

**I. Введение**

Председатель ПКК по ядерной физике М. Левитович представил сообщение о выполнении рекомендаций предыдущей сессии ПКК.

Вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев проинформировал ПКК о резолюции 130-й сессии Ученого совета (сентябрь 2021 года) и решениях Комитета полномочных представителей государств-членов ОИЯИ (ноябрь 2021 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. Отчет по завершаемой теме «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» и предложение по ее продлению**

ПКК с интересом заслушал отчет о выполнении темы «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» за 2020–2022 годы, представленный Е. В. Лычагиным, и предложение по ее продлению до конца 2023 года. В рамках темы реализуются три проекта: ТАНГРА (выполняется с 2017 года), ЭНГРИН (выполняется с 2022 года), модернизация ЭГ-5 (выполняется с 2022 года).

В изучении ядерных реакций, вызванных нейтронами, был проведен детальный анализ результатов ранее выполненных измерений Р-четной и Т-нечетной корреляции в делении компаунд-ядра  $^{236}\text{U}$  при энергиях нейтронов 0,06 эВ и 0,27 эВ, что позволило впервые сравнить углы поворота оси деления при разных энергиях нейтронов.

В рамках проекта ТАНГРА с использованием детектирующей системы «Ромаша», состоящей из 18 BGO-детекторов и HPGe-детектора, были измерены угловые распределения и выходы гамма-квантов в реакции  $(n, n'\gamma)$  для нейтронов с энергией 14 МэВ для ядер C, O, Mg, Al, Si, Cr и Fe.

Совместно с физиками из Чешского технического университета в Праге были проведены измерения редких мод спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$  с высокоактивным образцом (~400 кБк). Для регистрации легких частиц использовались детекторы Timerix с модернизированными электронными платами. Основной целью исследования было обнаружить четверное деление  $^{252}\text{Cf}$ . Набор статистики в течение 2-х месяцев измерений позволил уверенно выделить в тройном делении р,

d, t,  $\alpha$ , Li, Be, B и C в качестве легчайшей частицы (ядра) и спектры регистрируемых частиц (p, d, t,  $\alpha$ ). Кластерные разрешающие способности детектора Timerix позволяют легко отделить пары ( $\alpha$ ,  $\alpha$ ) и ( $\alpha$ , t) от четверного деления.

Продолжено исследование нестационарных процессов взаимодействия медленных нейтронов на примере отражения от бегущей поверхностной волны. Значительный прогресс достигнут в разработке первых эффективных отражателей медленных нейтронов на основе порошков наноалмазов.

Широким фронтом велись работы с использованием различных ядерно-физических методик для решения задач экологии, материаловедения, археологии, искусствovedения, медицины, исследований объектов внеземного происхождения и пр. Данные исследования проводились в сотрудничестве с большим числом ученых из исследовательских центров стран-участниц ОИЯИ. В частности, осуществляется сотрудничество с Институтом археологии РАН, Государственным институтом искусствознания, Музейно-выставочным комплексом «Волоколамский кремль», музеем Дубны.

ПКК были представлены научные и методические направления исследований по продолжению темы. В частности, в 2023 году планируется:

- провести измерение спектров гамма-квантов в s- и p-резонансах, нацеленное на поиск P-четных и T-нечетных эффектов в реакциях с медленными поляризованными нейтронами;
- получить данные для ядерной энергетики и астрофизики;
- измерить интегральные и дифференциальные нейтронные сечения, угловые корреляции в диапазоне энергии от холодных нейтронов до  $\sim 1$  ГэВ;
- измерить массово-энергетические и угловые распределения осколков, нейтронов и гамма-квантов деления;
- провести поиск редких мод деления;
- измерить сечения и угловые корреляции в реакциях  $(n, n'\gamma)$  и  $(n, 2n)$  при взаимодействии быстрых нейтронов с ядрами (проект ТАНГРА).

В 2023 году планируется отработать методику эксперимента по измерению времени жизни нейтрона на выведенных пучках реактора ИБР-2 и ИРЕН (пучковый, оригинальный метод) и исследованию нестационарных квантовых эффектов и моделей взаимодействия медленных нейтронов с алмазными наноструктурами.

