

**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 134-й сессии Ученого совета (сентябрь 2023 года) и решениях Комитета полномочных представителей государств-членов ОИЯИ (ноябрь 2023 года).

Главный ученый секретарь ОИЯИ С. Н. Неделько представил принятый на КПП ОИЯИ Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 годы, в который включены основные темы и проекты исследований и развития инфраструктуры ОИЯИ на этот период.

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

**II. О планах работ научным исследованиям и развитию инфраструктуры лабораторий ОИЯИ в области ядерной физики в рамках тем и проектов на 2024 год*****Тема «Нейтронная ядерная физика» и состояние проектов в рамках темы***

ПКК с интересом заслушал доклад о плане работ в рамках темы «Нейтронная ядерная физика» и ее проектов на 2024 год, представленный Е. В. Лычагиным.

Научная программа темы «Нейтронная ядерная физика» будет реализовываться в рамках трех проектов: двух научных («Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» и «TANGRA») и одного научно-технического («Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры»). Работы по созданию концепции источника УХН на импульсном реакторе выделены в активность темы.

В рамках проекта «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» планируется возобновление измерений угловых корреляций и выходов  $\gamma$ -квантов для уже известных  $p$ -волновых резонансов в различных ядрах, а также поиск новых  $p$ -резонансов и новых эффектов, указывающих на нарушение четности и Т-инвариантности. Основные работы предполагается проводить на источнике резонансных нейтронов ИРЕН.

В 2024 году планируется выполнить исследование резонансного захвата нейтронов на  $^{176}\text{Lu}$  и  $^{177}\text{Lu}$  в диапазоне энергий нейтронов 1–300 эВ. Целью эксперимента является изучение влияния кориолисового взаимодействия на структуру ядерно-возбужденных состояний. Измерения планируется проводить на резонансном источнике нейтронов ИРЕН и в Китае на установке CSNS (China Spallation Neutron Source).

Будут продолжены исследования редких мод деления (тройного, четверного и пятерного) ядер  $^{233}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$  под действием тепловых нейтронов. Измерения предполагается проводить на ядерном исследовательском реакторе ВВР-К (Казахстан).

В 2024 году запланировано проведение измерений сечений реакции ( $n$ ,  $\alpha$ ) на газовых образцах Ar, F, O, Ne на ЭГ-5 ЛНФ ОИЯИ ( $E_n=3\text{--}5$  МэВ) и на тандем-ускорителе НИ-13 CIAE ( $E_n=8\text{--}11$  МэВ).

Проект «TANGRA» посвящен решению фундаментальных и прикладных задач с применением метода меченых нейтронов. Областью интереса проекта являются ядерные реакции, происходящие под действием нейтронов с энергией около 14 МэВ. Основные направления исследований в 2024 году:

- планируется измерить сечения реакций ( $n$ ,  $x\gamma$ ) на 22 элементах. Эта информация необходима для элементного анализа, моделирования ядерных установок методом Монте-Карло и проверки теоретических расчетов;

- планируется измерить угловые корреляции нейтронов и  $\gamma$ -квантов в неупругом рассеянии нейтронов на углероде. Эксперименты по изучению корреляций ( $n$ ,  $n'$ ,  $\gamma$ ) важны для понимания механизма реакций ( $n$ ,  $n'$ );

- в сотрудничестве с ООО «Диамант» будет продолжена разработка методики элементного анализа почв. Планируется сборка и тестирование прототипа полевой установки.

В рамках проекта «Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры» планируется замена высоковольтной системы установки ЭГ-5, основным результатом которой станет повышение тока ионного пучка с 2–3 мкА до 100–250 мкА при сохранении его энергетической и пространственной стабильности.

ПКК отмечает перспективность предложенной научной программы в рамках темы «Нейтронная ядерная физика» и ее проектов.

Рекомендация. ПКК поддерживает реализацию научной программы на 2024 год, предложенной в рамках темы «Нейтронная ядерная физика» и проектов «TANGRA», «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» и

«Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры», а также *активности в теме*, нацеленной на разработку концепции источника УХН на импульсном реакторе ИБР-2.

