместно с DANSS-2 поможет лучше понять систематику используемого метода измерений.

DANSS – относительно небольшая коллаборация. Работа на ядерном реакторе ограничивает возможности открытия проекта DANSS для более широкого международного сотрудничества или для его дистанционно управляемого исполнения.

Рекомендация. По сравнению с другими нейтринными экспериментами, эксперимент DANSS уникален своей способностью работать вблизи мощного ядерного реактора и давать данные высокой научной ценности с беспрецедентной статистикой. ПКК рекомендует продолжить проект DANSS в 2022–2024 годах с рейтингом А.

Проект νGeN (GEMMA)

ПКК заслушал доклад А. В. Лубашевского с предложением по продлению проекта νGeN (GEMMA), который выполняется группой ОИЯИ на Калининской АЭС. Измерения сосредоточены на поиске магнитного момента нейтрино и изучении таких свойств реакторных нейтрино, как когерентное упругое рассеяние нейтрино на ядре (процесс, который недавно был впервые идентифицирован с помощью нейтрино от ускорителя).

В эксперименте используются сверхчистые германиевые детекторы с низким порогом (200 эВ), с низким фоном 1 / (кэВ кг день), общей массой около 5,5 кг, размещенные на близком расстоянии от центра реактора, в потоке более

$5 \cdot 10^{13}$ антинейтрино / (см²·сек). Выгодными особенностями установки являются защита 50 м в. э. и передвижной спектрометр, позволяющий варьировать поток антинейтрино. Эксперимент находится на начальном этапе набора данных.

Рекомендация. Несмотря на задержки в реализации проекта и, как следствие, сниженном научном выходе, ПКК отмечает серьезные обязательства группы ОИЯИ и ее способность самостоятельно проводить исследования, а также потенциал проекта в условиях сильной международной конкуренции, в частности, по наблюдению когерентного рассеяния нейтрино. ПКК рекомендует продолжение и полное финансирование проекта ν GeN в 2022–2024 годах с рейтингом В.

Проект EDELWEISS-RICOCHET

ПКК заслушал доклад Е. А. Якушева о последних результатах эксперимента EDELWEISS и о продолжении его исследовательской программы с новыми криогенными детекторами HPGe-болометрами, которая будет расширена за счет включения исследований когерентного упругого рассеяния нейтрино на ядрах (Coherent Elastic Neutrino(ν)-Nucleus Scattering – CE ν NS). ПКК отмечает успешную разработку болометрических детекторов, которые позволят EDELWEISS-RICOCHET проводить высокоточные спектрометрические измерения вплоть до очень низких энергий (с энергетическим порогом ниже 100 эВ), где проявление новой физики в электрослабом секторе ожидается как искажение энергетического спектра ядер отдачи, вызванное CE ν NS.

Первый этап программы RICOCHET с крупномасштабным (кг-масштаба) экспериментом будет проводиться на исследовательском реакторе ILL (Гренобль, Франция). В то же время в EDELWEISS по-прежнему будут использоваться новейшие детекторы для прямого поиска частиц темной материи из галактического гало, в области малых масс WIMP (1 ГэВ/ c^2 и ниже), недоступной для больших экспериментов, использующих детекторы на сжиженных благородных газах (Ar / Xe).

ПКК с удовлетворением отмечает, что EDELWEISS-RICOCHET сосредоточен на решении интригующих проблем современной физики, добился лучших в мире результатов и сохраняет сильные конкурентные возможности.

Рекомендация. ПКК рекомендует продолжить исследовательскую программу EDELWEISS по прямому поиску частиц темной материи и расширить ее до проекта RICOCHET по прецизионному измерению $CE\nu NS$ в 2022–2024 годах с рейтингом А.

М. Левитович
Председатель ПКК
по ядерной физике

И. Церруя
Председатель ПКК
по физике частиц