В Лаборатории нейтронной физики в 2023 году будут продолжены методические работы по следующим направлениям:

– модернизация электростатического генератора ЭГ-5, расширение инструментальной базы ускорительного комплекса;

– подготовка тестового эксперимента с временной фокусировкой ультрахолодных нейтронов (УХН) на ИБР-2;

– создание и развитие нейтронных и гамма-детекторов для космических аппаратов;

– определение элементного состава и поверхностных структур различных образцов ядерно-физическими методами для решения задач материаловедения, экологии, истории, археологии, реставрации и наук о жизни, а также создание методики гамма-активационного анализа и анализа по мгновенным гамма-квантам для ИРЕН и др.

ПКК признает важное участие Лаборатории нейтронной физики в разработке нового источника нейтронов в ОИЯИ; предлагает активно развивать научную программу, а также инструментальную базу в области ядерной физики для нового источника.

Рекомендация. ПКК принял к сведению отчет по теме «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» за 2020–2022 годы. ПКК высоко оценивает достигнутые результаты и множество новых идей, появившихся в ЛНФ за последние годы. В частности, экспериментальные исследования временной фокусировки нейтронов и наноалмазных отражателей важны для разработки и внедрения приборов на основе источников УХН. ПКК рекомендует продлить тему до конца 2023 года с первым приоритетом для дальнейших исследований в области ядерной физики с использованием нейтронных установок ЛНФ.

### **III. Новые данные по экспериментам на Фабрике СТЭ**

ПКК с большим интересом заслушал доклад о новых данных по экспериментам на Фабрике СТЭ, представленный Н. Д. Коврижных. В 2021 году проведены три серии экспериментов на новом газонаполненном сепараторе ГНС-2 Фабрики СТЭ. Реакции слияния изотопов  $^{243}\text{Am}$ ,  $^{242}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{U}$  с ускоренными ионами  $^{48}\text{Ca}$  на циклотроне ДЦ-280 были использованы для определения параметров этого нового сепаратора и возможностей продолжения исследований сверхтяжелых ядер на более высоком уровне чувствительности, что позволило продолжить детальное изучение свойств изотопов Mc, Fl, Sn и их дочерних ядер.

В реакции слияния  $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$  при пяти значениях энергии  $^{48}\text{Ca}$  с интенсивностью до 1,3 мкА·частиц были синтезированы 6 новых цепочек  $^{289}\text{Mc}$  (2n-

канал), 58 цепочек  $^{288}\text{Mc}$  (3n-канал), две цепочки  $^{287}\text{Mc}$  (4n-канал) и получен новый изотоп  $^{286}\text{Mc}$  (5n-канал). В предыдущих экспериментах изотоп  $^{287}\text{Mc}$  наблюдался только в трех цепочках, а дочернее ядро  $^{286}\text{Mc}$  — в двух цепочках.

Впервые обнаружен  $\alpha$ -распад  $^{268}\text{Db}$ , измерена его ветвь и период полураспада, а также получен новый изотоп  $^{264}\text{Lr}$ . Впервые зарегистрировано спонтанное деление ядра  $^{279}\text{Rg}$ . В ходе экспериментов было показано, что трансмиссия ГНС-2 в два раза выше, чем ГНС-1.

В эксперименте с  $^{242}\text{Pu}$  интенсивность пучка  $^{48}\text{Ca}$  достигала 3 мкА·частиц, при двух значениях энергии  $^{48}\text{Ca}$  синтезировано 25 и 69 цепочек распада  $^{286}\text{Fl}$  и  $^{287}\text{Fl}$  соответственно. Сечение их образования оказалось также в два раза выше прежних значений. При облучении мишени  $^{238}\text{U}$  интенсивность  $^{48}\text{Ca}$  достигала 6,5 мкА·частиц. В течение сентября–октября 2021 года получено 16 цепочек распада ядра  $^{283}\text{Sn}$ .

Во всей серии экспериментов зарегистрировано 177 цепочек распада изотопов Mc, Fl и Sn, более точно определены свойства распада около 30 изотопов элементов от Rf до Mc, измерены сечения реакций полного слияния при разных энергиях  $^{48}\text{Ca}$ .

