



ОИЯИ



2022

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



ОИЯИ

2022

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Объединенный институт ядерных исследований

Россия, 141980, Дубна, Московская обл.,

ул. Жолио-Кюри, 6

Телефон: (496) 216-50-59

Факс: (496) 216-51-46, (495) 632-78-80

E-mail: post@jinr.ru

Web <http://www.jinr.ru>

Электронная версия: http://wwwinfo.jinr.ru/publish/Reports/Reports_rus.html

ISBN 978-5-9530-0592-0

© Объединенный институт ядерных исследований, 2023

ГОСУДАРСТВА-ЧЛЕНЫ ОИЯИ



ГОСУДАРСТВА-ЧЛЕНЫ ОИЯИ

Азербайджанская Республика
Республика Армения
Республика Белоруссия
Республика Болгария
Социалистическая Республика Вьетнам
Грузия

Арабская Республика Египет
Республика Казахстан
Корейская Народно-Демократическая Республика
Республика Куба
Республика Молдова

Монголия
Республика Польша
Российская Федерация
Румыния
Словацкая Республика
Республика Узбекистан
Украина
Чешская Республика

ГОСУДАРСТВА, С КОТОРЫМИ ЗАКЛЮЧЕНЫ СОГЛАШЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ НА ПРАВИТЕЛЬСТВЕННОМ УРОВНЕ

Венгрия
Федеративная Республика Германия
Итальянская Республика
Республика Сербия
Южно-Африканская Республика



РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ОИЯИ

КОМИТЕТ ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ГОСУДАРСТВ-ЧЛЕНОВ ОИЯИ

- 
- Азербайджанская Республика – А. М. Гашимов
 - Республика Армения – С. С. Айоцян
 - Республика Белоруссия – С. В. Шлычков
 - Республика Болгария – Ц. Бачийски
 - Социалистическая Республика Вьетнам – Чан Туан Ань
 - Грузия – А. Хведелидзе
 - Арабская Республика Египет – М. Сакр
 - Республика Казахстан – С. К. Сахиев
 - Корейская Народно-Демократическая Республика – не назначен
 - Республика Куба – А. Диас Гарсиа
 - Республика Молдова – В. В. Урсаки
 - Монголия – С. Даваа
 - Республика Польша – М. Валигурски
 - Российская Федерация – В. Н. Фальков
 - Румыния – Ф.-Д. Бузату
 - Словацкая Республика – Ф. Шимковиц
 - Республика Узбекистан – Б. С. Юлдашев
 - Украина – Б. В. Гринев
 - Чешская Республика – М. Вышинка

ФИНАНСОВЫЙ КОМИТЕТ

По одному представителю от каждой страны-участницы ОИЯИ

УЧЕНЫЙ СОВЕТ

Председатель – Г. В. Трубников

Сопредседатель – С. Я. Килин (Республика Белоруссия)

Ученый секретарь – С. Н. Неделько

- **Ф. Азайез** – Южно-Африканская Республика
- **Н. Аламанос** – Французская Республика
- **А. Апраамян** – Соединенные Штаты Америки
- **Ц. Баатар** – Монголия
- **Бом Хун Ли** – Республика Корея
- **К. Борча** – Румыния
- **Н. Буртебаев** – Республика Казахстан
- **Ван Ифан** – Китайская Народная Республика
- **В. В. Воеводин** – Российская Федерация
- **Р. Гранада** – Аргентинская Республика
- **С. Н. Калмыков** – Российская Федерация
- **С. Я. Килин** – Республика Белоруссия
- **М. В. Ковальчук** – Российская Федерация
- **Г. Лаврелашвили** – Грузия
- **Ле Хонг Кхьем** – Социалистическая Республика Вьетнам
- **Ли Цзяньган** – Китайская Народная Республика
- **П. В. Логачев** – Российская Федерация
- **С. А. Максименко** – Республика Белоруссия
- **В. А. Матвеев** – Российская Федерация
- **Ш. Нагиев** – Азербайджанская Республика

- **Д. Л. Надь** – Венгрия
- **А. Нерсисян** – Республика Армения
- **Н. Нешкович** – Республика Сербия
- **И. Падрон Диас** – Республика Куба
- **Ю. Палий** – Республика Молдова
- **Д. Перес Менесес** – Федеративная Республика Бразилия
- **Р. Рашков** – Республика Болгария
- **И. И. Садилов** – Республика Узбекистан
- **А. М. Сергеев** – Российская Федерация
- **А. М. Сетто Крамис** – Мексиканские Соединенные Штаты
- **М. Спиро** – Французская Республика
- **Ч. Стоянов** – Республика Болгария
- **Г. Стратан** – Румыния
- **Г. В. Трубников** – Российская Федерация
- **Р. Ценов** – Республика Болгария
- **И. Церруя** – Государство Израиль
- **Чан Ти Тхань** – Социалистическая Республика Вьетнам
- **Чжао Хунвэй** – Китайская Народная Республика
- **А. Эль-хаг Али** – Арабская Республика Египет
- **Б. С. Юлдашев** – Республика Узбекистан

ПРОГРАММНО-КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ КОМИТЕТЫ

ПКК по физике частиц

Председатель – И. Церруя (Израиль)
Ученый секретарь – А. П. Чеплаков

ПКК по ядерной физике

Председатель – не утвержден
Ученый секретарь – Н. К. Скобелев

ПКК по физике конденсированных сред

Председатель – Д. Л. Надь (Венгрия)
Ученый секретарь – О. В. Белов

СТРУКТУРА ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова



Директор Д. И. Казаков

Исследования:

- взаимодействий и свойств симметрии элементарных частиц, структуры теории поля и ее приложений
- свойств экзотических ядер и ядерных систем, низкоэнергетической и релятивистской ядерной динамики, ядерной астрофизики
- математических моделей сложных систем, комплексных материалов и наноструктур
- интегрируемых систем, суперсимметрии, квантовой гравитации, теории струн

Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина



И. о. директора А. В. Бутенко

Исследования:

- взаимодействий многозарядных ионов в широкой области энергий
- в области релятивистской ядерной физики
- структуры нуклонов
- сильных взаимодействий частиц
- резонансных явлений во взаимодействиях частиц
- электромагнитных взаимодействий
- методов ускорения частиц
- прикладные, на комплексе NICA с использованием инфраструктуры ARIADNA

Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Дзелепова



Директор В. А. Бедняков

Исследования:

- физики нейтрино и редких процессов
- сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий
- ядерной спектроскопии
- методов ускорения заряженных частиц
- прикладные и радиобиологические

Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова



Директор С. И. Сидорчук

Исследования:

- синтез сверхтяжелых элементов
- свойств тяжелых и сверхтяжелых элементов, механизмов ядерных реакций с тяжелыми ионами
- реакций на пучках радиоактивных ядер, структуры ядер на границах нуклонной стабильности
- взаимодействия тяжелых ионов с конденсированными средами
- методов ускорения тяжелых ионов

ДИРЕКЦИЯ

Директор **Г. В. Трубников**
Вице-директор **С. Н. Дмитриев**
Вице-директор **В. Д. Кекелидзе**
Вице-директор **Л. Костов**
Главный ученый секретарь **С. Н. Неделько**
Главный инженер **Б. Н. Гикал**



Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка

Директор **В. Н. Швецов**

Исследования:

- ядерных реакций под действием нейтронов
- фундаментальных свойств нейтрона
- структуры и динамики функциональных материалов
- наноматериалов для накопителей энергии
- материалов методами рассеяния нейтронов, нейтронно-активационного анализа, нейтронной радиографии и комплементарными методами
- динамических характеристик импульсного реактора ИБР-2 и перспективного нейтронного источника



Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова

Директор **В. В. Кореньков**

Исследования:

- по обеспечению развития и функционирования сетевой и информационно-вычислительной инфраструктуры ОИЯИ
- оптимальных возможностей использования международных компьютерных сетей и информационных систем
- по интеграции разнородных вычислительных ресурсов
- современных средств вычислительной физики, создание и развитие стандартного математического обеспечения
- по цифровизации научной и административной деятельности ОИЯИ



Лаборатория радиационной биологии

Директор **А. Н. Бугай**

Исследования:

- по молекулярной радиобиологии
- по радиационной генетике и цитогенетике
- по медицинской радиобиологии
- по радиационной физиологии и нейрорадиобиологии
- по радиационной биофизике и математическому моделированию
- по астробиологии



Учебно-научный центр

И. о. директора **А. Ю. Верхеев**

Направления деятельности:

- образовательная программа для студентов старших курсов вузов, подготовка квалификационных работ
- проведение международных студенческих практик и школ
- распространение современных научных знаний
- проведение научных школ для учителей физики
- профориентационная работа со школьниками
- повышение квалификации ИТР Института

Общеинститутские службы

- Общеинститутские научные и информационные отделы
- Административно-хозяйственные подразделения
- Производственные подразделения

ВВЕДЕНИЕ



2022 год в истории Института отмечен множеством важных событий и достижений. Нам есть чем гордиться: яркими научными экспериментами и значимыми техническими достижениями международного коллектива ученых. В течение всего года ОИЯИ продолжал наращивать свой потенциал, вкладывал средства в строительство новых установок. Вместе с тем сложившаяся ситуация в мире повлияла на все сферы нашей жизни. В это тревожное и турбулентное время коллектив ОИЯИ проявил сплоченность, стойкость и приверженность своему делу, достойно преодолел все вызовы. Были предприняты важные шаги для сохранения стабильности и единства ОИЯИ, укрепления научной миссии Института.

В 2022 г. сессия Комитета полномочных представителей ОИЯИ впервые прошла на африканском континенте — в Египте. Принят проект нового Семилетнего плана на 2024–2030 гг., одобрены положения о грантах и программах полномочных представителей, программы JINR Postdocs, JINR Fellowship, направленные на привлечение в ОИЯИ научной молодежи, укрепляющие статус ОИЯИ как международной организации.

С огромным сожалением было воспринято решение о выходе Польши, Украины и Чехии из ОИЯИ и о приостановке членства Словакии. Они внесли огромный вклад в развитие Института,

в достижения ОИЯИ на протяжении многих десятилетий: и интеллектуальный, и материальный, и кадровый. Относясь с уважением к мнениям и позициям правительств этих государств, коллектив Института надеется на скорейшее возобновление полномасштабного, полноценного сотрудничества.

Подводя итоги года, я бы выделил несколько важнейших научных результатов, полученных по основным направлениям исследовательской деятельности Института.

На ускорительном комплексе NICA с успехом завершен четвертый, самый длительный цикл пусконаладочных работ, в ходе которого была обеспечена одновременная работа трех основных ускорителей комплекса NICA. Международная команда этого мегасайенс-проекта добилась ярких результатов. Получена рекордная интенсивность на выведенных пучках ускоренных ионов ксенона. Эксперимент BM@N стал первым в России ядерно-физическим экспериментом на ускорительном комплексе, проведенным в сопровождении электронного охлаждения пучка ионов. Общие строительные работы на NICA к концу года завершены примерно на 98 %.

На фабрике сверхтяжелых элементов в ходе экспериментов по синтезу и исследованию свойств СТЭ наблюдалось рекордное число (238) синтезированных атомов сверхтяжелых элементов. Открыты новые изотопы московия, лоуренсия, хассия, сиборгия и дармштадтия. Начат эксперимент по химии 114-го и 112-го элементов. Эти достижения закрепили лидерство Института в области синтеза сверхтяжелых элементов.

В апреле 2022 г. эффективный объем глубоководного байкальского нейтринного телескопа достиг 0,5 км³. За короткий срок Baikal-GVD обнаружил 11 событий, связанных с нейтрино сверхвысоких энергий, — абсолютно уникальные экзотические сигналы из активного ядра нашей Галактики, что предварительно подтвердило наблюдение астрофизического потока нейтрино обсерваторией IceCube в Южном полушарии.

Дубненскими учеными получены значимые результаты в выездных проектах: по измерению сечения фоторождения векторных мезонов в Pb–Pb- и Xe–Xe-столкновениях при энергиях LHC на установке ALICE, поиску «темной материи»

в эксперименте CMS и «темного фотона» в эксперименте NA64 и др. Нельзя не отметить успешный ход работ и высокий уровень готовности ОИЯИ к выполнению своих обязательств в рамках программы второй фазы обновления детекторов ATLAS, CMS и ALICE на LHC в ЦЕРН (Женева). Кроме того, группы ОИЯИ энергично работают в коллаборациях во FNAL (США), Цукубе (Япония) и JUNO (Китай).

Теоретиками ОИЯИ получены интересные результаты в широком спектре областей теоретической физики. Обнаружен новый вид аномального транспортного явления в завихренной и ускоренной среде. Эффект назван кинематическим вихревым эффектом. В общем случае частиц с произвольным спином доказана теорема о связи данного эффекта с микроскопическими свойствами материи, а именно с гравитационной киральной квантовой аномалией. Предсказаны энергии нижайших 2^+ -состояний в четно-четных сверхтяжелых ядрах. Эти энергии максимальны в изотопах Fl и Og, что указывает на их почти сферическую форму. Показано, что нарушение симметрии относительно обращения времени в двумерной системе сильнокоррелированных электронов приводит к возникновению топологического эффекта Холла — целочисленного квантового эффекта Холла в отсутствие внешнего магнитного поля.

Продолжено активное развитие фундаментальных и прикладных направлений исследований, связанных с науками о жизни и физикой конденсированных сред, на основе разработки межлабораторной программы исследований на базе создаваемого в Институте международного инновационного центра ядерных технологий.

Учеными ОИЯИ впервые детально исследованы механизмы процесса кристаллизации мембранных белков *in meso*, что позволяет создать эмпирические основы использования такого типа кристаллизации при рациональном дизайне лекарственных средств. Также впервые экспериментально показана эффективность отражателя очень холодных нейтронов на основе порошка наноалмазов для увеличения потоков, извлекаемых из источника. В группе нейтронного активационного анализа и прикладных исследований велись работы с использованием возможностей установки ИРЕН. Получены интереснейшие результаты исследований метеорита Оргей, древнерусских фресок, выпадений тяжелых металлов, клеточных мембран, процессов программируемой гибели клеток, а также структурно-магнитных свойств новых материалов. На реакторе ИБР-2 выполнен план работ по замене теплообменников и формированию полного пакета документации для лицензирования.

Радиобиологи ОИЯИ совместно с коллегами из Центра медицинской радиологии им. А. Ф. Цыба (Обнинск) в ходе экспериментов на животных обосновали и запатентовали принципиально новый метод избирательного поражения стволо-

вых клеток опухоли — метод усиления радиочувствительности опухолевых клеток с использованием ингибиторов синтеза ДНК, благодаря чему наблюдается гибель большей части популяции опухолевых стволовых клеток уже после одной фракции облучения. При облучении протонами данный механизм работает более эффективно, чем при облучении фотонными пучками.

В 2022 г. в результате модернизации суперкомпьютера «Говорун» его вычислительная мощность увеличилась на 23,5 %, что позволило достичь пиковой производительности. По производительности и эффективности отработки больших данных он — в первой двадцатке мирового рейтинга.

В целом развитие МИВК ОИЯИ, включая модернизацию суперкомпьютера «Говорун», успешная работа центра Tier-1 коллаборации CMS, в том числе высокая загрузка Tier-1 задачами коллаборации NICA-MPD, наряду с разработкой методов, алгоритмов и программного обеспечения для моделирования физических систем, математической обработки и анализа экспериментальных данных, обеспечили Институту лидерство в этой области как в России, так и в других странах-участницах.

Достигнут значительный прогресс в создании платформы «Цифровая экосистема ОИЯИ», которая обеспечит интеграцию существующих и перспективных сервисов поддержки научной, административной и социальной деятельности, а также сопровождение инженерной и IT-инфраструктур Института.

В 2022 г. вместе с активным развитием фундаментальной и прикладной науки Институт продолжал расширять международное сотрудничество, в том числе со странами Латинской Америки, Сербией, Китаем, Израилем, Индией, Южной Кореей.

С опорой на принципы и ценности, главная из которых — научное содружество, в Объединенном институте накоплен уникальный опыт, который позволяет нам идти вперед по пути новых научных достижений. Не раз подтверждена эффективность новых инициатив по укреплению международного научно-технического сотрудничества ОИЯИ со странами-участницами и странами-партнерами: организация регулярных практик JEMS, мероприятий по развитию инструментов научной дипломатии «Наука, диалог и общество», масштабное расширение сети информационных центров ОИЯИ.

