

I. Введение

Председатель ПКК по ядерной физике В. В. Несвижевский представил сообщение о выполнении рекомендаций предыдущей сессии ПКК.

Вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев проинформировал ПКК о резолюции 133-й сессии Ученого совета (февраль 2023 года) и решениях Комитета полномочных представителей государств-членов ОИЯИ (март 2023 года).

ПКК с удовлетворением отметил, что рекомендации предыдущей сессии ПКК по исследованиям ОИЯИ в области ядерной физики были приняты Ученым советом и дирекцией ОИЯИ.

II. Открытие новых проектов в рамках продленной темы «Теория ядерных систем»

ПКК принял к сведению доклад Н. В. Антоненко о структуре продленной темы «Теория ядерных систем» (01-3-1136-2019), включающей в себя четыре проекта. ПКК заслушал предложения об открытии новых проектов «Низкоэнергетическая ядерная динамика и свойства ядерных систем», «Микроскопические модели для экзотических ядер и ядерной астрофизики», «Квантовые системы нескольких частиц», «Релятивистская ядерная динамика и нелинейные квантовые процессы», представленные руководителями проектов Н. В. Антоненко, А. А. Джигоевым, А. К. Мотовиловым и С. Г. Бондаренко.

ПКК высоко оценивает текущее состояние исследований в рамках темы и перспективы научных направлений в четырех проектах, предлагаемых к реализации в 2024–2028 годах: структурные особенности ядер, удаленных от линии стабильности, структура сверхтяжелых ядер, взаимодействие ядер при низких энергиях, динамика слияния и деления, астрофизические реакции, системы низкоэнергетических частиц, ядерная динамика при релятивистских энергиях, свойства горячей и плотной ядерной материи, нелинейные квантовые процессы в сильных поляризованных электромагнитных полях. ПКК также высоко оценивает связь теоретических исследований с экспериментальной программой ОИЯИ.

Рекомендация. ПКК рекомендует открыть четыре новых проекта: «Низкоэнергетическая ядерная динамика и свойства ядерных систем», «Микроскопические модели для экзотических ядер и ядерной астрофизики», «Квантовые системы нескольких частиц», «Релятивистская ядерная динамика и

нелинейные квантовые процессы» до конца 2028 года. ПКК поддерживает предложенную структуру продленной темы «Теория ядерных систем».

III. Предложения по продлению темы «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности» и открытие новых проектов в этой теме

ПКК заслушал доклад о продлении темы «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности» (03-5-1130-2017), представленный С. И. Сидорчуком. Основные направления научных исследований на период 2024–2030 годы в рамках темы связаны с изучением тяжелых и сверхтяжелых ядер и атомов, а также легких ядер вдали от линии β -стабильности. Исследования в области сверхтяжелых ядер будут направлены на синтез новых элементов таблицы Менделеева и их изотопов, изучение свойств радиоактивного распада методами ядерной спектроскопии (α -, β -, γ -спектроскопия), исследование химических свойств новых элементов, а также изучение механизмов ядерных реакций, ведущих к образованию новых, еще неизвестных ядер. Научная программа также включает в себя исследования структуры легких ядер на границе нуклонной стабильности и механизмов их образования.

В рамках данной темы открываются два проекта со сроками реализации 2024–2028 годы: «Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов» и «Легкие экзотические ядра вблизи границ ядерной стабильности».

ПКК заслушал доклад по проекту «Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов», представленный А. В. Карповым. Основными задачами проекта являются синтез и изучение ядерных и атомных (химических) свойств тяжелейших элементов, а также исследование механизмов ядерных реакций, ведущих к образованию таких элементов. Исследования в основном будут выполняться на Фабрике СТЭ ЛЯР ОИЯИ.

ПКК заслушал доклад по проекту «Легкие экзотические ядра вблизи границ ядерной стабильности», представленный Г. Каминским. Проект будет направлен на получение, а также на исследование структуры и свойств распада изотопов легких элементов, расположенных вблизи границ нуклонной стабильности. Исследования в этом направлении будут вестись на модернизированном ускорителе У-400М и фрагмент-сепараторе АКУЛИНА-2.