**Тема «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности» и проекты в рамках темы**

ПКК с интересом заслушал доклад о планах исследований на пучках тяжелых ионов в ЛЯР на 2024 год, представленный С. И. Сидорчуком. Научная программа будет реализовываться в рамках двух проектов: «Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов» и «Легкие экзотические ядра на границах нуклонной стабильности».

По проекту «Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов» на Фабрике СТЭ основное внимание уделено решению следующих задач:

– будет продолжен эксперимент  $^{54}\text{Cr}+^{238}\text{U}$ , имеющий исключительно важное значение для подготовки синтеза новых сверхтяжелых элементов с номерами 119 и 120. Ранее в этом эксперименте, начатом в 2023 году, наблюдалось 2 события синтеза нового изотопа  $^{288}\text{Lv}$ . Оценка сечения образования  $^{288}\text{Lv}$  в реакции на пучке  $^{54}\text{Cr}$  примерно на два порядка ниже, чем в реакции на  $^{48}\text{Ca}$ , что указывает на проблемы использования пучков ионов тяжелее  $^{48}\text{Ca}$  для синтеза сверхтяжелых элементов, которые были выявлены при изучении реакций квазиделения;

– планируется подготовить и провести первые эксперименты по спектроскопии изотопов сверхтяжелых элементов, образующихся в реакции  $^{48}\text{Ca}+^{242}\text{Pu}$ . Эксперимент будет выполнен на сепараторе GRAND и детектирующей установке GABRIELA-2 с пятью  $\gamma$ -детекторами клаверного типа из сверхчистого германия. Ожидается наблюдение  $\alpha$ -распада четно-четного ядра  $^{286}\text{Fl}$  на первое возбужденное состояние  $^{282}\text{Cn}$ , которое может иметь ротационную природу. Данный эксперимент открывает возможности для оценки деформаций ядер, расположенных в районе острова стабильности СТЭ;

– продолжится развитие и тестирование установки для исследования химических свойств СТЭ методом термохроматографии. Основные усилия будут направлены на повышение эффективности и скорости экстракции атомов СТЭ из стоп-камеры и транспортировки их к детектирующей системе. Первоочередная цель создания установки – проведение экспериментов по химии элементов Cn и Fl с высокой статистикой.

На установке CORSET основное внимание будет уделено исследованию динамики протекания реакций многонуклонных передач с образованием двух или более двух тяжелых продуктов в выходном канале.

Основной задачей проекта «Легкие экзотические ядра на границах нуклонной стабильности» в 2024 году станет подготовка и проведение первых экспериментов по исследованию структуры легких ядер, расположенных вблизи границ нуклонной стабильности на фрагмент-сепараторах АКУЛИНА и АКУЛИНА-2 модернизированного ускорителя У-400М. Пуск ускорителя ожидается во втором квартале 2024 года.

В 2024 году исследования будут сфокусированы на изучении структуры тяжелых изотопов гелия  ${}^6,7\text{He}$ , а также механизмов реакций, ведущих к образованию несвязанных экзотических систем, таких как  $4n$ . В частности, будет проведено исследование упругого и неупругого рассеяния  ${}^6\text{He}$  на ядре  ${}^4\text{He}$  в широком диапазоне углов в системе центра масс, включающем рассеяние в заднюю полусферу, соответствующее передаче двух нейтронов. Эта реакция открывает серию исследований структуры нейтроноизбыточных ядер и механизма реакций передачи нейтронов на вторичных пучках изотопов гелия и бериллия. В рамках исследований механизмов квазибинарных реакций передачи с образованием несвязанных состояний, подобных  ${}^7\text{H}$  и  $4n$ , будут проведены эксперименты по изучению состояний систем  ${}^5\text{H}$  и  $2n$  в реакциях  ${}^2\text{H}({}^6\text{He}, {}^6\text{Li})2n$  и  ${}^2\text{H}({}^6\text{He}, {}^3\text{He}){}^5\text{H}$ .