Институт принял активное участие в проведении объявленного ООН международного года фундаментальных наук, а также энергично включился в реализацию инициатив десятилетия науки и технологий в стране местоположения ОИЯИ, проведя в ушедшем году несколько крупных и представительных научных мероприятий.

Огромное внимание уделялось развитию и наращиванию образовательного и научно-просветительского компонентов. В 2022 г. в Дубне

по инициативе ОИЯИ начал работу филиал МГУ им. М. В. Ломоносова, который принял эстафету от существовавшего подразделения НИИЯФ и двух кафедр физического факультета МГУ.

Впечатляют результаты работы Учебно-научного центра ОИЯИ, базовых кафедр МГУ, МФТИ, МИФИ, КФУ, СПбГУ, университета «Дубна»: стажировки и практики в ОИЯИ прошли 342 студента из университетов стран-участниц. Ежегодная летняя студенческая программа ОИЯИ получила новое название START — STudent Advanced Research Training at JINR. В ней участвуют студенты и аспиранты со всего мира, специализирующиеся в естественных науках, инженерии и IT. Задействован большой спектр программ по работе со школьниками, а также онлайн-лекций и

экскурсий для растущего сообщества инфоцентров ОИЯИ.

2022 г. доказал, что даже в такое непростое время залог нашего успеха — результаты выполнения научной программы, новые возможности, темп развития и устойчивость ОИЯИ благодаря сохранению уникальной среды для стран-участниц и стран-партнеров, способствующей научному сотрудничеству и взаимному культурному обогащению. Вступив в новый год с новыми силами, мы уверенно смотрим в будущее, верим в нашу увлекательную науку и амбициозные проекты и, разумеется, верим в талантливый, полный смелых идей и больших планов, трудолюбивый и дружный коллектив ОИЯИ.



Г. В. ТРУБНИКОВ,
директор
Объединенного института
ядерных исследований



РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ

КОМИТЕТ ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ПРАВИТЕЛЬСТВ ГОСУДАРСТВ-ЧЛЕНОВ ОИЯИ

ЗАЯВЛЕНИЕ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ПРАВИТЕЛЬСТВ ГОСУДАРСТВ-ЧЛЕНОВ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ О СОХРАНЕНИИ ЕДИНСТВА ИНСТИТУТА, ЕГО НАУЧНОЙ МИССИИ И МЕЖДУНАРОДНОГО ПАРТНЕРСТВА В МИРНОЙ ОБСТАНОВКЕ

В наших совместных усилиях по сохранению единства Института мы, полномочные представители правительств государств-членов ОИЯИ, глубоко обеспокоены и сожалеем о происходящих на Украине событиях, которые повлекли за собой широкомасштабные и трагические последствия, привели к многочисленным человеческим жертвам и серьезным проблемам в области международной безопасности. Поэтому мы призываем к миру и немедленным согласованным действиям для безотлагательного урегулирования сложившейся чрезвычайной ситуации путем диалога и дипломатии.

Наука не знает границ. Мы призываем все государства-члены Института сплотиться и действовать сообща, чтобы сохранить стабильность и единство ОИЯИ. Как никогда ранее, укрепляя научную миссию ОИЯИ в мирных целях, крайне важно продолжать оказывать поддержку исследовательской и образовательной деятельности Института, направленной на благо всего человечества.

Члены Комитета полномочных представителей ОИЯИ, собравшиеся на внеочередное совещание 17 и 21 марта 2022 г., заявляют о следующем.

1. Мы подтверждаем нашу полную приверженность Уставу Института, заявляя, что все наши общие ресурсы используются исключительно в мирных целях и на благо человечества. Наряду

с реализацией своей главной цели — изучения фундаментальных законов материи — ОИЯИ создал и поддерживает уникальную среду для своих государств-членов и стран-партнеров, способствующую научному сотрудничеству и взаимному культурному обогащению.

2. Мы вновь подтверждаем нашу приверженность обеспечению единства Института и поддержке дальнейшего развития ОИЯИ как международной межправительственной исследовательской организации, выступающей в качестве ценной платформы для многосторонних научных коммуникаций и коллабораций. ОИЯИ должен оставаться особым научным мостом между странами для решения глобальных задач, стоящих перед человечеством, — в соответствии с Уставом Института и Софийской декларацией Комитета полномочных представителей о ценности международной научно-технической интеграции, принятой нами в Болгарии в ноябре 2021 г.

3. Мы отмечаем важность продолжения тесного сотрудничества ОИЯИ с международными исследовательскими организациями и, в частности, с ЦЕРН. Подчеркиваем особую роль и миссию двух крупнейших международных исследовательских организаций в области физики элементарных частиц и ядерной физики — ЦЕРН и ОИЯИ, которые за последние 65 лет доказали свою приверженность делу укрепления мира и стабильности.

СЕССИЯ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ, 25 мая 2022 г.

Очередная сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ состоялась 25 мая в гибридном формате участия под председательством полномочного представителя Правительства Румынии Ф.-Д. Бузату.

Заслушав и обсудив доклад директора Института Г. В. Трубникова, КПП принял к сведению информацию о рекомендациях 131-й сессии Ученого совета ОИЯИ, исполнении текущего Семилетнего плана развития ОИЯИ, вкладе стран-участниц



в осуществление крупных проектов Института, новых научных и научно-технических результатах и наиболее важных событиях, относящихся к научно-образовательной деятельности и международному сотрудничеству ОИЯИ. Комитет с удовлетворением отметил предпринимаемые организационные мероприятия по обеспечению высокого темпа работы Института по реализации задач Стратегического плана долгосрочного развития ОИЯИ на период до 2030 г. и далее.

КПП в целом одобрил принципы, цели и правила организации финансирования научно-иссле-

довательской и образовательной деятельности ОИЯИ в форме программ сотрудничества и грантов полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ, представленные в проекте Положения о программах сотрудничества и грантах полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ, и поручил дирекции Института подготовить окончательную версию соответствующего Положения к следующей сессии КПП.

КПП принял к сведению представленное дирекцией Института Положение о социальной

поддержке лиц, прекративших трудовые отношения с ОИЯИ.

КПП одобрил проведенную дирекцией Института работу по исполнению бюджета ОИЯИ текущего года для выполнения Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества в форс-мажорных обстоятельствах первого квартала 2022 г.

Комитет поддержал готовность ОИЯИ продолжать выполнение всех текущих обязательств в соответствии с Соглашением о сотрудничестве, протоколами, дополнениями и другими документами, подписанными с ЦЕРН и коллаборациями, отметив высокую ценность взаимного интеллектуального обмена ОИЯИ и ЦЕРН на протяжении многих десятилетий для развития глобальной науки.

Заслушав и обсудив доклад руководителя департамента бюджетной и экономической политики Института Н. В. Калинина «Об исполнении бюджета ОИЯИ за 2021 г. и о проекте уточненного бюджета ОИЯИ на 2022 г.», Комитет полномочных представителей

— принял к сведению информацию об исполнении бюджета ОИЯИ и о переплате взносов государств-членов ОИЯИ за 2021 г.;

— утвердил сводную итоговую корректировку расходов бюджета ОИЯИ на 2021 г., а также уточненный бюджет ОИЯИ на 2022 г. с общей суммой доходов и расходов 293 362,6 тыс. долларов США;

— разрешил директору Института в 2022 г. вносить корректировки в бюджет ОИЯИ, включая корректировки статей расходов по заработной плате и международному сотрудничеству, в рамках утвержденного бюджета в соответствии с регламентом внесения корректировок в бюджет ОИЯИ.

Заслушав и обсудив доклад директора Института Г. В. Трубникова «О концепции Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. с учетом корректировки долгосрочной научной стратегии развития Института и оптимизации структуры ПТП ОИЯИ, финансирования и кадрового обеспечения научных проектов», КПП с удовлетворением отметил, что представленная концепция в полной мере раскрывает архитектуру и логику стратегического развития Института, сформулированную в Стратегическом плане долгосрочного развития ОИЯИ на период до 2030 г. и далее.

КПП поддержал основные направления концепции Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. и поручил дирекции Института представить проект Семилетнего плана на рассмотрение на сессии Ученого совета ОИЯИ 29–30 сентября 2022 г.

Заслушав и обсудив доклад председателя Финансового комитета, полномочного представителя Правительства Грузии А. Хведелидзе «Об итогах заседания Финансового комитета ОИЯИ от 23 мая 2022 г.», КПП утвердил протокол заседания, а также, согласно практике учета налога на доходы физических лиц (НДФЛ), применяемой в большинстве международных организаций, поручил дирекции ОИЯИ проработать с финансовыми органами государств-членов вопрос отмены раздела V решения совещания КПП ОИЯИ от 23–25 сентября 1956 г. и прекращения практики удержания НДФЛ с работников ОИЯИ в счет уплаты взносов.

КПП утвердил ООО «ФинЭкспертиза» аудитором ОИЯИ за 2021 г., а также план аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2021 г., представленный дирекцией ОИЯИ.

Комитет заслушал обращение полномочного представителя Правительства Словацкой Республики Ф. Шимковица, заявление полномочного представителя Правительства Румынии Ф.-Д. Бузату, а также принял к сведению официальное письмо от полномочного представителя Правительства Республики Болгарии Ц. Бачийского об особой форме участия этих стран в деятельности Института.

Заслушав и обсудив доклад директора Института Г. В. Трубникова «О предложениях по изменению состава Ученого совета ОИЯИ», КПП избрал членами Ученого совета ОИЯИ сроком на 5 лет по результатам открытого голосования (единогласно): Ану Марию Сетто Крамис (Мексиканское физическое общество, Мехико, Мексика), Чан Ти Тханя (Вьетнамский институт атомной энергии, Ханой, Вьетнам), Чжао Хунвэя (Институт современной физики Китайской академии наук, Ланьчжоу, Китай).

Учитывая, что полномочия нынешнего состава Ученого совета ОИЯИ истекают в 2023 г., КПП поручил дирекции ОИЯИ подготовить к следующей сессии КПП предложения о новом составе Ученого совета в соответствии с правилами процедуры Ученого совета ОИЯИ.

Заслушав и обсудив доклад главного ученого секретаря Института С. Н. Неделько «О составе Ученого совета ОИЯИ», КПП, учитывая форс-мажорный характер обстоятельств, посчитал целесообразным при проведении ближайшей сессии Ученого совета исходить из состава совета без включения в него тех членов Ученого совета, которые заявили о временном или полном выходе из его состава.

СЕССИЯ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ, 23 ноября 2022 г.

Очередная сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ состоялась 23 ноября в г. Хургаде (Арабская Республика Египет) в гибридном формате участия под председательством полномочного представителя Правительства Грузии А. Хведелидзе.

Заслушав и обсудив доклад вице-директора Института Л. К. Костова «Об участии Республики Болгарии и Румынии в ОИЯИ», КПП согласился с приостановлением участия Республики Болгарии и Румынии в работе Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ и Финансового комитета ОИЯИ и не будет учитывать Республику Болгарию и Румынию при определении кворума и голосовании по вопросам повестки дня, сохраняя действие Устава ОИЯИ для вышеназванных государств в остальной части.

Заслушав и обсудив доклад вице-директора Института Л. К. Костова «Об участии Республики Польши, Украины и Чешской Республики в ОИЯИ», КПП принял к сведению информацию о выходе Республики Польши, Украины и Чешской Республики из ОИЯИ с 1 января 2023 г. и поручил рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ и дирекции Института подготовить предложения по урегулированию финансовых вопросов, связанных с выходом Республики Польши, Украины и Чешской Республики из ОИЯИ, и представить их на рассмотрение заседания Финансового комитета и сессии КПП ОИЯИ в марте 2024 г. после утверждения отчета об исполнении бюджета ОИЯИ за 2022 г.

Заслушав и обсудив доклад начальника юридического отдела Института А. Ю. Харевича «О порядке практической реализации постановления КПП ОИЯИ о приостановлении прав, привилегий и обязательств Словацкой Республики в ОИЯИ», принимая во внимание выполнение Словацкой Республикой всех своих финансовых обязательств перед ОИЯИ за 2022 г., КПП поручил рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ совместно с дирекцией Института и уполномоченными представителями Словацкой Республики доработать данный проект и представить на рассмотрение заседания Финансового комитета ОИЯИ и сессии КПП ОИЯИ в марте 2023 г.

Заслушав и обсудив доклад директора Института Г. В. Трубникова о рекомендациях 132-й сессии Ученого совета ОИЯИ, исполнении текущего Семилетнего плана развития ОИЯИ, вкладе стран-участниц в осуществление крупных проектов Института, новых полученных научных и научно-технических результатах и наиболее важных событиях, относящихся к научно-образовательной деятельности и международному

сотрудничеству ОИЯИ, КПП с удовлетворением отметил:

— успешное осуществление, начиная с сентября 2022 г., четвертого технологического цикла ускорительного комплекса NICA;

— успешный ход производства магнитов и их установки в туннеле коллайдера NICA, завершение установки всех диполей в арки тоннеля коллайдера;

— проведенную коллаборацией MPD и коллективом ЛФВЭ работу по созданию детектора MPD и успешный ход производства всех компонентов детектора, необходимых для технологического пуска в 2023 г.;

— успешный ход работ и высокий уровень готовности ОИЯИ к выполнению своих обязательств в рамках программы второй фазы обновления детекторов ATLAS, CMS и ALICE на LHC в ЦЕРН (Женева);

— прогресс в развитии байкальского нейтринного телескопа для наблюдения природных потоков нейтрино, достигшего в апреле 2022 г. эффективного объема глубоководного детектора 0,5 км³;

— успешное продолжение экспериментов на фабрике сверхтяжелых элементов с использованием сепаратора ГНС-2, в частности, по синтезу нового изотопа дармштадтия ²⁷⁶Ds в реакции ⁴⁸Ca + ²³²Th;

— выполнение плана работ на реакторе ИБР-2 по замене теплообменников на новые и формированию полного пакета документации для лицензирования;

— активное развитие фундаментальных и прикладных направлений исследований, связанных с науками о жизни и физикой конденсированных сред, на основе разработки межлабораторной программы исследований на базе ЛРБ и создаваемого в Институте международного инновационного центра ядерных технологий;

— развитие МИВК ОИЯИ, включая проведенную в 2022 г. модернизацию суперкомпьютера «Говорун», и успешную работу центра Tier-1 коллабораций CMS и NICA-MPD;

— значительный прогресс в создании платформы «Цифровая экосистема ОИЯИ»;

— эффективность новых инициатив по укреплению международного научно-технического сотрудничества ОИЯИ со странами-участницами и странами-партнерами ОИЯИ;

— усилия дирекции ОИЯИ в работе со странами-партнерами и стремление по повышению статуса их участия в ОИЯИ, в частности, с Китайской Народной Республикой, Мексикой, Бразилией, Индией, Израилем, Южной Кореей и др.

КПП утвердил Положение о программах сотрудничества и грантах полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ.

Хургада (Египет), 23 ноября. Сессия КПП ОИЯИ





КПП отметил своевременность и актуальность предложенных дирекцией ОИЯИ новых программ, направленных на приумножение интеллектуального капитала Института и стран-участниц: программы стипендиатов ОИЯИ (JINR Fellowship Program), программы поддержки молодых ученых (JINR Postdoctoral Program).

Приняв к сведению информацию дирекции ОИЯИ об объективных обстоятельствах, оказывающих влияние на сроки сдачи в эксплуатацию основных объектов комплекса NICA, КПП согласился с необходимостью продления срока реализации договора генерального подряда с АО «Штрабаг» и одобрил усилия дирекции ОИЯИ, направленные на сокращение сроков окончания строительства комплекса NICA.

КПП согласился с основными принципами по установлению правила о доле прямых расходов на персонал во взносе государств-членов, предложенными дирекцией Института, и поручил дирекции ОИЯИ и рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ проработать данное предложение и представить проект правила для рассмотрения на заседании Финансового комитета ОИЯИ и утверждения на сессии КПП ОИЯИ в марте 2023 г.

КПП утвердил рекомендации 131-й и 132-й сессий Ученого совета ОИЯИ, а также Проблемно-тематический план научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 2023 г.

Заслушав и обсудив доклад руководителя Департамента бюджетной и экономической политики Института Н. В. Калинина «О проекте бюджета ОИЯИ на 2023 г.», КПП утвердил бюджет ОИЯИ на 2023 г. по расходам в сумме 245 256,6 тыс. долларов США и доходам в сумме 203 485,9 тыс. долларов США с учетом положительного входящего сальдо в объеме 20 583,9 тыс. долларов США.