Рекомендация. ПКК высоко оценивает предложения ЛЯР по развитию исследований в области физики тяжелых ионов и рекомендует открыть два новых проекта «Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов» и «Легкие экзотические

ядра вблизи границ ядерной стабильности» до конца 2028 года. Для возможности открытия и реализации двух новых проектов, а также проведения других экспериментов в области физики тяжелых ионов ПКК рекомендует продлить тему «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности» сроком на 7 лет до конца 2030 года. Актуальными вопросами являются подготовка мишени и утилизация материала мишени.

IV. Крупный исследовательский инфраструктурный проект «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)» и открытие новых проектов в этом КИПе

ПКК заслушал отчет по теме «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)» и предложение о ее реформировании в крупный инфраструктурный проект (КИП), представленные И. В. Калагиным. В рамках данного КИПа открываются два проекта «Создание ускорительного комплекса У-400Р» и «Развитие экспериментальных установок для исследования химических и физических свойств сверхтяжелых элементов». Кроме того, в рамках проекта планируется завершение создания, ввод в эксплуатацию и развитие ускорительного комплекса ДЦ-140 для прикладных исследований. В проект также входит поддержка экспериментов, выполняемых на ускорительном комплексе ЛЯР, в том числе обеспечение требуемых параметров работы существующих ускорителей, повышение надежности работы ускорителей, развитие экспериментальных установок.

ПКК заслушал предложение об открытии нового проекта «Создание ускорительного комплекса У-400Р», представленное А. В. Ереминым. Проект включает в себя модернизацию существующего ускорителя У-400 в У-400Р, строительство нового экспериментального здания, создание новых установок комплекса.

ПКК заслушал предложение об открытии нового проекта «Развитие экспериментальных установок для исследования химических и физических свойств сверхтяжелых элементов», представленное А. В. Ереминым. Проект нацелен на реализацию задач по созданию новых экспериментальных установок Фабрики СТЭ, а именно: сепаратора для исследования химических свойств СТЭ GASSOL на базе газонаполненного сверхпроводящего соленоида и многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра для прецизионного измерения масс СТЭ.

Рекомендация. ПКК рекомендует преобразовать тему «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)» в крупный

инфраструктурный проект с тем же названием на период 2024–2030 годы. ПКК рекомендует открыть два новых проекта «Создание ускорительного комплекса У-400Р» и «Развитие экспериментальных установок для исследования химических и физических свойств сверхтяжелых элементов» до конца 2028 года.

V. Отчет по теме «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» и по проектам «TANGRA», «ЭНГРИН» и «Модернизация ЭГ-5». Предложения о продлении проектов «TANGRA» и «Модернизация ЭГ-5»

ПКК заслушал доклад об основных результатах, полученных за прошедший год в рамках темы «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» и проектов «Разработка и развитие метода меченых нейтронов для определения элементной структуры вещества и изучения ядерных реакций (TANGRA)», «Эмиссия нейтронов и гамма-квантов в реакциях, индуцированных нейтронами (ЭНГРИН)» и «Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры», представленный Ю. Н. Копачем. Научные исследования были сосредоточены в трех областях: 1) исследование нарушений фундаментальных симметрий во взаимодействиях нейтронов с ядрами, получение ядерных данных; 2) исследование фундаментальных свойств нейтрона, физика ультрахолодных и очень холодных нейтронов; 3) прикладные и методические исследования.

ПКК отмечает высокое качество полученных научных результатов и перспективы предлагаемой научной программы и принимает к сведению отчет о завершении работ в рамках проекта «ЭНГРИН» и темы «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона».

Рекомендация. ПКК рекомендует завершить проект «ЭНГРИН» и закрыть тему «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона».

VI. Предложения об открытии нового проекта «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» и новой темы «Нейтронная ядерная физика»

ПКК заслушал предложения об открытии нового проекта «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» и новой темы «Нейтронная ядерная физика», представленные В. Н. Швецовым. ПКК отмечает перспективность предложенной научной программы нового проекта «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» и программы, входящей в проект «TANGRA».

Усилия лаборатории должны быть направлены на исследования ядерных реакций с нейтронами, свойств нейтрона как элементарной частицы, эксперименты с ультрахолодными и очень холодными нейтронами и прикладные исследования с использованием нейтронных источников ЛНФ, таких как ИРЕН, ИБР-2, ЭГ-5, а также внешних источников нейтронов.