Рекомендация. ПКК поддерживает научно-технические программы на 2024 год по теме «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности», как они были представлены на текущем заседании ПКК, в сравнении с программами, представленными 6 месяцев назад, и продолжение работ по проектам «Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов» и «Легкие экзотические ядра на границах нуклонной стабильности». ПКК рекомендует детально изучить теоретически возможный канал реакции  $r_{pn}$ , в котором образуются СТЭ, наиболее близкие к острову стабильности, а также в областях масс, удаленных от острова стабильности, и проверить чувствительность регистрации образующихся ядер в таких каналах с помощью существующего масс-спектрометра и имплантационных детекторов.

### ***Крупная научно-исследовательская инфраструктура ОИЯИ «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)»***

ПКК с интересом заслушал доклад о развитии ускорительной и экспериментальной базы ЛЯР, представленный В. А. Семиным. Основные усилия в рамках проекта в 2024 году будут направлены на:

– обеспечение пучками с требуемыми характеристиками для реализации программы экспериментальных исследований ЛЯР на действующих ускорительных комплексах ДЦ-280 (Фабрика СТЭ) и У-400;

– завершение модернизации и проведение пусконаладочных работ на ускорителе У-400М. Обеспечение выполнения первых экспериментов на пучках радиоактивных ядер;

– завершение создания комплекса ДЦ-140 для проведения прикладных исследований на пучках тяжелых ионов.

В рамках проекта «Создание ускорительного комплекса У-400Р» продолжится техническая проработка узлов модернизируемого ускорителя У-400, сооружение нового экспериментального зала, а также работа над проектами новых экспериментальных установок для размещения в этом экспериментальном зале. Остановка ускорителя У-400 и начало его модернизации планируется на вторую половину 2024 года.

Проект «Развитие экспериментальных установок для исследования химических и физических свойств сверхтяжелых элементов» направлен на создание многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра и пресепаратора GASSOL на базе газонаполненного сверхпроводящего солениода. В 2024 году ожидается разработка рабочей конструкторской документации масс-спектрометра, а также завершение изготовления и доставка в ОИЯИ пресепаратора GASSOL.

Рекомендация. ПКК рекомендует одобрить представленную программу работ на 2024 год по развитию ускорительной и экспериментальной базы ЛЯР в рамках крупной научно-исследовательской инфраструктуры ОИЯИ «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)».

### **III. Исследования по ядерной физике в ЛЯП им. В. П. Джелепова**

ПКК с интересом заслушал обзор научной программы по ядерной физике в ЛЯП, представленный Е. А. Якушевым. Направления ядерно-физических исследований в лаборатории включают как классическую спектрометрию радиоактивных изотопов, так и исследование различных редких явлений методами ядерной физики. В раздел

«Ядерная физика» ПТП ОИЯИ входит одна из основных научных тем ЛЯП: «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика», которая нацелена на поиск доказательств существования новой физики за пределами Стандартной модели. Основные направления темы: исследование двойного  $\beta$ -распада различными калориметрическими и трекокалориметрическими методами, изучение свойств нейтрино от разных источников, поиск темной материи и др. Значительная часть научной программы лаборатории посвящена исследованию процессов внутри активной зоны ядерного реактора с помощью нейтрино. В рамках темы реализуются три проекта: «Ядерная спектрометрия для поиска и исследования редких явлений», «Исследование реакторных нейтрино на короткой базе» и «Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины». Проекты дополняют друг друга, поскольку их реализация связана общими подходами и ресурсами.

Значительная часть персонала лаборатории, занятого в программе по ядерной физике, вовлечена в строительство и ввод в эксплуатацию Байкальского глубоководного нейтринного телескопа (Baikal-GVD), который относится к крупной научно-исследовательской инфраструктуре ОИЯИ.