КПП разрешил директору Института в 2023 г. вносить корректировки в бюджет ОИЯИ, включая корректировки статей расходов по заработной плате и международному сотрудничеству, в рамках утвержденного бюджета в соответствии с регламентом внесения корректировок в бюджет ОИЯИ.

КПП утвердил шкалу взносов государств-членов ОИЯИ на 2023 г., включающую в себя доли государств, выходящих из ОИЯИ (Республики Польша, Украины и Чешской Республики), и государств с приостановленным членством (Корейской Народно-Демократической Республики и Словацкой Республики), в целях более детальной проработки вопроса по пересмотру шкалы взносов государств-членов с учетом выхода ряда государств из состава ОИЯИ, а также утвердил взносы государств-членов ОИЯИ на 2023 г., рассчитанные на основе шкалы взносов.

КПП не включил в бюджет ОИЯИ на 2023 г. взносы государств, выходящих из ОИЯИ, и государств с приостановленным членством.

В связи с выходом из ОИЯИ Республики Польша, Украины и Чешской Республики КПП поручил дирекции Института и рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ представить на рассмотрение заседания Финансового комитета и сессии КПП ОИЯИ в марте 2023 г. предложения по пересмотру шкалы взносов государств-членов и предложения о размерах бюджета ОИЯИ по доходам и расходам, а также об ориентировочных взносах государств-членов на 2024, 2025 и 2026 гг.

КПП утвердил бюджет на 2023 г. по созданию и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA за счет целевых средств Российской Федерации, выделенных в соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и ОИЯИ, в сумме 2 958 845,6 тыс. рублей.

КПП одобрил сводную корректировку бюджета ОИЯИ на 2022 г. за 9 месяцев, разрешил директору Института проиндексировать окладную и тарифную части заработной платы членов персонала с учетом возможностей бюджета ОИЯИ на 2023 г., в соответствии с Коллективным договором ОИЯИ на 2020–2023 гг.; принял к сведению информацию о проекте расходов Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг.

Заслушав и обсудив доклад председателя Финансового комитета А. В. Омельчука «Об итогах заседания Финансового комитета ОИЯИ от 21 ноября 2022 г.», КПП утвердил протокол заседания.

Приняв к сведению письмо полномочного представителя Правительства Республики Узбекистан о предложениях по погашению реструктуризированной задолженности Республики Узбекистан, возникшей до 1 января 2002 г., и задолженности, возникшей за 2002–2003 гг., КПП поручил урегулировать данный вопрос после погашения текущей задолженности в полном объеме и уплаты реструктуризированной задолженности в соответствии с графиком, утвержденным КПП в ноябре 2020 г.

КПП поручил дирекции Института подготовить новую структуру бюджета ОИЯИ для планирования бюджета, начиная с 2024 г., и направить ее полномочным представителям для замечаний и предложений в рамках организации очередных заседаний Финансового комитета и КПП в марте 2023 г.

В созданную по решению КПП рабочую группу при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ вошли представители Республики Беларусь, Социалистической Республики Вьетнам, Грузии, Республики Казахстан, Республики Кубы, Монголии, Российской Федерации.

КПП утвердил аудиторское заключение по итогам проведения аудиторской проверки финансовой деятельности и бухгалтерский отчет ОИЯИ за 2021 г., а также принял к сведению информацию об исполнении дирекцией Института плана мероприятий по итогам проведения ау-

диторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2020 и 2021 гг.

Заслушав и обсудив доклад директора Института Г. В. Трубникова «О проекте Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг.», КПП отметил, что представленный проект полностью соответствует архитектуре и логике Стратегического плана долгосрочного развития ОИЯИ до 2030 г. и далее и содержит амбициозную конкурентоспособную международную научную программу, а также оптимальные запрашиваемые человеческие и финансовые ресурсы.

КПП принял представленный проект Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. и поручил дирекции Института представить окончательный вариант на следующей сессии КПП ОИЯИ в марте 2023 г.

КПП обратился с просьбой к полномочным представителям правительств государств-членов ОИЯИ проработать с правительствами своих стран вопрос о ежегодном, не менее 5 %, увеличении суммы взносов государств-членов для финансового обеспечения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг.

Заслушав и обсудив доклад главного ученого секретаря Института С. Н. Неделько «О составе

Ученого совета ОИЯИ», КПП принял к сведению список членов Ученого совета ОИЯИ, назначенных в новый состав Ученого совета полномочными представителями правительств государств-членов ОИЯИ и по результатам открытого голосования (единогласно) утвердил кандидатуры избираемых членов Ученого совета с полномочиями сроком на 5 лет. Новый состав Ученого совета вступает в полномочия с 133-й сессии Ученого совета ОИЯИ.

КПП выразил благодарность членам Ученого совета прежнего состава за успешную работу, проделанную в период 2018–2022 гг.

КПП установил максимальную численность Ученого совета на срок полномочий нового состава, равную 50 членов.

КПП с интересом заслушал доклад полномочного представителя Правительства Арабской Республики Египет М. Сакра «Научный доклад президента Академии научных исследований и технологий Египта» и поблагодарил докладчика.

КПП выразил благодарность директору ЛИТ В. В. Коренькову за интересную презентацию «Цифровая экосистема ОИЯИ».

УЧЕНЫЙ СОВЕТ

131-я СЕССИЯ УЧЕНОГО СОВЕТА, 24–25 февраля 2022 г.

24–25 февраля состоялась 131-я сессия Ученого совета Объединенного института ядерных исследований под председательством директора Института Г. В. Трубникова и заместителя председателя Президиума Национальной академии наук Белоруссии С. Я. Килина.

Г. В. Трубников представил всесторонний доклад, посвященный ключевым для ОИЯИ событиям 2021 г., решениям сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ (Банско и София, Болгария, ноябрь 2021 г.) и содержащий информацию о приоритетных исследовательских программах ОИЯИ, предложенных для включения в Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 гг., а также последним событиям в области международного сотрудничества Института.

С докладами о рекомендациях программно-консультативных комитетов выступили: И. Церруа (ПКК по физике частиц), М. Левитович (ПКК по ядерной физике), Д. Л. Надь (ПКК по физике конденсированных сред).

Ученый совет рассмотрел концепцию Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. по основным направлениям, представленным в докладах В. Д. Кекелидзе (физика частиц и физика тяжелых ионов высоких энергий, информационные технологии), С. Н. Дмитриева (ядерная физика, прикладные и инновационные исследования), Л. Костова (физика конденсированных сред, радиобиология).

Ученый совет заслушал доклады молодых ученых, рекомендованные ПКК, а также ряд научных докладов по результатам 2021 г.

Ученый совет рассмотрел предложения дирекции о присвоении звания «Почетный доктор ОИЯИ», решения жюри о присуждении премии им. Б. М. Понтекорво и ежегодных премий ОИЯИ за лучшие научные, научно-методические и научно-технические прикладные работы.

На сессии состоялись выборы на должность директора Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, объявлены вакансии на должности в дирекциях лабораторий ОИЯИ.

Ученый совет принял следующую резолюцию.

Общие положения

Заслушав доклад директора ОИЯИ Г. В. Трубникова, Ученый совет отметил важность и своевременность Софийской декларации о ценности международной научно-технической интеграции, принятой на сессии Комитета полномочных представителей, в которой, в частности, подчеркнуто значение фундаментальной науки и ценность открытого международного научного диалога, а также поддержаны инициатива ЮНЕСКО и решение Генеральной Ассамблеи ООН о провозглашении 2022 г. Международным годом фундаментальных наук в интересах устойчивого развития.

Ученый совет одобрил вступление в ОИЯИ Арабской Республики Египет в качестве полноправного члена, которое произошло на сессии КПП в ноябре 2021 г., и необходимые действия, предпринятые Республикой Сербией перед вступлением в ОИЯИ.

Ученый совет принял к сведению назначение А. Нерсесяна (Армения) и А. Эль-хаг Али (Египет) в состав Ученого совета решениями соответствующих полномочных представителей государств-членов.

Рекомендации в связи с работой ПКК

Ученый совет поддержал рекомендации, выработанные на сессиях программно-консультативных комитетов в январе 2022 г. и представленные председателем ПКК по физике частиц И. Церруей, председателем ПКК по ядерной физике М. Левитовичем и председателем ПКК по физике конденсированных сред Д. Л. Надем. Ученый совет просил дирекцию ОИЯИ учесть эти рекомендации при формировании Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 2023 г.

Физика частиц. Ученый совет поздравил коллектив ЛФВЭ с достижением проектных параметров бустера NICA и ускорением пучка ионов железа до энергии 578 МэВ/нуклон. Впервые

в России на бустере NICA осуществлено электронное охлаждение пучка тяжелых ионов, а в сотрудничестве с Институтом ядерной физики им. Г. И. Будкера успешно завершена разработка систем каналов вывода и транспортировки пучка от бустера до нуклотрона. Ученый совет отметил начало эксплуатации оборудования станции SOCHI — важного компонента программы прикладных исследований и инноваций NICA, предназначенного для облучения микросхем пучками ионов, выводимых из NILAS. Совет также поздравил коллектив NICA с установкой первого сверхпроводящего магнита в туннеле коллайдера.

Ученый совет с удовлетворением отметил успехи в развитии инфраструктуры, в том числе допуск к эксплуатации одиннадцати 6-киловаттных модернизированных подстанций общей мощностью до 33,6 МВт, установку оживителя гелия производительностью более 1000 л/ч, гелиевого рефрижератора для охлаждения бустера мощностью 2000 Вт при температуре 4,5 К, четырех установок очистки сжатого гелия, а также ввод в эксплуатацию крупногабаритного криогенного оборудования, расположенного на открытом воздухе.

Поздравив коллектив MPD с началом испытаний большого сверхпроводящего соленоида, Ученый совет одобрил план завершить к концу 2022 г. производство 800 модулей ECal в России и еще 800 в Китае.

Ученый совет высоко оценил работу по подготовке детектора VM@N к намеченным на 2022 г. сеансам с пучками тяжелых ионов. Совет отметил успешное выполнение давней рекомендации ПКК о наличии вакуумной пучковой линии перед VM@N для уменьшения громоздкого фона.

Ученый совет одобрил рекомендации ПКК по утверждению CDR SPD и просил команду SPD приступить к подготовке TDR.

Ученый совет вместе с ПКК с удовлетворением отметил растущую научную значимость и более активное участие групп ОИЯИ в физическом анализе данных экспериментов ALICE, ATLAS и CMS на LHC (ЦЕРН).

Ядерная физика. Ученый совет принял к сведению отчет, рассмотренный ПКК по ядерной физике, о научных и методических работах, выполненных в ЛНФ в 2020–2022 гг. по теме «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона», которая включает проекты ТАНГРА и ЭНГРИН.

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 проводились измерения редких мод спонтанного деления ^{252}Cf с высокоактивным образцом (~400 кБк).

Значительный прогресс достигнут в разработке первых эффективных отражателей ультракоротких нейтронов на основе порошков наномазов.

Широким фронтом велись работы с использованием различных ядерно-физических методик для решения задач экологии, материаловедения, археологии, искусствоведения, медицины в сотрудничестве с большим числом ученых из исследовательских центров стран-участниц ОИЯИ.

Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК продлить тему «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» до конца 2023 г.

В Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова в 2021 г. были проведены три серии экспериментов на новом газонаполненном сепараторе ГНС-2 фабрики сверхтяжелых элементов. Для определения параметров нового сепаратора ГНС-2 использовались реакции слияния изотопов ^{243}Am , ^{242}Pu , ^{238}U с ускоренными ионами ^{48}Ca на циклотроне ДЦ-280 с образованием изотопов Mc, Fl, Sn и их дочерних ядер.

В ходе проведенных экспериментов было показано, что новый газонаполненный сепаратор ГНС-2 эксплуатируется с проектными параметрами, что позволяет проводить новые эксперименты по изучению сверхтяжелых ядер на более высоком уровне чувствительности.

Ученый совет поздравил коллектив ЛЯР с впечатляющими результатами, полученными на фабрике СТЭ, по синтезу сверхтяжелых ядер и изучению свойств их распада и предложил дирекции ЛЯР как можно скорее опубликовать первые результаты этих экспериментов.

Физика конденсированных сред. Ученый совет принял к сведению ход работ по замене воздушных теплообменников второго контура охлаждения реактора ИБР-2 и подготовке к получению лицензии на эксплуатацию установки. Ученый совет поддержал планы ЛНФ по изготовлению новой топливной загрузки для ИБР-2 с целью обеспечения условий, необходимых для продления срока эксплуатации реактора на период после 2032 г., а также работы ЛНФ по изучению механизма возникновения флуктуаций импульсов мощности ИБР-2 и рекомендовал продолжить эту работу.

Ученый совет одобрил создание комитета пользователей и приветствовал более тесный обмен мнениями между данным комитетом и ПКК.

Ученый совет с удовлетворением отметил планы ЛНФ по дальнейшей модернизации спектрометров SKAT и ЭПСИЛОН, в частности, в период приостановки эксплуатации ИБР-2.

Ученый совет приветствовал проведение совместных работ по созданию новой установки нейтронной радиографии и томографии на реакторе ВВР-СМ (ИЯФ АН РУз, Ташкент, Узбекистан).

Ученый совет принял к сведению ход работ по новому источнику нейтронов ОИЯИ, отметив, в частности, проведение расчетных исследований

по оценке колебательной устойчивости проектируемого реактора «Нептун» (ИБР-З) с топливом на основе нитрида нептуния, а также по оптимизации композиции модулятора реактивности реактора «Нептун» путем введения дополнительных отражателей из никеля или бериллия. Ученый совет рекомендовал перейти к следующему этапу проектирования реактора «Нептун», отметив необходимость выполнения НИОКР по оптимизации корпуса реактора и модулятора реактивности совместно с ОАО «НИКИЭТ» госкорпорации «Росатом».

Ученый совет одобрил ход работ по развитию Лаборатории структурных исследований SOLCRYST в Национальном центре синхротронного излучения SOLARIS с учетом того, что различные части лаборатории в настоящее время находятся на разных этапах завершения.

Общие вопросы. Ученый совет с удовлетворением отметил деятельность ПКК по физике конденсированных сред, связанную с разработкой подхода к назначению рецензентов по темам и проектам ОИЯИ, ожидая информации о дальнейшем опыте ПКК по применению анонимного рецензирования.

Доклады молодых ученых. Ученый совет с интересом заслушал доклады молодых ученых, которые были выбраны программно-консультативными комитетами для представления на данной сессии, и поблагодарил докладчиков: В. Д. Жакетова (ЛНФ), П. В. Гончарова (ЛИТ), А. А. Сливина (ЛФВЭ), М. Тезекбаеву (ЛЯР), приветствуя подобные избранные доклады в будущем.

О составах ПКК

По предложению директора ОИЯИ Г. В. Трубникова Ученый совет назначил М. Блока (GSI, Дармштадт, Германия) в состав ПКК по ядерной физике сроком на три года. Ученый совет поблагодарил Э. Хофманна за его плодотворную работу в составе данного ПКК с 2005 г. и огромный вклад в сотрудничество с ЛЯР в исследованиях сверхтяжелых элементов.

О концепции Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг.

Ученый совет с интересом заслушал концепцию следующего плана развития ОИЯИ (2024–2030 гг.), представленную в докладах вице-директора ОИЯИ В. Д. Кекелидзе (физика частиц и физика тяжелых ионов высоких энергий, информационные технологии), вице-директора ОИЯИ С. Н. Дмитриева (ядерная физика, прикладные и инновационные исследования) и вице-директора ОИЯИ Л. Костова (физика конденсированных сред, радиобиология).

С удовлетворением отметив, что эти доклады в полной мере раскрывают архитектуру и логику стратегического развития ОИЯИ, предложенные

в выступлении директора Г. В. Трубникова, Ученый совет одобрил представленную концепцию в целом и просил дирекцию ОИЯИ продолжить работу по подготовке детального проекта плана и представить его на следующей сессии Ученого совета.

Научные доклады по результатам 2021 г.

Ученый совет с интересом заслушал доклады: «Биогибридные наноконплексы и их потенциальное применение в биомедицине» и «Многогранность многопетлевых расчетов» и поблагодарил докладчиков: Ю. Е. Горшкову (ЛНФ) и А. В. Беднякова (ЛТФ).

Награды и премии

Ученый совет поздравил М. Валигурского (Польша) с вручением диплома «Почетный доктор ОИЯИ».