ПКК обращает внимание дирекций ЛНФ и ОИЯИ на важность доведения до проектных параметров ускорителя ЭГ-5 и введения его в эксплуатацию. ПКК поддерживает выделение в рамках этой темы «активности», нацеленной на разработку концепции источника УХН на импульсном реакторе и создание прототипа такого источника на ИБР-2.

Рекомендация. ПКК рекомендует открыть новый проект «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» сроком на 5 лет до конца 2028 года. ПКК также рекомендует продлить проект «TANGRA» сроком на 5 лет до конца 2028 года и проект «Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры» сроком на 3 года до конца 2026 года. В связи с предложениями об открытии нового проекта, о продлении сроков двух других проектов, а также о выделении в теме статуса «активности», ПКК рекомендует открыть новую тему «Нейтронная ядерная физика» сроком на 7 лет до конца 2030 года.

VII. Проект «БЕККЕРЕЛЬ2023»

ПКК заслушал предложение о продлении проекта «БЕККЕРЕЛЬ2023» на ускорительном комплексе Нуклотрон-NICA для исследования периферических взаимодействий релятивистских ядер, представленное П. И. Зарубиным. Проект сфокусирован на поиске α -частичного конденсата Бозе–Эйнштейна (α БЕС). Для легких ядер, в том числе радиоактивных, апробирована идентификация по инвариантной массе распадов ${}^8\text{Be} \rightarrow 2\alpha$, ${}^9\text{Be} \rightarrow 2\alpha$ и ${}^{12}\text{C}(0^+_{2}) \rightarrow {}^8\text{Be}\alpha$ (состояние Хойла). Тенденция к росту ${}^8\text{Be}$ с числом α -частиц, а также ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}(0^+_{2})$, недавно обнаруженная для средних и тяжелых ядер, указывает на возможность синтеза 4α БЕС. В продолжение исследований с легкими ядрами в диссоциации ${}^9\text{Be}$ и ${}^{10}\text{C}$ ведется поиск изобар-аналоговых состояний ${}^8\text{Be}$ и ${}^9\text{B}$.

В декабре 2022 года в результате облучения ядерной эмульсии ядрами ${}^{124}\text{Xe}$ с энергией 3,8 ГэВ/нуклон был получен материал для анализа множественных состояний α -частиц и нуклонов. В целом сочетание классических ядерных методик и применение моторизованного микроскопа позволяет развить в ОИЯИ исследования с

релятивистскими радиоактивными изотопами за счет привлечения к этому проекту молодых ученых.

Рекомендация. ПКК рекомендует продлить работы по проекту «БЕККЕРЕЛЬ2023» в статусе «активность».

VIII. Предложение о продлении проекта «Э&Т&РМ» с новым названием «ADSR»

ПКК принял к сведению отчет о проекте «Э&Т&РМ» и предложение о его продлении с новым названием «Подкритический реактор с ускорительным приводом (ADSR)», представленные М. М. Параипан. Проект нацелен на развитие новых принципов моделирования режимов подкритических систем, управляемых ускорителями, являющихся источниками нейтронов для широкого круга исследований в области ядерной физики. ПКК отмечает, что наряду с известными ранее представлениями об оптимальных методах управления ADS-системами с использованием пучков протонов с энергией порядка 1–1,5 ГэВ, показано, что пучки более тяжелых ионов имеют энергетическую эффективность выше, чем протоны. Исследования в рамках проекта будут направлены на изучение условий, при которых достигается максимальная энергетическая эффективность ADS-систем и обеспечивается высокий выход. ПКК приветствует проработку двух возможных вариантов мишени для систем ADS: свинцовый блок (цилиндр или параллелепипед, пустой в центре, с отверстиями для твэлов, расположенными концентрическими слоями) и графитовая мишень в виде параллелепипеда уменьшенных размеров.

Рекомендация. ПКК высоко оценивает работы, выполненные в течение предыдущего периода реализации проекта, и поддерживает его продление на период 2024–2027 годы с обновленным содержанием и названием «Подкритический реактор с ускорительным приводом (ADSR)».