В 2024 году лаборатория планирует ввести в эксплуатацию две новые установки: ускоритель электронов LINAC-200/800 и работающий с ним в тандеме спектрометрический кластер. Лаборатория расширяет радиохимические исследования за счет новых подходов: ICP-MS и мессбауэровская спектрометрия. Эти подходы необходимы для разработки чистых материалов для нейтринных исследований, а также для изучения радиофармацевтических препаратов и их прекурсоров. Лаборатория разрабатывает экспериментальные методики и проводит прикладные исследования с монохроматическими позитронными пучками. В процессе создания находится новая установка – протонный циклотрон MSC-230 для нового научно-клинического центра протонной терапии.

ПКК отмечает, что в ЛЯП применяется широкий спектр методов ядерной физики для создания и проведения экспериментов и получения физических результатов, находящихся на переднем крае современной науки.

Рекомендации. ПКК рекомендует продолжить поддержку реализации научной программы ЛЯП по ядерной физике. ПКК подчеркивает важность усилий по дальнейшему совершенствованию экспериментальной базы в ОИЯИ и одобряет представленные планы на 2024 год по вводу в эксплуатацию новых базовых установок лаборатории.

#### **IV. Научные доклады**

ПКК с интересом заслушал доклады: «О проверке Т-инвариантности в полном сечении взаимодействия нейтронов с неполяризованными ядрами с применением теоремы “поляризация–асимметрия”», представленный В. Р. Скоем, и «Исследование свойств и применение наноалмазных отражателей нейтронов низких энергий», представленный А. Ю. Незвановым. ПКК поддерживает продолжение этих исследований.

#### **V. Короткие презентации молодых ученых**

ПКК заслушал 9 коротких докладов о новых результатах и проектах молодых ученых из ЛНФ им. И. М. Франка в области ядерной физики. Были отмечены три лучших доклада: «Усиленное направленное извлечение очень холодных нейтронов с помощью отражателя из порошка алмазных наночастиц», представленный А. Ю. Незвановым, «Накопление и распределение хрома, никеля и цинка в корнеплодах и листовых овощах, орошаемых промышленными стоками – лабораторное исследование», представленный А. В. Кравцовой, и «Экспериментальная установка для элементного анализа с использованием мгновенных  $\gamma$ -квантов на реакторе ИБР-2», представленный К. Храмко.

ПКК рекомендует доклад «Усиленное направленное извлечение очень холодных нейтронов с помощью отражателя из порошка алмазных наночастиц» для представления на сессии Ученого совета ОИЯИ в феврале 2024 года.

#### **VI. Общие рекомендации**

ПКК рекомендует улучшить межлабораторные связи ЛЯР, ЛЯП и ЛНФ с ЛТФ по темам и направлениям, представляющим взаимный интерес, для повышения экспериментальных и теоретических результатов исследований. ПКК рекомендует привлекать ученых ЛТФ к проектам исследований в ЛЯР, ЛЯП и ЛНФ, а также проводить совместные семинары экспериментаторов и теоретиков.

ПКК хотел бы услышать научные доклады о развитии/применении радиохимических исследований в лабораториях ОИЯИ, в том числе о производстве радиоизотопов для экологии и медицины и применении ядерных методов и связанных с ними аналитических методов для исследования объектов культурного наследия.

## **VII. Посещение ЛЯР**

Члены ПКК благодарят дирекцию Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова за организацию посещения лаборатории.

## **VIII. Следующая сессия ПКК**

Следующая сессия ПКК по ядерной физике состоится 13–14 июня 2024 года.

Предварительная программа сессии включает следующие вопросы:

- отчеты и рекомендации по темам и проектам, завершаемым в 2025 году;
- статус Фабрики СТЭ и ее научная программа;
- результаты экспериментов (полностью завершенных и обработанных) на фрагмент-сепараторе АКУЛИНА-2;
- рассмотрение новых экспериментов и проектов;
- научные доклады;
- короткие сообщения 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