Ученый совет утвердил предложение директора ОИЯИ Г. В. Трубникова о присвоении звания «Почетный доктор ОИЯИ» К. Брешиньяк (Франция) и Э. Бурзо (Румыния).

Ученый совет утвердил решение жюри, представленное председателем жюри А. Г. Ольшевским, о присуждении премии им. Б. М. Понтекорво Т. К. Гайссеру (Делавэрский университет, США) за значительный вклад в физику нейтрино, астрофизику частиц и физику космических лучей высоких энергий, в частности в расчет потока атмосферных нейтрино.

Ученый совет утвердил решение жюри, представленное вице-директором ОИЯИ С. Н. Дмитриевым, о присуждении ежегодных премий ОИЯИ за лучшие научно-исследовательские теоретические и экспериментальные работы, научно-методические и научно-технические прикладные работы.

Выборы и объявление вакансий в дирекциях лабораторий ОИЯИ

Ученый совет избрал А. Кищеля директором Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина (ЛФВЭ) сроком на пять лет и поблагодарил В. Д. Кекелидзе и Р. Ледницкого за успешную работу, проделанную в качестве директоров этой лаборатории в период 2014–2021 и 2021–2022 гг. соответственно.

Ученый совет объявил вакансии на должности заместителей директора ЛФВЭ. Утверждение в должностях состоится на 132-й сессии Ученого совета в сентябре 2022 г.

Ученый совет объявил вакансии на должности директоров Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка и Лаборатории информационных технологий им. М. Г. Мещерякова. Выборы состоятся на 133-й сессии Ученого совета в феврале 2023 г.

132-я СЕССИЯ УЧЕНОГО СОВЕТА, 29–30 сентября 2022 г.

29–30 сентября состоялась 132-я сессия Ученого совета ОИЯИ под председательством директора Института Г. В. Трубникова и заместителя председателя Президиума Национальной академии наук Белоруссии С. Я. Килина.

Г. В. Трубников представил всесторонний доклад, в котором были освещены решения последних сессий Комитета полномочных представителей государств-членов ОИЯИ (17, 21 марта и 22 мая 2022 г.), ход выполнения текущего Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг., а также последние события в области международного сотрудничества Института.

Ученый совет принял к сведению проект Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг., представленный директором ОИЯИ Г. В. Трубниковым.

Ученый совет заслушал информацию о работе программно-консультативных комитетов ОИЯИ, планируемой в 2023 г., и предложения по изменению их составов, представленные вице-директором ОИЯИ В. Д. Кекелидзе.

Ученый совет рассмотрел решение жюри о присуждении премии им. В. П. Джелепова. Состоялось вручение ежегодных премий ОИЯИ за лучшие научные, научно-методические и научно-технические прикладные работы.

На сессии состоялись выборы на должность директора ЛТФ, объявлены вакансии на должности в дирекциях лабораторий ОИЯИ.

Ученый совет заслушал научный доклад «Программа научных исследований на MPD», представленный В. Г. Рябовым.

Ученый совет принял следующую резолюцию.

Общие положения

Заслушав доклад директора ОИЯИ Г. В. Трубникова, Ученый совет отметил важность и своевременность Заявления КПП ОИЯИ о сохранении единства Института, его научной миссии и международного партнерства в мирной обстановке, принятого на внеочередной сессии КПП 17, 21 марта 2022 г.

По информации о сессии КПП ОИЯИ, состоявшейся 22 мая 2022 г., Ученый совет с удовлетворением отметил ход выполнения текущего плана исследований и развития научной инфраструктуры ОИЯИ:

- успешное проведение в первом квартале 2022 г. третьего цикла ввода в эксплуатацию ускорительного комплекса NICA, в течение которого были решены критически важные задачи по обеспечению одновременной работы трех основных ускорителей комплекса NICA, ускорению и выводу пучка с энергией до 3 ГэВ/нуклон;

- ход производства магнитов и их установки в туннеле коллайдера NICA;

- успешное проведение физического сеанса, в течение которого коллаборацией SRC было накоплено более 185 млн взаимодействий углерода с водородной мишенью;

- существенный прогресс в создании байкальского нейтринного телескопа, что привело к увеличению эффективного объема глубоководного детектора до 0,5 км³;

- продолжение экспериментов на фабрике сверхтяжелых элементов с использованием сепаратора ГНС-2, в частности по синтезу нового изотопа дармштадтия ²⁷⁶Ds в реакции ⁴⁸Ca + ²³²Th;

- продолжение подготовительных работ к первому эксперименту по изучению химических свойств элементов ¹¹⁴Fl и ¹¹²Cn на сепараторе ГНС-3 (GRAND), запланированному на конец 2022 г.;

- ход работ по статусу реактора ИБР-2: поврежденные теплообменники заменены на новые, формируется полный пакет документации для лицензирования;

- дальнейшее активное развитие фундаментальных и прикладных направлений исследований, связанных с науками о жизни и физикой конденсированных сред, на основе разработки межлабораторной программы исследований на базе Лаборатории радиационной биологии и создаваемого в Институте международного инновационного центра ядерных технологий.

Ученый совет отметил результаты работы групп ОИЯИ по соглашениям о сотрудничестве, протоколам, дополнениям и другим документам, подписанным с научными организациями всего мира, в частности с ЦЕРН и коллаборациями.

Ученый совет принял к сведению избрание Комитетом полномочных представителей ОИЯИ А. М. Сетто Крамис (Мексика), Чан Ти Тханя (Вьетнам) и Чжао Хунвэя (КНР) новыми членами Ученого совета.

О проекте Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг.

Ученый совет принял к сведению проект Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг., отметив, что проект плана в полной мере следует архитектуре и логике стратегического развития ОИЯИ, сформулированного в концепции этого семилетнего плана, которая была рассмотрена на 131-й сессии Ученого совета в феврале 2022 г. и на сессии КПП 25 мая 2022 г.

Ученый совет одобрил проект Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. и рекомендовал дирекции ОИЯИ представить его на рассмотрение на следующей сессии КПП в ноябре 2022 г.



Дискуссия по докладам директора ОИЯИ

В ходе дискуссии члены Ученого совета сделали следующие рекомендации:

- найти способ сохранить сотрудничество между ЦЕРН и ОИЯИ, включая, в частности, организацию традиционной школы по физике ЦЕРН–ОИЯИ для молодых ученых с возможным участием IUPAP;

- уделить дополнительное внимание координации и гармонизации Семилетнего плана развития ОИЯИ с долгосрочным планом NuPECC и другими стратегическими документами в мире в целом;

- провести тщательный анализ существующих рисков, которые могут помешать реализации Семилетнего плана, и включить в него специальную главу по оценке рисков и соответствующие сценарии корректировок плана;

- продолжать и расширять деятельность, направленную на укрепление интеллектуальной, материальной и финансовой баз ОИЯИ и привлечение новых ассоциированных и полноправных членов из разных регионов мира, включая страны с сильной экономикой, например Китай.

О работе ПКК ОИЯИ и предложения по изменению их составов

Ученый совет назначил в состав ПКК по физике частиц сроком на три года следующих новых членов:

- М. Джорджевич (Белградский университет, Сербия);
- А. М. Коциняна (ННЛА, Ереван, Армения);
- С. В. Кулешова (UNAB, Сантьяго, Чили);
- Ю. А. Тихонова (ИЯФ СО РАН, Новосибирск, Россия).

Ученый совет прекратил полномочия действующего состава ПКК по ядерной физике и назначил следующих новых членов этого ПКК сроком на три года:

- Д. Л. Балабанского (ELI-NP, IFIN-HH, Бухарест, Румыния);
- М. К. Гайдарова (INRNE BAS, София, Болгария);
- Д. М. Джансейтова (ИЯФ, Алма-Ата, Казахстан);
- Д. О. Еременко (НИИЯФ МГУ, Москва, Россия);
- Д. А. Клинова (ФЭИ, Обнинск, Россия);
- В. В. Кузьминова (БНО ИЯИ РАН, Нейтрино, Россия);
- Х. Лубиана Риоса (INCT-FNA, UFF, Нитерой, Бразилия);
- И. Мазумдара (TIFR, Мумбаи, Индия);
- К. И. Хана (CENS, Тэджон, Республика Корея);
- Чжи Циня (IMP CAS, Ланьчжоу, КНР).

Ученый совет допустил, что члены ПКК по ядерной физике, приостановившие свое участие, могут быть приглашены в новый состав этого ПКК для возобновления работы в случае их согласия.

Ученый совет назначил в состав ПКК по физике конденсированных сред сроком на три года следующих новых членов:

- Н. Й. Вергу (UMF CD, Бухарест, Румыния);
- М. Ю. Ташметова (ИЯФ АН РУз, Ташкент, Узбекистан);
- Д. А. Таюрского (КФУ, Казань, Россия);
- И. Б. Ушакова (ФМБЦ, Москва, Россия).

Для определения необходимого кворума Ученый совет принял решение исходить из составов ПКК без включения в них тех членов, которые заявили о временном или полном выходе из ПКК.

Научный доклад

Ученый совет с интересом заслушал научный доклад В. Г. Рябова (НИЦ КИ ПИЯФ, Гатчина) «Программа научных исследований на МРД» и поблагодарил докладчика.

Награды и премии

Ученый совет утвердил решение жюри о присуждении премии им. В. П. Желепова П. Ю. Апелью (ЛЯР, ОИЯИ) за разработку нового поколения трековых мембран и их применение в медицине и экологии.

Ученый совет поздравил лауреатов ежегодных премий ОИЯИ за лучшие научные, научно-методические и научно-технические прикладные работы.

Выборы и объявление вакансий в дирекциях лабораторий ОИЯИ

Ученый совет избрал Д. И. Казакова директором Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова (ЛТФ) на второй пятилетний срок.

Ученый совет объявил вакансии на должности заместителей директора ЛТФ. Утверждение в должностях состоится на 133-й сессии Ученого совета в феврале 2023 г.

Ученый совет объявил вакансию на должность директора Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Желепова. Выборы состоятся на 134-й сессии Ученого совета в сентябре 2023 г.

Ученый совет отметил, что А. Кищель с момента его избрания директором Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина (ЛФВЭ) на предыдущей сессии Ученого совета в феврале 2022 г. в силу чрезвычайных обстоятельств не смог вступить в должность, поэтому утверждение в должностях заместителей директора ЛФВЭ на этой сессии состояться не может и должно быть отложено. Ученый совет согласился с предложением директора ОИЯИ Г. В. Трубникова вновь объявить вакансию на должность директора ЛФВЭ и провести новые выборы на 134-й сессии Ученого совета в сентябре 2023 г. До новых выборов Ученый совет дает право директору ОИЯИ назначать исполняющих обязанности директора и заместителей директора ЛФВЭ, исходя из главной задачи: приложить максимум усилий и организовать все работы по комплексу NICA так, чтобы начать технический пуск коллайдера до конца 2023 г.

ФИНАНСОВЫЙ КОМИТЕТ

ЗАСЕДАНИЕ ФИНАНСОВОГО КОМИТЕТА, 23 мая 2022 г.

Заседание Финансового комитета состоялось 23 мая в формате видеоконференции под председательством представителя Грузии А.Хведелидзе.

Финансовый комитет заслушал доклад директора Института Г. В. Трубникова и рекомендовал КПП:

— принять к сведению информацию о рекомендациях 131-й сессии Ученого совета ОИЯИ, исполнении текущего Семилетнего плана развития ОИЯИ, вкладе стран-участниц в осуществление крупных проектов Института, новых полученных научных и научно-технических результатах и наиболее важных событиях, относящихся к научно-образовательной деятельности и международному сотрудничеству ОИЯИ;

— одобрить проведенную дирекцией Института работу по исполнению бюджета ОИЯИ текущего года для выполнения Проблемно-тематического плана (ПТП) научно-исследовательских работ и международного сотрудничества в форс-мажорных обстоятельствах первого квартала 2022 г.;

— поддержать основные направления концепции Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. и рекомендовать дирекции ОИЯИ при подготовке детального проекта Семилетнего плана уделить особое внимание сбалансированности содержания программы исследований и развития инфраструктуры с ее обеспеченностью необходимыми финансовыми и материальными ресурсами, оценив с особой тщательностью имеющиеся и прогнозируемые риски.

По докладу руководителя Департамента бюджетной и экономической политики Института Н. В. Калинина «Об исполнении бюджета ОИЯИ за 2021 г. и о проекте уточненного бюджета ОИЯИ на 2022 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП:

— принять к сведению информацию об исполнении бюджета ОИЯИ за 2021 г., утвердить сводную итоговую корректировку расходов бюджета ОИЯИ на 2021 г., а также уточненный бюджет ОИЯИ на 2022 г. с общей суммой доходов и расходов 293 362,6 тыс. долларов США;

— разрешить директору Института в 2022 г. вносить корректировки в бюджет ОИЯИ, включая корректировки статей расходов по заработной плате и международному сотрудничеству, в рамках утвержденного бюджета в соответствии с регламентом внесения корректировок в бюджет ОИЯИ;

— принять к сведению информацию об уточнении расчетов по поступлениям средств от стран, принимающих участие в деятельности Института на основе двустороннего Соглашения о научно-техническом сотрудничестве (Арабская Республика Египет, Республика Сербия, Южно-Африканская Республика).

По докладу вице-директора Института Л. Костова «О выборе аудиторской организации по проведению проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2021 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить ООО «ФинЭкспертиза» аудитором ОИЯИ за 2021 г., а также план аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2021 г., представленный дирекцией ОИЯИ.

По докладу председателя рабочей группы по финансовым вопросам ОИЯИ А. Н. Исадыкова «Об итогах совещания рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ от 19 мая 2022 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП согласно практике учета налога на доходы физических лиц (НДФЛ), применяемой в большинстве международных организаций, рассмотреть возможность поручить дирекции ОИЯИ проработать с финансовыми органами государств-членов вопрос отмены раздела V решения совещания КПП ОИЯИ от 23–25 сентября 1956 г. и прекращения практики удержания НДФЛ с работников ОИЯИ в счет уплаты взносов.

Финансовый комитет рекомендовал КПП поручить дирекции Института продолжить применение действующего порядка зачета НДФЛ в счет долевых взносов, при этом:

а) фиксировать сумму переплаты государства-члена, возникшую за предыдущий финансовый год, при утверждении уточненного бюджета текущего года на весенней сессии КПП;

б) определять размеры взносов государств-членов на следующий финансовый год в соот-

ветствии с действующей методикой на осенней сессии КПП;

в) в письме Института о выплате долевого взноса в бюджет ОИЯИ в следующем финансовом году, направляемом государствам-членам, указывать сумму расчетного взноса, сумму зафиксированной переплаты и сумму, подлежащую уплате. Данный принцип применяется к государствам-членам, которые имеют переплату за расчетный год и не имеют текущей накопленной задолженности по уплате взноса в бюджет Института по итогам расчетного года.

Уточнение суммы взноса, подлежащей уплате, целесообразно начать с 2023 г. с учетом возникшей и зафиксированной суммы переплаты по итогам уплаты взноса за 2021 г.

По докладу главного ученого секретаря Института С. Н. Неделько «О предложениях по

совершенствованию нормативного регулирования программ сотрудничества и грантов полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ» Финансовый комитет рекомендовал КПП одобрить в целом принципы, цели и правила организации финансирования научно-исследовательской и образовательной деятельности ОИЯИ в форме программ сотрудничества и грантов полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ, представленные в проекте Положения, и поручить дирекции ОИЯИ подготовить окончательную версию соответствующего Положения к следующей сессии КПП.

Финансовый комитет поблагодарил директора ЛИТ В. В. Коренькова за интересный и содержательный доклад «Цифровые платформы для научных проектов ОИЯИ».

ЗАСЕДАНИЕ ФИНАНСОВОГО КОМИТЕТА, 21 ноября 2022 г.

Заседание Финансового комитета состоялось 21 ноября в г. Хургада (Арабская Республика Египет) в гибридном формате под председательством представителя Российской Федерации А. В. Омельчука.

Финансовый комитет заслушал доклад вице-директора Института Л. К. Костова «Об участии Республики Болгарии и Румынии в ОИЯИ» и рекомендовал КПП:

— согласиться с приостановлением участия Республики Болгарии и Румынии в работе Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ и Финансового комитета ОИЯИ и не учитывать Республику Болгарию и Румынию при определении кворума и голосовании по вопросам повестки дня;

— сохранить действие Устава Объединенного института ядерных исследований для вышеназванных государств в остальной части;

— принять решение о возобновлении участия Республики Болгарии и Румынии в работе КПП и Финансового комитета после направления обращения полномочных представителей названных государств на имя председателя КПП и директора ОИЯИ, в котором будет выражена готовность в полной мере выполнять свои обязательства в соответствии с Уставом ОИЯИ.