IX. Проект «Исследование спиновой структуры нуклонов в сильных и электромагнитных взаимодействиях (GDH&SPASCHARM&NN)»

ПКК заслушал подробный отчет по проекту «Исследование спиновой структуры нуклонов в сильных и электромагнитных взаимодействиях (GDH&SPASCHARM&NN)» и предложение о его продлении, представленные Ю. А. Плисом. Проект включает в себя три независимых эксперимента, связанных с изучением спиновой структуры нуклона в сильных и электромагнитных взаимодействиях:

– эксперименты с пучком фотонов на микротроне MAMI в Майнце и ELSA в Бонне: фоторождение мезонов на нуклонах и ядрах и комптоновское рассеяние на нуклонах с целью экспериментального подтверждения правила сумм Герасимова–Дрелла–Хирна (GDH);

– эксперименты по исследованию односпиновых асимметрий при рождении различных легких частиц с использованием пучка пионов с энергией 28 ГэВ и изучение спиновой структуры протона с использованием поляризованного протонного пучка (проект SPASCHARM) на ускорителе У-70 (ИФВЭ, Протвино);

– эксперименты по трансмиссии нейтронов через поляризованную дейтронную мишень при энергиях нейтронов <16 МэВ для измерения $\Delta\sigma_T$ и $\Delta\sigma_L$, где теория предсказывает существенный эффект трехнуклонных сил (3NF).

В декабре 2022 года проведен методический сеанс на поляризованной мишени в ИФВЭ (Протвино) с целью определения состояния аппаратуры для последующей работы на пучке. За отчетный период проводилась работа по обработке полученных физических данных на ускорителях MAMI и ELSA. Проведена обработка результатов экспериментов на установке источника поляризованных дейтронов в Чешском техническом университете в Праге и подготовлена публикация.

Рекомендация. ПКК рекомендует продлить проект «Исследование спиновой структуры нуклонов в сильных и электромагнитных взаимодействиях (GDH&SPASCHARM&NN)» до конца 2028 года.

Х. Проект «Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины»

ПКК заслушал предложение об открытии нового проекта «Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины», представленное А. Баймухановой. Научные исследования в проекте посвящены развитию методов ядерной спектроскопии и радиохимии для изучения редких явлений, связанных со слабым взаимодействием и рядом задач астрофизики, а также с разработкой радиофармпрепаратов и их применением в ядерной медицине. В рамках проекта выделяются следующие направления работ: создание новых детекторов; «постраспадная» спектроскопия электронов высокого разрешения с акцентом на предельно низкие энергии; гамма-спектроскопия на полупроводниковых детекторах; разработка методов получения и очистки радионуклидных препаратов для синтеза радиофармпрепаратов; разработка и применение методов и методик для получения и

анализа низкофоновых материалов с уникально низким содержанием радиоактивных примесей.

Рекомендация. ПКК рекомендует открыть новый проект «Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины» до конца 2028 года.

XI. Проект «Исследования реакторных нейтрино на короткой базе»

ПКК заслушал предложение об открытии нового проекта «Исследования реакторных нейтрино на короткой базе», представленное И. В. Житниковым. Проект с участием ОИЯИ объединяет исследования фундаментальных свойств нейтрино в экспериментах DANSS, ν GeN и Ricochet, нацеленных на решение следующих основных научных задач:

– поиск и исследование когерентного рассеяния реакторных антинейтрино на ядрах с помощью низкороговых германиевых детекторов (ν GeN) и криогенных детекторов (Ricochet);

– поиск магнитного момента нейтрино (ν GeN и Ricochet);

– поиск короткопробежных осцилляций реакторных антинейтрино с помощью сильно сегментированного детектора из пластмассового сцинтиллятора и дистанционный мониторинг работы ядерного реактора по измеряемому потоку антинейтрино (DANSS, DANSS-2).

Участники предлагаемого проекта располагают всеми необходимым знаниями, а также многолетним опытом работы по изучению свойств нейтрино как в реакторных, так и в низкофоновых экспериментах.

Рекомендации. ПКК рекомендует открыть новый проект «Исследования реакторных нейтрино на короткой базе» до конца 2028 года.