ПКК отмечает, что новый газонаполненный сепаратор ГНС-2, протестированный в работе на пучке ускоренных ионов  $^{48}\text{Ca}$  и с разными трансурановыми мишенями, эксплуатируется с проектными параметрами, что позволяет проводить новые эксперименты по изучению сверхтяжелых ядер на более высоком уровне чувствительности.

Рекомендация. ПКК с интересом заслушал информацию о новых данных по экспериментам на Фабрике СТЭ. Комитет поздравляет коллектив ЛЯР с впечатляющими результатами, полученными на Фабрике СТЭ по синтезу сверхтяжелых ядер и изучению их распада. ПКК предлагает дирекции ЛЯР как можно скорее опубликовать первые результаты этих экспериментов.

#### **IV. Научный доклад «Ширина двойного $\gamma$ -распада ядерного состояния $2^+_1$ »**

ПКК с интересом заслушал научный доклад «Ширина двойного  $\gamma$ -распада ядерного состояния  $2^+_1$ », представленный А. П. Северюхиным. В докладе рассмотрена ситуация, в которой двойной  $\gamma$ -распад нижайшего квадрупольного состояния ядра происходит в условиях конкуренции с одинарным  $\gamma$ -распадом. Процесс  $\gamma\gamma$ -распада является формально аналогичным безнейтринному процессу двойного  $\beta$ -распада, где в последнем две  $\beta$ -частицы и в первом два  $\gamma$ -кванта появляются в конечном состоянии и разделяют полную энергию ядерного перехода. Распад, где два  $\gamma$ -кванта одновременно испускаются в одном квантовом переходе, рассчитывается во втором порядке по электромагнитному взаимодействию. Было показано, что результат расчета ширины  $\gamma\gamma$ -распада чувствителен к взаимодействию одно- и двухфононных конфигураций. Максимальное значение ширины двойного  $\gamma$ -распада относительно одинарного предсказано в случае  $^{48}\text{Ca}$  как  $3 \cdot 10^{-8}$ .

Рекомендация. ПКК принял к сведению информацию о применении электромагнитного взаимодействия для описания  $\gamma\gamma$ -распада, а также расчета ширины двойного  $\gamma$ -распада относительно одинарного в случае  $^{48}\text{Ca}$ . Было бы интересно применить эти расчеты к экспериментальным данным для  $\gamma\gamma$ - и  $\gamma$ -распадов в других ядрах.

#### **V. Доклады молодых ученых ЛЯР, посвященные новым результатам и проектам в области исследований по ядерной физике**

ПКК с удовлетворением ознакомился с презентацией 8 новых результатов и проектов в области ядерной физики молодыми учеными ЛЯР. Были отмечены лучшие доклады: «Детальное изучение радиоактивных свойств распада изотопов No методом  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -спектроскопии», представленный М. Тезекбаевой, «Создание установки и разработка метода исследования симметричных комбинаций в реакциях многонуклонной передачи ( $^{238}\text{U} + ^{238}\text{U}$ )», представленный К. В. Новиковым, и «Изготовление радиоактивных мишеней для первых экспериментов на Фабрике СТЭ», представленный А. Ю. Бодровым.

ПКК рекомендует доклад «Детальное изучение радиоактивных свойств распада изотопов No методом  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -спектроскопии» для представления на сессии Ученого совета ОИЯИ в феврале 2022 года.

#### **VI. Следующая сессия ПКК**

Следующая сессия ПКК по ядерной физике состоится 30 июня – 1 июля 2022 года.

Предварительная программа сессии включает следующие вопросы:

- отчеты и рекомендации по проектам, завершаемым в 2022 году;
- новые данные по экспериментам на Фабрике СТЭ;
- научные доклады;
- предложения в Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 годы в области ядерной физики;
- стендовые сообщения молодых ученых, посвященные новым результатам и проектам в области исследований по ядерной физике.

М. Левитович  
председатель ПКК  
по ядерной физике

Н. К. Скобелев  
ученый секретарь ПКК  
по ядерной физике