По докладу вице-директора Института Л. К. Костова «Об участии Республики Польши, Украины и Чешской Республики в ОИЯИ» Финансовый комитет рекомендовал КПП:

Хургада (Египет), 21 ноября. Заседание Финансового комитета ОИЯИ



— принять к сведению информацию о выходе Республики Польши, Украины и Чешской Республики из ОИЯИ с 1 января 2023 г.;

— поручить рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ и дирекции Института подготовить предложения по урегулированию всех финансовых вопросов и представить их на рассмотрение заседания Финансового комитета и сессии КПП в марте 2024 г. после утверждения отчета об исполнении бюджета ОИЯИ за 2022 г.

По докладу начальника юридического отдела Института А. Ю. Харевича «О порядке практической реализации постановления КПП ОИЯИ о приостановлении прав, привилегий и обязательств Словацкой Республики в ОИЯИ», принимая во внимание выполнение Словацкой Республикой всех своих финансовых обязательств перед ОИЯИ за 2022 г., Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить проект с учетом мнений, высказанных членами Финансового комитета.

Финансовый комитет рекомендовал КПП поручить дирекции Института учесть остаток финансовых средств 2022 г., предусмотренных в бюджете Института на гранты и программы Словацкой Республики в соответствии с Соглашением между дирекцией ОИЯИ и полномочным представителем Правительства Словацкой Республики, при финансировании научно-исследовательского сотрудничества между ОИЯИ и учеными Словацкой Республики в последующий период после возобновления полноправного членства Словацкой Республики.

Финансовый комитет заслушал доклад директора Института Г. В. Трубникова о рекомендациях 132-й сессии Ученого совета ОИЯИ, исполнении текущего Семилетнего плана развития ОИЯИ, вкладе стран-участниц в осуществление крупных проектов Института, новых полученных научных и научно-технических результатах и наиболее важных событиях, относящихся к научно-образовательной деятельности и международному сотрудничеству ОИЯИ, и рекомендовал КПП:

— одобрить проведенную дирекцией Института работу по исполнению бюджета ОИЯИ текущего года для выполнения Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества;

— отметить, что основные параметры проекта Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. полностью соответствуют представленной ранее концепции Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. и логике Стратегического плана долгосрочного развития ОИЯИ до 2030 г. и далее; проект содержит конкурентоспособную международную научную программу, а запрашиваемые кадровые и финансовые ресурсы представляются оптимальными;

— принять представленный проект Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. с учетом замечаний и поручить дирекции Института

представить доработанный вариант на следующей сессии КПП в марте 2023 г.;

— согласиться с основными принципами по установлению правила о доле прямых расходов на персонал во взносе государств-членов, предложенными дирекцией Института, а также поручить дирекции ОИЯИ и рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам проработать данное предложение и представить проект для рассмотрения на заседании Финансового комитета и утверждения на сессии КПП в марте 2023 г.

По докладу руководителя Департамента бюджетной и экономической политики Института Н. В. Калинина «О проекте бюджета ОИЯИ на 2023 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП:

— утвердить бюджет ОИЯИ на 2023 г. по расходам в сумме 245 256,6 тыс. долларов США и доходам в сумме 203 485,9 тыс. долларов США с учетом положительного входящего сальдо в объеме 20 583,9 тыс. долларов США;

— разрешить директору Института в 2023 г. вносить корректировки в бюджет ОИЯИ, включая корректировки статей расходов по заработной плате и международному сотрудничеству, в рамках утвержденного бюджета в соответствии с регламентом внесения корректировок в бюджет ОИЯИ;

— утвердить шкалу взносов государств-членов ОИЯИ на 2023 г., включающую в себя доли государств, выходящих из ОИЯИ (Республики Польши, Украины и Чешской Республики) и государств с приостановленным членством (Корейской Народно-Демократической Республики и Словацкой Республики), в целях более детальной проработки вопроса по пересмотру шкалы взносов государств-членов с учетом выхода ряда государств из состава ОИЯИ;

— утвердить взносы государств-членов ОИЯИ на 2023 г., рассчитанные на основе шкалы взносов на 2023 г., не включая в бюджет ОИЯИ на 2023 г. взносы государств, выходящих из ОИЯИ, и государств с приостановленным членством;

— в связи с выходом из ОИЯИ Республики Польши, Украины и Чешской Республики поручить дирекции Института и рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ представить на рассмотрение заседания Финансового комитета и сессии КПП в марте 2023 г. предложения по пересмотру шкалы взносов государств-членов и предложения о размерах бюджета ОИЯИ по доходам и расходам, а также об ориентировочных взносах государств-членов на 2024, 2025 и 2026 гг.;

— в целях выполнения планов по реализации научной программы текущего Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 г. просить полномочных представителей правительств государств-членов Института принять меры по погашению задолженности перед бюджетом ОИЯИ по уплате взносов;

— утвердить бюджет на 2023 г. по созданию и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA за счет целевых средств Российской Федерации, выделенных в соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и ОИЯИ, в сумме 2 958 845,6 тыс. рублей;

— одобрить сводную корректировку бюджета ОИЯИ на 2022 г. за 9 месяцев;

— разрешить директору Института проиндексировать окладную и тарифную части заработной платы членов персонала с учетом возможностей бюджета ОИЯИ на 2023 г. в соответствии с Коллективным договором ОИЯИ на 2020–2023 гг.;

— создать рабочую группу при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ из представителей Республики Белоруссии, Социалистической Республики Вьетнам, Грузии, Республики Казахстан, Республики Кубы, Монголии, Российской Федерации.

По докладу председателя рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ А. Н. Исадыкова «Об итогах совещания рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ от 25 октября 2022 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП:

— принять к сведению письмо полномочного представителя Правительства Республики Узбекистан о предложениях по погашению реструктуризированной задолженности Республики Узбекистан, возникшей до 1 января 2002 г., и задолженности, возникшей за 2002–2003 гг., а также рассмотреть вопрос об их урегулировании после погашения текущей задолженности в полном объеме и уплаты реструктуризированной задолженности в соответствии с графиком, утвержденным КПП в ноябре 2020 г.;

— поддержать предложение дирекции о ежегодном 5%-м увеличении суммы взносов государств-членов на 2024–2030 гг. в целях реализации международной исследовательской про-

граммы мирового уровня, продолжения развития экспериментальной базы для осуществления широкого спектра перспективных научных исследований, в связи с ростом эксплуатационных расходов на обслуживание базовых установок, развития инженерно-технической инфраструктуры для привлечения высококвалифицированных ученых и специалистов, обеспечения индексации заработной платы с учетом прогнозной инфляции для сохранения конкурентоспособного уровня оплаты труда;

— поручить дирекции Института подготовить новую структуру бюджета ОИЯИ для планирования бюджета, начиная с 2024 г., и направить ее полномочным представителям для замечаний и предложений в рамках организации очередных заседаний Финансового комитета и КПП в марте 2023 г.

Финансовый комитет заслушал доклад руководителя проектов аудиторской компании «ФинЭкспертиза» И. В. Красильникова «Об итогах проведения аудиторской проверки финансовой деятельности Института за 2021 г. и анализе исполнения дирекцией Института плана мероприятий по итогам проведения аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2020 г.» и рекомендовал КПП утвердить аудиторское заключение и бухгалтерский отчет ОИЯИ за 2021 г., а также принять к сведению информацию об исполнении дирекцией Института плана мероприятий по итогам проведения аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2020 и 2021 гг.

Финансовый комитет выразил благодарность директору ЛРБ А. Н. Бугаю за интересный и содержательный доклад «Радиобиологические исследования в ОИЯИ в приложении к задачам исследования космоса и ядерной медицины».

ПРОГРАММНО-КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ КОМИТЕТЫ

55-я СЕССИЯ ПКК ПО ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД, 20–21 января 2022 г.

55-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред состоялась 20–21 января под председательством профессора Д. Л. Надя.

Председатель ПКК представил обзор выполнения рекомендаций предыдущей сессии ПКК. Вице-директор ОИЯИ Л. Костов проинформировал ПКК о резолюции 130-й сессии Ученого совета Института (сентябрь 2021 г.) и о решениях Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (ноябрь 2021 г.).

ПКК принял к сведению доклад о ходе работ по замене воздушных теплообменников второго контура охлаждения реактора и подготовке к получению лицензии на эксплуатацию ИЯУ ИБР-2, представленный В. Н. Швецовым. ПКК поддержал планы ЛНФ на ближайшие семь лет, которые включают изготовление новой топливной загрузки для ИБР-2 с целью обеспечения условий, необходимых для продления срока эксплуатации реактора на период после 2032 г. ПКК также поддержал деятельность ЛНФ по изучению механизма флуктуаций импульсов мощности ИБР-2 и рекомендовал продолжить эту работу.

ПКК одобрил дальнейшее развитие программы пользователей ЛНФ, статистика о которой была представлена Д. Худобой, а также призвал дирекцию ОИЯИ уделить особое внимание возможности продолжения экспериментов с участием студентов в связи с приостановкой работы ИБР-2.

ПКК принял к сведению информацию, представленную Ф. Шиллингом, об экспериментах ЭПСИЛОН и СКАТ, проводимых немецкими университетами (Технологическим институтом Карлсруэ и Боннским университетом соответственно) в рамках коллаборации ВМВФ–ОИЯИ. ПКК поддержал представленную программу модернизации дифрактометров ЭПСИЛОН и СКАТ.

ПКК принял к сведению доклад о ходе работ и дальнейших планах по разработке нового источника нейтронов в ОИЯИ, представленный М. В. Булавиным. ПКК высоко оценил важность проведенных сотрудниками ЛНФ расчетных исследований по оценке колебательной устойчивости проектируемого реактора «Нептун» (ИБР-3) с топливом на основе нитрида нептуния, а также

расчетно-исследовательскую работу по оптимизации композиции модулятора реактивности реактора «Нептун», выполненную путем введения дополнительных отражателей (материал — никель или бериллий). ПКК рекомендовал для перехода на следующий этап проектирования реактора «Нептун» — этап эскизного проектирования — провести совместно с ОАО «НИКИЭТ» госкорпорации «Росатом» НИОКР по оптимизации корпуса реактора и модулятора реактивности.

На сессии в январе 2023 г. ПКК рекомендовал представить доклад о ходе работ по созданию нового источника нейтронов, выполненных по контрактам ОИЯИ–ВНИИНМ и ОИЯИ–НИКИЭТ.

ПКК принял к сведению информацию о работах в рамках темы «Создание лаборатории структурных исследований SOLCRYS в Национальном центре синхротронного излучения SOLARIS», представленную Н. Кучеркой, и отметил, что различные части лаборатории в настоящее время находятся на разных этапах завершения. ПКК рекомендовал работающей в рамках темы группе представить на следующей сессии ПКК подробный доклад, включающий финансовые аспекты за истекший период и предложение о продлении темы.

ПКК заслушал доклад, представленный Б. Абдурахимовым, о конструкции и технических параметрах новой установки нейтронной радиографии и томографии на реакторе ВВР-СМ (ИЯФ АН РУз, Узбекистан), а также о первых результатах, полученных в экспериментах. ПКК посчитал, что полученные технические параметры совместно разработанной установки нейтронной визуализации на реакторе ВВР-СМ отвечают требованиям широкого спектра междисциплинарных исследований в области материаловедения, технических наук и изучения культурного наследия Республики Узбекистан.

В продолжение инициативы, принятой на предыдущей сессии, ПКК обсудил принципы назначения рецензентов по темам и проектам, вынесенным на рассмотрение ПКК. ПКК рекомендовал использовать четко определенные формы при выполнении оценки тем и проектов. Данную практику следует начать использовать при оцен-

ке тем и проектов, которые будут рассматриваться на 56-й сессии ПКК в июне 2022 г.

ПКК рассмотрел 14 виртуальных сообщений молодых ученых в области физики конденсированных сред и наук о жизни. Сообщение В. Д. Жакетова «Исследование сверхпроводимости и магнетизма в слоистых наноструктурах методом рефлектометрии поляризованных нейтронов с

регистрацией вторичного излучения» было признано лучшим на сессии. ПКК также отметил высокий уровень двух других виртуальных сообщений: «Влияние высокого давления на структуру и атомную динамику фармацевтических соединений» Н. М. Белозеровой и «Поиск биомаркеров химически и УФ-индуцированного нетоза» Е. Арынбека.

56-я СЕССИЯ ПКК ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ, 24 января 2022 г.

56-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 24 января под председательством профессора И. Церруи.

Председатель ПКК представил обзор выполнения рекомендаций предыдущей сессии ПКК. Вице-директор ОИЯИ В. Д. Кекелидзе проинформировал ПКК о резолюции 130-й сессии Ученого совета Института (сентябрь 2021 г.) и о решениях Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (ноябрь 2021 г.).

ПКК заслушал отчет о ходе реализации проекта «Нуклотрон–NICA», представленный А. О. Сидориным, и с удовлетворением отметил, что системы бустерного синхротрона доведены до проектных параметров, впервые ускорен пучок железа до проектной энергии 578 МэВ/нуклон. Впервые в России на бустере NICA осуществлено электронное охлаждение пучка тяжелых ионов, а в сотрудничестве с Институтом ядерной физики им. Г. И. Будкера успешно завершена разработка систем каналов вывода и транспортировки пучка от бустера до нуклотрона. Комитет отметил начало эксплуатации оборудования станции SOCHI — важного компонента программы прикладных исследований и инноваций NICA, предназначенного для облучения микросхем пучками ионов, выводимых из HLAC. ПКК поздравил коллектив NICA с установкой первого сверхпроводящего магнита в туннеле коллайдера.

ПКК принял к сведению отчет о ходе работ по развитию инфраструктуры ЛФВЭ, представленный Н. Н. Агаповым. Комитет с удовлетворением отметил успехи в реконструкции электрических сетей до общей мощности 33,6 МВт и введении в эксплуатацию нового криогенного оборудования: гелиевого ожижителя, гелиевого охладителя, ожижителя азота и реконденсатора, газгольдеров для газообразного гелия и азота.

ПКК заслушал отчет А. Кищеля о реализации проекта MPD. Производство всех компонентов конфигурации детектора первой ступени MPD идет успешно. Ввод в эксплуатацию время-проекционной камеры и времяпролетной системы с их считывающей электроникой планируется завершить в течение 2022 г. К концу текущего года 800 модулей электромагнитного калориметра будут произведены в России и еще 800 — в Китае. Это соответствует 16 секторам ECal из 25, необходимых для полного азимутального охвата. ПКК призвал команду MPD и руководство ОИЯИ разработать план, обеспечивающий скорейшее

изготовление оставшихся 9 секторов ECal. Комитет поздравил коллектив коллаборации с началом испытаний большого сверхпроводящего соленоида MPD.

ПКК высоко оценил отчет, представленный М. Н. Капишиным, о реализации проекта BM@N, нацеленного на подготовку детектора к намеченным на 2022 г. сеансам с пучками тяжелых ионов. Изготавливаются кремниевые детекторы и профилометры пучка, прошли испытания детекторы GEM для центральной трековой системы, их монтаж запланирован на весну 2022 г. Установлен новый адронный калориметр ZDC. ПКК отметил также выполнение своей давней рекомендации по созданию вакуумной пучковой линии перед BM@N для уменьшения фона.

Международный экспертный комитет по детектору SPD (SPD DAC) был сформирован в апреле 2021 г., его возглавил А. Брессан (Университет Триеста, Италия). От имени SPD DAC на сессии ПКК им был представлен экспертный отчет. В результате плодотворного взаимодействия участников SPD и членов DAC концептуальный дизайн SPD по сравнению с исходным CDR был улучшен, а именно: решено изменить расположение магнита за пределами ECal и предложено использовать технологию MAPS для внутреннего трекера. На основе всего этого и по рекомендации DAC ПКК утвердил SPD CDR и попросил команду SPD заняться подготовкой TDR. ПКК высоко оценил важную роль DAC в оценке проекта SPD и обратился с просьбой о предоставлении периодических отчетов DAC.

ПКК принял к сведению доклады о научных результатах, полученных группами ОИЯИ в экспериментах на LHC, представленные Е. П. Рогочей (ALICE), Е. В. Храмовым (ATLAS) и В. Ю. Каржавиным (CMS). ПКК с удовлетворением отметил растущую научную значимость и более активное участие групп ОИЯИ в физическом анализе данных экспериментов, а также их значительный вклад в программу модернизации детекторов.