XII. Проект «Ядерная спектрометрия для поиска и исследования редких явлений»

ПКК заслушал предложение об открытии нового проекта «Ядерная спектрометрия для поиска и исследования редких явлений», представленное Е. А. Якушевым. Проект объединяет исследования фундаментальных свойств нейтрино и поиск частиц темной материи в экспериментах с участием ОИЯИ:

– LEGEND (Large Enriched Germanium Experiment for Neutrinoless double beta-Decay);

– TGV (Telescope Germanium Vertical);

– SuperNEMO (Neutrino Ettore Majorana Observatory);

- MONUMENT (Muon Ordinary capture for the NUclear Matrix elemENTS);
- EDELWEISS (Expérience pour Détecter Les WIMP En Site Souterrain).

Перечисленные эксперименты нацелены на решение следующих основных научных задач:

- поиск и исследование двойного безнейтринного бета-распада с помощью детекторов из обогащенного германия ^{76}Ge (LEGEND), высокочистых германиевых детекторов (спектрометр TGV), а также применение треко-калориметрической методики (SuperNEMO);

- проведение измерений мюонного захвата на нескольких дочерних ядрах (по отношению к кандидатам на $0\nu 2\beta$ -распад) (MONUMENT);

- прямой поиск частиц темной материи с помощью массива монокристаллических германиевых детекторов-болометров (EDELWEISS).

Указанные эксперименты имеют общую сферу исследований – нейтринная физика и поиск темной материи, во многом совпадающие научные проблемы. Объединение проводимых и планируемых работ в единый проект позволит сконцентрировать имеющиеся ресурсы, улучшить организацию исследований и заложить надежную основу проведения экспериментов следующего поколения.

Рекомендация. ПКК отмечает значительный вклад научных групп ОИЯИ в данные эксперименты и рекомендует открыть новый проект «Ядерная спектроскопия для поиска и исследования редких явлений» до конца 2028 года.

XIII. Крупный инфраструктурный проект «БАЙКАЛ-ГВД»

ПКК заслушал отчет о ходе выполнения проекта «БАЙКАЛ-ГВД» и предложение о его продлении, представленные И. А. Белолаптиковым. Проект реализуется в рамках темы «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика».

Представленный гигатонный нейтринный детектор БАЙКАЛ-ГВД, крупнейший действующий нейтринный телескоп в Северном полушарии, представляет собой инфраструктуру, направленную, в первую очередь, на изучение потоков астрофизических нейтрино. В детекторе используется вода озера Байкал, на глубине которого установлены оптические сенсоры, регистрирующие черенковское излучение вторичных частиц, образующихся при взаимодействии нейтрино высоких энергий внутри наблюдаемого объема. В течение 2016–2023 годов коллаборация БАЙКАЛ развернула 12 полномасштабных кластеров с 3500 оптическими модулями. Анализ полученных за 2018–2021 годы данных впервые подтверждает наблюдение в

эксперименте IceCube астрофизического потока диффузных нейтрино со значимостью 3σ , что действительно является многообещающим результатом.

Текущие темпы производства и размещения на Байкале дополнительных кластеров к 2028 году позволят достичь объема наблюдения в 1 км^3 для регистрации астрофизических нейтрино высоких энергий с помощью около 6000 оптических модулей. ПКК подчеркивает важную роль, которую играет проект «БАЙКАЛ-ГВД» совместно с экспериментом IceCube для изучения потока высокоэнергетических нейтрино. ПКК отмечает важность развития и поддержания береговой базы проекта.

Рекомендация. ПКК высоко оценивает научную значимость проекта «БАЙКАЛ-ГВД» и ведущую роль ОИЯИ в его реализации. ПКК рекомендует продлить проект «БАЙКАЛ-ГВД» в качестве крупного инфраструктурного проекта до конца 2028 года.

XIV. Следующая сессия ПКК

Следующая сессия ПКК по ядерной физике состоится 29–30 января 2024 года.

Предварительная программа сессии включает следующие вопросы:

- отчеты и рекомендации по темам и проектам, завершаемым в 2024 году;
- научные доклады;
- стендовые доклады молодых ученых, посвященные новым результатам и проектам в области исследований по ядерной физике.

В. В. Несвижевский
председатель ПКК
по ядерной физике

Н. К. Скобелев
ученый секретарь ПКК
по ядерной физике