ПКК рассмотрел 28 стендовых докладов, представленных в режиме Zoom-комнаты молодыми учеными из ЛФВЭ, ЛИТ и ЛЯП, и выбрал два лучших доклада: «Методы глубокого обучения и программное обеспечение для реконструкции траекторий элементарных частиц» П. В. Гончарова и «Создание прикладных станций АРИАДНА на базе ускорительного комплекса NICA» А. А. Сливина.

55-я СЕССИЯ ПКК ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ, 27 января 2022 г.

55-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике состоялась 27 января под председательством профессора М. Левитовича.

Председатель ПКК представил обзор выполнения рекомендаций предыдущей сессии ПКК. Вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев проинформировал ПКК о резолюции 130-й сессии Ученого совета Института (сентябрь 2021 г.) и о решениях Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (ноябрь 2021 г.).

ПКК заслушал отчет о выполнении темы «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» за 2020–2022 гг., представленный Е. В. Лычагиным, и предложение по ее продлению до конца 2023 г. В рамках темы реализуются три проекта: ТАНГРА (выполняется с 2017 г.), ЭНГРИН (выполняется с 2022 г.), модернизация ЭГ-5 (выполняется с 2022 г.). В изучении ядерных реакций, вызванных нейтронами, был проведен детальный анализ результатов выполненных измерений Р-четной и Т-нечетной корреляций в делении компаунд-ядра ^{236}U при энергиях нейтронов 0,06 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 ВГО-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 проводились измерения редких мод спонтанного деления ^{252}Cf с высокоактивным образцом (~400 кБк). Для регистрации легких частиц использовались детекторы Timerix с целью обнаружения четверного деления ^{252}Cf .

ПКК отметил, что в ЛНФ достигнут значительный прогресс 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, искусствоведения, медицины и пр. Данные исследования проводились в сотрудничестве с большим числом ученых из исследовательских центров стран-участниц ОИЯИ. Работы планируется продолжать. ПКК рекомендовал продлить тему до конца 2023 г. с первым приоритетом.

ПКК с интересом заслушал доклад о новых данных, полученных в экспериментах на фабрике СТЭ, представленный Н. Д. Коврижных. В 2021 г. были проведены три серии экспериментов на новом газонаполненном сепараторе ГНС-2 фабрики СТЭ. Для определения параметров нового сепаратора ГНС-2 использовались реакции слияния изотопов ^{243}Am , ^{242}Pu , ^{238}U с ускоренными иона-

ми ^{48}Ca на циклотроне ДЦ-280 с образованием изотопов Mc, Fl, Sn и их дочерних ядер.

В реакции слияния $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ при пяти значениях энергии пучка ^{48}Ca с интенсивностью до 1,3 мкА частиц были синтезированы 6 новых цепочек ^{289}Mc (2*n*-канал), 58 цепочек ^{288}Mc (3*n*-канал), две цепочки ^{287}Mc (4*n*-канал) и получен новый изотоп ^{286}Mc (5*n*-канал). В предыдущих экспериментах на сепараторе ГНС-1 изотоп ^{287}Mc наблюдался только в трех цепочках, а дочернее ядро ^{286}Mc — в двух цепочках.

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

В эксперименте с мишенью ^{242}Pu интенсивность пучка ^{48}Ca достигала 3 мкА частиц, при двух значениях энергии ^{48}Ca синтезированы 25 и 69 цепочек распада ^{286}Fl и ^{287}Fl соответственно.

При облучении мишени из ^{238}U интенсивность ^{48}Ca достигала рекордного значения — 6,5 мкА частиц. В течение сентября–октября 2021 г. в эксперименте были получены 16 цепочек распада ядра ^{283}Sn .

Во всей серии экспериментов зарегистрированы 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}Ca . В ходе проведенных экспериментов было показано, что новый газонаполненный сепаратор ГНС-2 эксплуатируется с проектными параметрами, что позволяет проводить эксперименты по изучению сверхтяжелых ядер на более высоком уровне чувствительности. ПКК поздравил коллектив ЛЯР с впечатляющими результатами, полученными на фабрике СТЭ по синтезу сверхтяжелых ядер и изучению свойств их распада, и просил дирекцию ЛЯР как можно скорее опубликовать первые результаты этих экспериментов.

ПКК заслушал научный доклад «Ширина двойного γ -распада ядерного состояния 2^{\dagger}_1 », представленный А. П. Северюхиным.

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 α -, β -, γ -спектроскопии» М. Тезекбаевой, «Создание установки и разработка метода исследования симметричных комбинаций в реакциях многоуклонной передачи ($^{238}\text{U} + ^{238}\text{U}$)» К. В. Новикова и «Изготовление радиоактивных мишеней для первых экспериментов на фабрике СТЭ» А. Ю. Бодрова.

ПРЕМИИ ОИЯИ

Премия им. Б. М. Понтекорво присуждена профессору Т. К. Гайссеру (Делавэрский университет, США) за значительный вклад в физику нейтрино,

астрофизику частиц и физику космических лучей высоких энергий, в частности в расчет потока атмосферных нейтрино.

ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ОИЯИ

За научно-исследовательские теоретические работы

Первые премии

«Аномальный эффект Джозефсона».

Авторы: Ю. М. Шукринов, И. Р. Рахмонов, К. В. Куликов, М. Нашаат, А. А. Мазаник.

«Новые методы в классической и квантовой теории поля с расширенной суперсимметрией».

Авторы: Е. А. Иванов, И. Л. Бухбиндер, Б. С. Мерзликин, К. В. Степаньянц.

Вторая премия

«Метод супероператоров в теории нагретых ядер и астрофизические приложения».

Авторы: А. И. Вдовин, Й. Вамбах, А. А. Джиоев, Д. С. Косов, К. Ланганке, Г. Мартинез-Пинедо, В. Ю. Пономарев, Ч. Пенев Стоянов.

За научно-исследовательские экспериментальные работы

Первая премия

«Фабрика СТЭ: первые результаты».

Авторы: Ю. Ц. Оганесян, С. Н. Дмитриев, Ф. Ш. Абдуллин, Д. Ибадуллаев, А. Н. Поляков, Р. Н. Сагайдак, В. К. Утенков, Ю. С. Цыганов, М. В. Шумейко, Н. Д. Коврижных.

Вторые премии

«Магнетизм ферромагнитно-сверхпроводящих неоднородных слоистых структур».

Авторы: В. Л. Аксенов, В. Д. Жакетов, Ю. В. Никитенко, А. В. Петренко, Ю. Н. Хайдуков.

«Новые данные по спектрам сверхтяжелых изотопов ${}^7\text{H}$, ${}^6\text{H}$ и обнаружение моды спонтанного распада с испусканием 4 нейтронов».

Авторы: А. А. Безбах, Л. В. Григоренко, А. В. Горшков, С. А. Крупко, И. А. Музалевский, Е. Ю. Никольский, Г. М. Тер-Акопян, А. С. Фомичев, В. Худоба, П. Г. Шаров.

За научно-методические и научно-технические работы

Первые премии

«Создание установки νGeN по исследованию свойств реакторных антинейтрино».

Авторы: В. В. Белов, И. В. Житников, С. В. Казарцев, А. В. Лубашевский, Д. В. Медведев, Д. В. Пономарев, С. В. Розов, К. В. Шахов, Е. А. Шевчик, Е. А. Якушев.

«Создание систем перевода ионных пучков в синхротроны Бустер и Нуклотрон ускорительного комплекса NICA».

Авторы: А. В. Бутенко, А. Р. Галимов, С. Ю. Колесников, О. А. Кунченко, К. А. Левтеров, В. В. Селезнев, А. И. Сидоров, А. В. Тузиков, А. А. Фатеев, В. С. Швецов.

Вторая премия

«Новый газонаполненный сепаратор DGFRS-2».

Авторы: В. В. Бехтерев, Г. Н. Иванов, А. А. Воинов, В. В. Константинов, Д. А. Кузнецов, О. В. Петрушкин, А. В. Подшибякин, А. Г. Попеко, Д. И. Соловьев, В. Д. Шубин.

За научно-технические прикладные работы

Первая премия

«Гиперконвергентный суперкомпьютер «Говорун» для реализации научной программы ОИЯИ».

Авторы: Д. В. Беляков, А. С. Воронцов, Е. А. Дружинин, М. И. Зуев, В. В. Кореньков, Ю. М. Мигаль, А. А. Мошкин, Д. В. Подгайный, Т. А. Стриж, О. И. Стрельцова.

Вторые премии

«Структурная реорганизация липидной мембраны, вызванная бета-амилоидным пептидом Аβ».

Авторы: А. И. Иванов, Н. Кучерка, Т. Н. Муругова, Е. В. Ермакова, А. В. Рогачев, А. И. Ку克林, В. В. Ской, Х. Т. Холмуродов, Д. Р. Бадреева, Э. Б. Душанов.

«Неразрушающий микроструктурный анализ перспективных цементных материалов для стро-

ительства хранилищ радиоактивных отходов и гражданских объектов: результаты нейтронной радиографии и томографии».

Авторы: С. Е. Кичанов, К. Назаров, Д. П. Козленко, М. А. Балашою, А. Бехзоджон, Б. Н. Савенко, И. Ю. Зель, М. Кенесарин.

Поощрительные премии

«Изучение процессов фоторождения векторных мезонов в эксперименте ALICE (CERN)».

Авторы: В. Н. Поздняков, Ю. Л. Вертоградова, Б. Д. Румянцев, Е. Л. Крышень, Ж. Г. Контрерас Нуно, Д. Хорак.

«Применение нейтронного активационного анализа для оценки содержания элементов в мидиях из разных районов Мирового океана для характеристики связи с окружающей средой».

Авторы: П. С. Нехорошков, М. В. Фронтасьева, И. И. Зиньковская, Д. И. Николаев, Т. А. Лычагина, А. В. Пахневич, К. Н. Вергель, О. Чалигава, Д. Гроздов, Ж. Безуденот.



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМ. Н. Н. БОГОЛЮБОВА

В 2022 г. в лаборатории проводились исследования по четырем темам: «Фундаментальные взаимодействия полей и частиц», «Теория ядерных систем», «Теория сложных систем и перспективных материалов», «Современная математическая физика: гравитация, суперсимметрия и струны». Важной составляющей деятельности ЛТФ является теоретическая поддержка экспериментальных исследований в ОИЯИ и в других исследовательских центрах с участием ОИЯИ. По результатам проведенных исследований опубликовано около 350 статей в рецензируемых журналах и трудах конференций, 61 статья в составе крупных коллабораций и 2 монографии. Ряд исследований был выполнен в сотрудничестве с учеными из стран-участниц ОИЯИ, Бразилии, Германии, Индии, Италии, Китая, Франции, Южной Африки и ряда других стран.

Ежегодно ЛТФ является местом проведения научных мероприятий самого высокого уровня: в 2022 г. лабораторией было проведено семь конференций и рабочих совещаний, а также две школы для студентов и молодых ученых. Эти мероприятия проводились как в очном, так и в смешанном (очно-дистанционном) формате. Сотрудниками ЛТФ было сделано более 210 докладов на более чем 70 российских и зарубежных конференциях и рабочих совещаниях как очно, так и онлайн. Кроме того, 76 сотрудников и визитеров ЛТФ сделали доклады на внутрिलाбораторных семинарах.

Международное сотрудничество ЛТФ было поддержано грантами полномочных представителей правительств Белоруссии, Казахстана, Польши, дирекции ОИЯИ, совместными проектами с Египтом, Сербией и ЮАР и специальными программами: «Гейзенберг–Ландау» (Германия) и «Боголюбов–Инфельд» (Польша). Продолжалось активное сотрудничество с теоретиками ЦЕРН, Азиатско-тихоокеанским центром теоретической физики (Республика Корея), Институтом теоретической физики АН КНР. 5 исследовательских проектов были поддержаны грантами РФФИ, 5 — грантами РНФ.

Традиционно много внимания уделялось привлечению к работе молодых исследователей, студентов и аспирантов, в том числе в рамках научно-образовательного проекта «Дубненская международная школа по теоретической физике» (DIAS-TH). Лаборатория играет роль учебного центра для молодых ученых и студентов из многих стран. В настоящее время около трети научных кадров лаборатории составляют молодые ученые и аспиранты. В 2022 г. сотрудниками ЛТФ защищено 10 кандидатских и одна докторская диссертация.

В холле конференц-зала ЛТФ была открыта постоянно действующая фотовыставка, представляющая фотографии большого количества сотрудников лаборатории с момента ее основания до настоящего времени.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фундаментальные взаимодействия полей и частиц

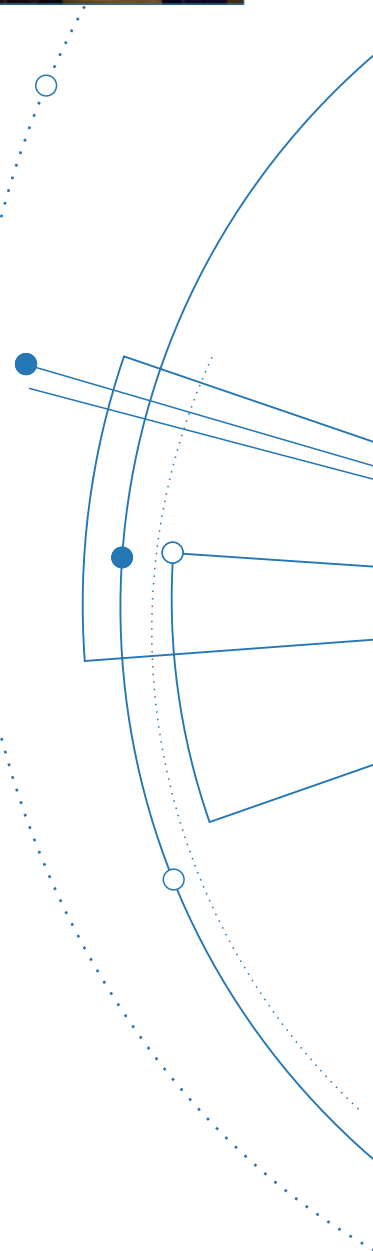
В 2022 г. работа проводилась в рамках следующих проектов:

- «Квантовая теория поля и физика за пределами Стандартной модели»;
- «КХД и спиновая/3-мерная структура адронов»;
- «Феноменология сильных взаимодействий и прецизионная физика»;
- «Теория адронной материи при экстремальных условиях»;

- «Теория электрослабых взаимодействий и физики нейтрино».

На основе расчетов мастер-интегралов пропагаторного типа в низкоэнергетической эффективной теории тяжелых кварков (HQET) впервые было получено аналитическое четырехпетлевое выражение для так называемой $c_{\text{ср}}$ аномальной размерности в КХД. Результат представлен в виде разложения по малому углу. Кроме того, показано, что, используя принцип максимальной трансцендентности, можно получить выражение для четырехпетлевой функции тормозного излуче-

20 декабря. Торжественное открытие фотогалереи,
посвященной ученым Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова



ния в $N = 4$ теории супер Янга–Миллса, которое совпадает с известным всепетлевым результатом [1].

Вычислены шестипетлевые аномальные размерности операторов φ^Q с произвольным фиксированным зарядом Q в скалярной $O(N)$ модели. Расчет произведен на основе комбинации известных непertурбативных результатов, полученных с помощью разложения по большому Q , и явных пертурбативных вычислений диаграмм для операторов с $Q = 1, \dots, 5$. В фиксированной точке произведено сравнение пересуммированных критических размерностей в трехмерном пространстве с симуляциями методом Монте-Карло и разложением по большому N [2].

Разработан подход, основанный на решении дифференциальных уравнений для мастер-интегралов в виде обобщенных степенных рядов. Оказалось, что для полилогарифмических и некоторых интересных в плане приложений непологарифмических мастер-интегралов на коэффициенты ряда удается найти неоднородные рекуррентные соотношения первого порядка. Этот факт позволил решить эти соотношения, рассматривая параметр регуляризации как по теории возмущений, так и точно. Таким образом, удалось получить точные по ϵ выражения для мастер-интегралов. Предлагаемый подход был применен к вычислению массивной непланарной вершины и ряда двухпетлевых массивных 3- и 4-точечных диаграмм. Показано, что точные по параметру регуляризации решения в виде обобщенных сумм для данных интегралов можно, в свою очередь, переписать через обобщенные гипергеометрические функции и обобщенные функции Кампе де Ферье [3].

Было построено обобщенное ренормгрупповое уравнение, описывающее лидирующие расходимости для произвольного эффективного потенциала со взаимодействием скалярных полей общего вида, в том числе для неперенормируемых взаимодействий, получены основные решения, выполнен их численный анализ [4].

Были изучены эффекты в случае тождественных лептонов в конечном состоянии в распаде $B^+ \rightarrow \ell^+ \ell^- \ell^+ \bar{\nu}_\ell$. По сравнению с аналогичным распадом, в котором присутствуют лишь нетождественные лептоны в конечном состоянии, в данном случае амплитуда содержит как прямые (M_a), так и обменные (M_b) диаграммы. Были рассчитаны различные дифференциальные распределения, в частности, распределение по инвариантной массе двух тождественных лептонов $\ell^+ \ell^+$. Данное распределение вполне доступно для экспериментального измерения. Численными расчетами было показано, что интерференционный вклад от диаграмм M_a и M_b составляет лишь 1% от общего вклада и поэтому им можно пренебречь во всей кинематической области распада [5].

Частота перехода $(n, l) = (17, 16) \rightarrow (16, 15)$ в пионном гелии-4 рассчитана с точностью до 4 ppb

(частей на миллиард), включая релятивистские и квантово-электродинамические поправки до $O(R_\infty \alpha^5)$. Кроме того, оценено влияние столкновений пионного гелия с атомами мишени на сдвиг и уширение частоты перехода. Если экспериментальные измерения достигнут уровня ~ 1 ppb, то точность определения массы пиона будет улучшена на 2–3 порядка. Столь точное значение m_π может наложить прямые экспериментальные ограничения на массу антинейтрино мюонного аромата [6].

В дополнение к стандартному методу поиска антивещества по избыточному потоку гамма-квантов с энергиями в области 500 МэВ разработан альтернативный метод идентификации антизвезд в нашей Галактике по узким рентгеновским линиям в диапазоне 1–10 кэВ, излучаемым при дезэкситации протон-антипротонных атомов, аналогичных позитронию [7].

Введен новый класс партонных функций, зависящих от поперечных импульсов, которые проявляются в процессах типа Дрелла–Яна. Предложенные функции напоминают хорошо известные функции Бурра–Мульдерса, связанные с кварковыми спиновыми асимметриями. Однако они существенно отличаются от последних тем, что новые функции описывают коллективный эффект выстроенности кварковых спинов внутри адронов, которые ведут к поперечному движению. В рамках стандартной и доказанной факторизации в качестве практического приложения новых функций предсказаны новые односпиновые асимметрии, которые напрямую связаны как с глюонными полюсами, так и с введенными функциями. Предложен способ их экспериментального изучения [8].

Разработан систематический метод получения системы частных дифференциальных уравнений для фейнмановского интеграла с произвольными (комплексными) значениями лоренц-инвариантов и степеней пропагаторов. Метод не использует интегрирование по частям и является эффективным для приложений [9].

Явно получены элементы $\{\beta\}$ -разложения в порядках до $O(\alpha_s^4)$ для функций Адлера и поляризованных сумм Бьёркена на основании недавних результатов Четыркина для «расширенной» новыми степенями свободы КХД. Установлены общие соотношения между элементами $\{\beta\}$ -разложения из соотношений Крютера–Бродхарста–Катаева [10].

Обнаружен новый вид аномального транспортного явления в завихренной и ускоренной среде. Данный эффект назван кинематическим вихревым эффектом. В общем случае частиц с произвольным спином доказана теорема о связи данного эффекта с микроскопическими свойствами материи, а именно с гравитационной киральной квантовой аномалией. Полученная простая формула проверена с использованием независимого метода для случая полей со спином 1/2 [11].

В модели Намбу–Йона–Лазинио в $1/N$ приближении получены правила сумм, связывающие феноменологические значения масс псевдоскалярных мезонов с отношениями масс легких кварков. Показано, что совместное использование новых правил сумм с экспериментальными данными по ширине распада $\eta \rightarrow 3\pi$ позволяет вычислить массы кварков, а также установить границы для их отношений: $0,41 < m_u/m_d < 0,59$ и $18,60 < m_s/m_d < 19,84$. Неравенства справедливы с точностью до первой поправки по $1/N$ включительно [12].

Вычислено полное сечение электрон-позитронной аннигиляции в пару лямбда-гиперонов в диапазоне энергий, близком к массе чармония $\psi(3770)$. Было показано, что оба механизма (трехглюонный и D -мезонный) дают заметный вклад в сечение, однако только трехглюонный позволяет правильно описать поведение сечения в окрестности резонанса чармония. Важно отметить, что согласие с экспериментальными данными BESIII для рождения пары лямбда-гиперонов получено с использованием параметров модели, зафиксированных ранее для случая аннигиляции в протон-антипротонную пару, что было сделано до публикации последних данных. Дополнительных подгонок не проводилось [13].

С использованием транспортной модели PHSD вычислена поляризация гиперонов, индуцированная локальной завихренностью среды, создаваемой в столкновениях тяжелых ионов при энергиях столкновений от 2,3 до 11,5 ГэВ [14].

На основе модели трехжидкостной динамики рассчитана глобальная поляризация Λ -гиперонов в столкновениях Au + Au при умеренно релятивистских энергиях 2,4–7,7 ГэВ, включая ее зависимость от быстроты и центральности. Рассмотрены различные вклады в глобальную поляризацию: тепловая завихренность и мезонное поле. Показано, что тепловая завихренность дает довольно сильное увеличение поляризации от средней быстроты к быстротам вперед/назад, в то время как вклад мезонного поля значительно сглаживает зависимость от быстроты и приводит к хорошему описанию экспериментальной быстрой зависимости [15].

С помощью решеточного моделирования исследовано поведение критических температур кирального перехода и перехода конфайнмент/деконфайнмент в КХД при наличии вращения. Вычисления проводились для улучшенных вильсоновских фермионов ($N_f = 2$) с отношением массы псевдоскалярного мезона к массе векторного мезона в диапазоне 0,65, ..., 0,85. Из результатов вычислений следует, что критические температуры квадратично растут с угловой скоростью. Показано, что отдельное вращение глюонных и фермионных степеней свободы имеет противоположное влияние на критические температуры в КХД: вращение глюонов приводит к увеличению критических температур, а вращение фермионов — к их убыванию. Полученные результаты

подтверждают важность глюонного вклада для понимания свойств вращающейся кварк-глюонной плазмы [16].

Теория ядерных систем

В 2022 г. исследования велись в рамках четырех проектов:

- «Микроскопические модели для экзотических ядер и ядерной астрофизики»;
- «Низкоэнергетическая ядерная динамика и свойства ядерных систем»;
- «Квантовые системы нескольких частиц»;
- «Релятивистская ядерная динамика и нелинейные квантовые процессы».

На примере дважды магического ядра ^{48}Ca изучены свойства изоскалярного гигантского монополярного резонанса (ГМР) в рамках микроскопической модели, основанной на взаимодействии Скирма. Предложена схема, в которой волновые функции 0^+ -состояний включают связи между одно-, двух- и трехфононными членами. Включение трехфононных конфигураций приводит к тому, что 1 % суммарной силы смещается в область низких энергий возбуждения ($E_x < 10$ МэВ) и порядка 3 % суммарной силы ГМР сдвигается из области гигантского резонанса в область высоких энергий возбуждения ($E_x > 25,5$ МэВ). Силовая функция ГМР, полученная с учетом трехфононных конфигураций, хорошо согласуется с данными из (α, α') -экспериментов [17].

Недавно предложенная микроскопическая версия коллективной модели Бора–Моттельсона, заданная цепочкой динамической симметрии $\text{Sp}(12, \mathbb{R}) \supset \text{SU}(1, 1) \otimes \text{SO}(6) \supset \text{U}(1) \otimes \text{SU}_{pn}(3) \otimes \text{SO}(2) \supset \text{SO}(3)$ в рамках протонно-нейтронной симплектической модели (ПНСМ), применена для микроскопического описания низколежащих коллективных возбуждений в типичном сильно деформированном ядре ^{158}Gd и в двух переходных ядрах ^{104}Ru и ^{192}Os . Получено хорошее описание основной, γ - и β -полос в ^{158}Gd без использования подгоночного члена кинетической энергии и эффективного заряда [18].

Экспериментальные данные по изоскалярным монополярным ($IS0$) возбуждениям в сильно деформированных ядрах (вытянутый ^{24}Mg и сплюснутый ^{28}Si), полученные в iThemba Lab (ЮАР) в реакции (α, α') , проанализированы в рамках самосогласованного квазичастичного приближения хаотических фаз с использованием репрезентативного набора сил Скирма. Наилучшее описание $IS0$ данных получено с силой Скирма SkP^d с низким параметром ядерной несжимаемости $K_\infty = 202$ МэВ. Показано, что ниже основного широкого гигантского $IS0$ резонанса появляется высокий узкий $IS0$ пик (13–14 МэВ в ^{24}Mg и 17–19 МэВ в ^{28}Si), вызванный сильной связью монополярных и квадрупольных мод в деформированных ядрах. Анализ показывает, что в деформированных ядрах одновременное описание

монопольных и квадрупольных состояний указывает на правильность функционала плотности энергии [19].

Метод супероператоров в пространстве Лиувилля применен к изучению спектральных характеристик нагретых ядер. Показано, что при подходящем определении фермионных супероператоров метод уравнения движения может быть обобщен на случай нагретых ядер. Получены уравнения теплоквазичастичного приближения случайных фаз, позволяющие рассчитывать спектральные плотности и силовые функции зарядово-обменных и зарядово-нейтральных возбуждений нагретых ядер термодинамически последовательным образом. Для квазичастично-фононной модели ядра предложен термодинамически последовательный способ учета взаимодействия тепловых фононов. На основе метода Доннелли-Валечки получены выражения для сечений полуплеотонных слабых реакций с нагретыми ядрами [20].

Для нескольких изотопов Gd и Dy в рамках квазичастично-фононной модели вычислены матричные элементы кориолисова взаимодействия, ответственные за смешивание $1^+, K = 1$ и $1^+, K = 0$ состояний. Полученные результаты указывают на то, что изотопы Gd могут быть более подходящими для нахождения отклонений от правил Алаги для M1-переходов из состояний 1^+ в основное состояние [21].

Написана обзорная статья об оптимальных реакциях для синтеза сверхтяжелых ядер. Для будущих экспериментов предсказаны сечения образования сверхтяжелых ядер с зарядовыми числами 119 и 120 в реакциях полного слияния [22].

Предсказаны энергии нижайших 2^+ -состояний в четно-четных сверхтяжелых ядрах. Эти энергии максимальны в изотопах Fl и Og, что указывает на их почти сферическую форму [23].

Для реакций полного слияния ^{48}Ca и Ra/актинидов рассчитаны и сравнены с имеющимися экспериментальными данными функции возбуждения образования изотопов сверхтяжелых ядер с зарядовыми числами 108–116. Расчетные сечения образования четко указывают на то, что ядро Ds является пограничным между островом стабильности сверхтяжелых ядер и материком ядер с относительно большим числом нейтронов [24].

Предсказаны функции возбуждения образования изотопов сверхтяжелого ядра с зарядовым числом $Z = 112$ в $(2-5)n$ испарительных каналах реакций полного слияния $^{48}\text{Ca} + ^{233,235}\text{U}$ для будущих экспериментов. Расчетное сечение образования изотопа ^{277}Cn в реакции горячего слияния $^{48}\text{Ca} + ^{233}\text{U}$ сравнивается с экспериментальным сечением в реакции холодного слияния $^{70}\text{Zn} + ^{208}\text{Pb}$. Выявлена сильная корреляция между вероятностью слияния и асимметрией во входном канале реакции. Указана возможность заполнения пробела между изотопами сверхтяжелых ядер с $Z = 112$, образующихся в реакциях холодного и горячего слияния [25].

Исследовано влияние кориолисова взаимодействия на электромагнитный распад одноквазичастичных изомерных состояний в трансфермиевых ядрах с числом нейтронов $N = 153$. Показано, что перемешивание состояний резко усиливается, если изомерное квазичастичное состояние становится энергетически близким к вращательному уровню с тем же угловым моментом, но построенному на другом квазичастичном состоянии. Модель объясняет увеличение вероятности распада изомерного состояния $K^\pi = 7/2^+$ в ядре ^{251}Cf на три порядка по сравнению с вероятностью распада аналогичного состояния в ^{249}Cm . Предложенный механизм играет важную роль при описании свойств распада изомерных состояний в широком диапазоне тяжелых ядер с нечетной массой [26].

Плотности уровней делящихся ядер, а также испарительных остатков, возникающих вследствие эмиссии нейтрона, протона и альфа-частицы, рассчитаны для изотопических цепочек сверхтяжелых ядер с $Z = 112-120$. Учитывались деформации, приводящие к нарушению как зеркальной, так и аксиальной симметрии. Исследовано влияние оболочечных эффектов на энергетическую зависимость отношений параметров плотности уровней, соответствующих различным модам распада [27].

Сечения испарительных остатков 3–8 пб для изотопов $^{288,289}\text{Mc}$ в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$ воспроизведены с целью проверки предсказаний по синтезу 119-го элемента в реакции $^{54}\text{Cr} + ^{243}\text{Am}$. Радикальное уменьшение сечения до 0,032 пб в последней реакции определяется усилением конкуренции с квазиделением [28].

Произведены расчеты периодов полураспада для четно-нечетных ядер Cm, Fm, Rf с массовыми числами от 242 до 258. Выявлена зависимость фактора запрета от орбитального углового момента материнского ядра, предложена аналитическая формула для упрощенной приближенной оценки фактора запрета спонтанного деления. Рассчитаны периоды полураспада для сверхтяжелых четно-четных и четно-нечетных ядер от ^{265}Rf до ^{286}Fl [29].

В рамках квантово-диффузионного подхода проанализированы астрофизические S-факторы для различных реакций. Для рассмотренных астрофизических реакций S-фактор имеет максимум при подбарьерных энергиях около $E_s \sim (0,6-0,86)V_b$. Предложено аналитическое выражение, позволяющее предсказать зависимость максимума S-фактора от массы и заряда сталкивающихся ядер. Показано, что у S-фактора сильная зависимость от E_{cm} при энергиях столкновения ниже E_s , что приводит к значительному снижению скорости горения в звездах [30].

Разработан квантово-классический метод для количественного анализа развала гало ядер. С помощью этого подхода впервые были рассчитаны сечения развала ^{11}Be на свинце до энергии

5 МэВ/нуклон с учетом низколежащих резонансов [31].

Исследована эволюция не отдельного состояния, а целого (возможно, бесконечномерного) подпространства состояний, подчиняющихся нестационарному уравнению Шрёдингера. Отправной точкой являлось понятие максимального угла между подпространствами. С помощью этого понятия установлена целая серия оценок скорости временной эволюции подпространства. Все установленные оценки являются оптимальными (т. е. точными, наилучшими возможными). Одна из оценок может рассматриваться как естественное обобщение неравенства Манделштама–Тамма на задачу эволюции квантовых подпространств [32].

Предложен новый алгоритм расчета подбарьерного слияния в адиабатическом подходе в приближении связанных каналов. С помощью созданной программы на фортране получено хорошее описание экспериментальных данных для ряда реакций [33].

Проведено экспериментальное и теоретическое исследование угловых и энергетических распределений электрона и иона при комптоновской двукратной ионизации атома гелия фотоном с энергией 40 кэВ с использованием детектора COLTRIMS. Согласие теории с экспериментом достигается лишь при существенном учете электронных корреляций в волновых функциях гелия [34].

Исследовалось упругое pD -рассеяние назад в релятивистском случае на основе диаграммы однонуклонного обмена. Расчет проводился с использованием релятивистских волновых функций дейтрона, полученных путем решения уравнения Бете–Солпитера в пространстве Минковского с релятивистскими сепарабельными потенциалами Graz-II и MY6. Рассчитано неполяризованное дифференциальное сечение, а также поляризационные характеристики реакции для начального импульса протона до 7,3 ГэВ [35].

Исследованы возможные проявления эффекта цветовой прозрачности (ЦП) в реакции жесткого выбивания $d(p, pp)n$, где налетающий протон и оба вылетающих протона являются быстрыми и могут испытать мягкое упругое перерассеяние на медленном нейтроне. Соответствующие парциальные амплитуды рассчитаны методом обобщенного эйконольного приближения исходя из полюсных диаграмм. Эффекты ЦП введены в рамках модели квантовой диффузии с когерентным учетом вкладов от механизмов кваркового счета и Ландшофа в амплитуде жесткого pp -рассеяния. Рассчитана ядерная прозрачность и тензорная анализирующая способность дейтрона в диапазоне импульса налетающего протона 6–75 ГэВ/с ($\sqrt{s_{NN}} = 3,6\text{--}11,9$ ГэВ). Дана оценка счета событий для NICA SPD [36].

В каноническом ансамбле рассмотрены общие формализмы q -дуальной статистики, статистики Больцмана–Гиббса и трех вариантов

статистики Цаллиса, известных как статистика «Цаллис-1», «Цаллис-2» и «Цаллис-3». Строго доказано, что статистика «Цаллис-1» инвариантна относительно однородной трансляции энергетического спектра при фиксированной температуре. Эта инвариантность показывает, что статистика «Цаллис-1» согласуется с основами равновесной статистической механики. Такие же результаты получены для вероятностных распределений статистики «Цаллис-3», статистики Больцмана–Гиббса и q -дуальной статистики. Однако статистика «Цаллис-2» не является инвариантной относительно общего сдвига энергии [37].

В рамках модели Намбу–Йона–Лазинио проведено исследование ширины пиона при конечной температуре. Показано, что с ростом температуры ширина пиона увеличивается, достигая своего максимального значения при $T \sim 0,15$ ГэВ, но затем непосредственно перед температурой фазового перехода снова снижается. Такое поведение ширины связано с тем, что амплитуда рассеяния, входящая в интеграл взаимодействия, зависит от константы четырехпионного взаимодействия, которая определяется бокс-диаграммой и которая снижается вблизи критических температур. Рассчитаны спектральные функции пиона при различных значениях температуры среды [38].

Теория сложных систем и перспективных материалов

Исследования в 2022 г. проводились в рамках следующих проектов:

- «Комплексные материалы»;
- «Наноструктуры и наноматериалы»;
- «Математические модели статистической физики сложных систем»;
- «Методы квантовой теории поля в сложных системах».

Изучена многодолинная зонная структура однослойных дихалькогенидов переходных металлов (ДПМ), порождающая как внутрислоиные, так и междолинные экситоны. Из двупарных корреляций между фермиевскими носителями заряда, составляющими два экситона, выведен эффективный экситонный гамильтониан. На основе идентификации экситонов неприводимыми представлениями их точечной группы симметрии найдено экситон-экситонное взаимодействие, зависящее от симметрии взаимодействующих экситонов. Это взаимодействие является в общем отталкивающим, за исключением случая экситонов из разных долин, которые притягиваются, образуя при этом междолинный биэкситон. Установлена полуаналитическая зависимость энергии связи биэкситона от массы экситона и диэлектрических характеристик материала и окружающей среды. Данная теоретическая модель охватывает свойства взаимодействия экситонов и позволяет всесторонне изучать структуру и энергетические

характеристики междолинного биэкситона в однослойных ДПМ [39].

Изучен показатель степени кривой малоуглового рассеяния для системы полидисперсных массовых и поверхностных фракталов, распределенных по степенному закону. Показано, что для системы фракталов, размеры которых распределены по степенному закону, фрактальная размерность может меняться при достаточно больших значениях показателя степенного распределения. Вследствие этого показатель степени кривой рассеяния определяется фрактальной размерностью благодаря пространственным корреляциям между позициями фракталов. При больших значениях импульса передачи эти корреляции перестают играть роль, и интенсивность рассеяния дается суммой интенсивностей отдельных фракталов, что приводит к хорошо известным формулам Мартина. Таким образом, предсказанные в [40] и Мартином показатели интенсивности рассеяния наблюдаются в различных диапазонах импульса передачи.

Развита теория двухкомпонентных квантовых бозе-смесей для произвольно сильных взаимодействий между атомами. Изучены спектры возбуждений и термодинамические свойства этих бозе-смесей. Получены условия устойчивости и стратификации смесей. Проанализирован фазовый переход между нормальным и сверхтекучим состояниями. Представлены подробные численные расчеты [41].

Выполнен численный расчет для ряда материалов, используемых при радиационных исследованиях на имеющихся в ЛЯР и ЛНФ установках. Получены параметры аннигиляции позитронов, позволяющие характеризовать структурные изменения, вызванные облучением. Рассмотрены карбид бора W_4C и W_2B [42].

С помощью *ab initio* расчетов исследован материал $BaCo_2(AsO_4)_2$, в котором предположительно сильно взаимодействие Китаева, которое стабилизирует спиновую жидкость. Получены матрицы обменных анизотропных взаимодействий ближайших и третьих соседей, которые опровергают эту гипотезу и указывают на то, что материал является легкоплоскостным антиферромагнетиком с сильным взаимодействием третьих соседей и небольшим вкладом анизотропных Китаевских членов. Также исследована фазовая диаграмма в классическом пределе для $S = 1/2$, и получено, что необычное основное состояние $BaCo_2(AsO_4)_2$ — «двойной зигзаг» — стабилизируется анизотропными взаимодействиями третьих соседей [43].

Изучен ток частиц в асимметричном лавинном процессе на кольце. Известно, что в этом процессе есть переход от прерывистого к непрерывному потоку при критической плотности частиц. Точные выражения для первых двух масштабированных кумулянтов тока частиц получены в пределе большого времени с помощью анзаца Бете и пертурбативного решения TQ-урав-

нения. Результаты представлены в интегральном виде, подходящем для асимптотического анализа в пределе большого размера системы. В этом пределе первый кумулянт (средний ток через узел или средняя скорость связанного растущего фронта) асимптотически конечен ниже критической плотности и растет линейно и экспоненциально со степенной предэкспонентой при и выше критической плотности частиц соответственно. Масштабированный второй кумулянт тока (коэффициент диффузии или масштабированная дисперсия высоты ассоциированного фронта) убывает ниже критической плотности типичным для моделей из класса Кардара–Паризи–Жанга образом и в то же время растет как степень и экспонента со степенной предэкспонентой в критической точке и выше. Кроме того, определен режим кроссовера и найдены скейлинговые функции для равномерной асимптотики, объединяющей все три режима. Проведено сравнение этих функций со скейлинговыми функциями, описывающими кроссовер кумулянтов размера лавины, полученными как масштабированные статистики площади под траекторией до первого возврата случайного процесса Вашичека [44].

Описано семейство состояний типа шрёдингерской кошки в виде суперпозиций когерентных состояний гармонического осциллятора с коэффициентами, определяемыми квадратичными суммами Гаусса. Эти состояния возникают как собственные функции понижающих операторов, возникающих в результате канонических преобразований алгебры Гейзенберга–Вейля, ассоциированных с обычным и дробным преобразованием Фурье. Первый член этого семейства задается хорошо известным когерентным состоянием Юрке–Столера [45].

Показано, что комплексная гипергеометрическая функция, описывающая b_j -символы для группы $SL(2, C)$, является специальным вырождением V -функции — эллиптического аналога 2F1-гипергеометрической функции Эйлера–Гаусса, построенной Спиридоновым в 2003 г. Для этой функции выводятся смешанные разностно-рекуррентные соотношения, как предельные формы эллиптического гипергеометрического уравнения, и некоторые преобразования симметрии. На промежуточных шагах вычислений возникает функция, описывающая b_j -символы для модулярного дубля Фаддеева, и для нее выводятся соответствующие разностные уравнения и преобразования симметрии. Полученные результаты подтверждают статус V -функции как универсальной специальной функции математической физики [46].

Рассмотрена общая редукция эллиптического гипергеометрического уравнения на уровень комплексных гипергеометрических функций. Полученное уравнение обобщено на задачу поиска собственных значений для гамильтониана новой интегрируемой задачи N частиц, которая возникает из специального нового вырождения

эллиптических моделей Руджинарса и ван Диежена [47].

Показано, что нарушение симметрии относительно обращения времени в $2d$ -системе сильно коррелированных электронов приводит к возникновению топологического эффекта Холла — целочисленного квантового эффекта Холла в отсутствие внешнего магнитного поля [48].

Проведено теоретическое исследование поведения теплопроводности и электропроводности в перспективном материале — поликристаллическом графене. Показано, что роль границ зерен в подавлении теплового и электрического транспорта может существенно возрастать в широкой области температур с уменьшением их размера. Также было обнаружено, что границы зерен могут заметно подавлять тепловой и электрический транспорт даже при комнатной температуре в случае, если имеются сбои в углах разориентировки границ зерен. Кроме того, было показано, что наблюдаемое в экспериментах увеличение модуля Юнга в однослойном графене с низкой концентрацией вакансий и точечных дефектов может существенно повысить теплопроводность в графене в широком спектре температур [49].

Возможность управления динамикой магнитной прецессии сверхпроводящим током открывает широкий простор для применений в сверхпроводниковой электронике и спинтронике. Найден новый метод контроля динамики магнитной прецессии. Впервые продемонстрирован не прямой захват магнитной прецессии в SFS переходе джозефсоновскими осцилляциями под действием внешнего периодического сигнала, что выража-

ется возникновением ступенек синхронизации на зависимости намагниченности от тока через переход. Положение ступеньки определяется частотой излучения и формой резонансной кривой. В переходах с сильной спин-орбитальной связью на вольт-амперной характеристике появляются состояния с отрицательным дифференциальным сопротивлением, что приводит к дополнительной ступеньке синхронизации. Показано, что соответствующие осцилляции имеют ту же частоту, что и осцилляции на первой ступени, но амплитуда и зависимость от частоты излучения у них другие. Это позволяет управлять не только частотой, но и амплитудой магнитной прецессии в области захвата [50].

Методом ренормгруппы и эpsilon-разложения рассчитан динамический критический индекс z , определяющий скорость релаксации параметра порядка ферромагнетика в окрестности точки фазового перехода (критическое замедление). Вычисления выполнены в пятом порядке эpsilon-разложения. Полученное в результате пересуммирования значение этого индекса находится в хорошем согласии как с результатами компьютерного моделирования, так и эксперимента [51].

С помощью формализма временных функций Грина при конечных температурах было показано, что правильной моделью описания динамики фазового перехода в сверхтекучее состояние является двухкомпонентная модель А стохастической динамики, а не модели F или E, как предполагалось ранее. Тем самым определен динамический индекс z данного фазового перехода [52].

17–22 октября. Международная конференция «Современные проблемы теории конденсированных сред»



Современная математическая физика: гравитация, суперсимметрия и струны

Исследования по теме в 2022 г. были сосредоточены на следующих направлениях:

- «Квантовые группы и интегрируемые системы»;
- «Суперсимметрия»;
- «Квантовая гравитация, космология и струны».

Рассмотрены голографические времениподобные петли Вильсона в черных дырах Керра-AdS5 и Шварцшильда-AdS5, которые голографически дуальны $N = 4$ SYM кварк-глюонной плазме с вращением и без вращения соответственно. Вычислены межкварковые потенциалы, которые имеют кулоновское поведение при температуре выше температуры фазового перехода. Обнаружено, что с увеличением вращения межкварковое расстояние уменьшается, что также наблюдается при увеличении температуры. При высоких температурах и при определенных значениях параметров потенциалы в геометриях Шварцшильда-AdS и Керра-AdS близки к вычисленным в черной бране AdS с плоским горизонтом. Также рассмотрены голографические светоподобные петли Вильсона, из которых найдены параметры гашения струи быстрого партона. Показано, что вращение увеличивает значение параметра гашения струи, а при высоких температурах параметры гашения струи имеют кубическую зависимость от температуры, как для черной AdS браны [53].

С помощью метода нелинейных реализаций построены суперконформные обобщения шварцевой производной (шварциана) — нелинейного дифференциального оператора 3-го порядка, инвариантного относительно $SL(2)$ преобразований — на случай произвольного числа суперсимметрий, а также шварцевы механики с $N = 1, 2, 3, 4$ суперсимметриями. Показано, что в алгебраическом подходе супершварцианы связаны

с супералгебрами $osp(N|2)$, $su(1,1|2)$, $D(1,2,a)$ и возникают при наложении на формы Картана соответствующих групп условий, частично выражающих их через инвариантные формы на отдельном «граничном» суперпространстве. Для $N = 1, 2, 3, 4$ суперсимметрий супершварцианы оказываются также суперполевыми лагранжианами соответствующих механик. С помощью анализа уравнений Маурера–Картана показано, что во всех случаях нетривиальные формы Картана выражаются только через супершварциан и его ковариантные производные. Также рассмотрены бозонные обобщения шварциана на случай алгебр Максвелла и $su(1,2)$ [54].

Построены явно $4D$, $N = 2$ суперсимметричные и калибровочно-инвариантные кубические связи гипермультиплетов материи с калибровочными $N = 2$ мультиплетами высших спинов, введенными в [JHEP. 2021. V.12. P.16]. Гипермультиплет описывается аналитическим гармоническим $4D$, $N = 2$ суперполем q^+ с физическими спинами $s = (1/2, 0)$ и бесконечным числом вспомогательных полей. Для нечетных s генераторы калибровочной группы и взаимодействия пропорциональны $U(1)_{PG}$ генератору внутренней симметрии гипермультиплета $SU(2)_{PG}$ и поэтому не существуют в случае ненарушенной $SU(2)_{PG}$. Все эти особенности обобщаются на случай n гипермультиплетов с максимальной внутренней симметрией $USp(2n) \times SU(2)$ [55].

Рассмотрены классические статические солитонные решения модели Скирма с потенциалом, приводящим к ложному вакууму. Проведены полностью 3-мерные ослабленные вычисления для построения решений, минимизирующих глобальную энергию в секторах с топологическими зарядами от $Q = 1$ до $Q = 6$. Эти решения могут быть метастабильными, они включают область истинного вакуума внутри ядра. Кроме того, исследованы малые области плотностей с отрицательными топологическими зарядами, которые могут появляться для скирмионов с $Q = 3, 5, 6$ [56].

31 января – 4 февраля. 17-я Зимняя школа «Суперсимметрия и интегрируемость»





Найдено релятивистское обобщение рациональной модели Калоджеро с помощью деформации калибровочной матричной системы с дополнительными полудинамическими переменными. Гамильтониан этой системы получен после наложения условий фиксации калибровки и исключения калибровочных степеней свободы. Доказана интегрируемость предложенной релятивистской модели [57].

Построены модели взаимодействующих полудинамических спиновых и динамических зеркальных мультиплетов $N = 4$, $d = 1$ суперсимметричной механики. Рассмотрен полудинамический зеркальный мультиплет $(3, 4, 1)$, взаимодействующий с динамическими мультиплетами $(1, 4, 3)$ и $(2, 4, 2)$. Это взаимодействие дает уравнения для спиновых переменных с бозонными компонентами x и z динамических мультиплетов в качестве эволюционных параметров [58].

Решена задача рассеяния для нулевой струны. Показано, что, подобно массивным струнам, нулевые струны оказывают воздействие на импульс и угловой момент других массивных объектов типа черных дыр; количественно вычислены воздействия для физически интересных конфигураций. Продемонстрировано, что на мировой поверхности нулевой струны образуются каустики — области с плотностью энергии, стремящейся к бесконечности, что гипотетически может привести к интенсивному коротковолновому гравитационному излучению из этой области. Показано, что информация об объектах (например, масса, угловой момент), с которыми нулевые

струны взаимодействуют, в полной мере сохраняется на мировой поверхности струны [59].

Разработан новый метод оценки вероятности распада ложного вакуума с помощью регуляризованных инстантонов. Рассмотрен случай, когда потенциал скалярного поля либо не ограничен снизу, либо имеет второй минимум, соответствующий истинному вакууму, с глубиной, превышающей высоту потенциального барьера. В этом случае материализующиеся пузырьки, доминирующие в распаде вакуума, имеют толстые стенки, поэтому приближение тонких стенок неприменимо. Обнаружено, что основной вклад в соответствующее действие, определяющее вероятность распада вакуума, вносит та часть решения, для которой в уравнении для инстантонов можно пренебречь членом с потенциалом по сравнению с членом с трением. Показано, что разработанное приближение позволяет точно воспроизвести лидирующие вклады в действие для нескольких известных в настоящее время точно решаемых потенциалов. Разработанный метод применим к общим потенциалам скалярного поля в произвольном числе измерений [60].

Исследованы пространства типа Бьянки-I в теориях телепараллельной модифицированной гравитации с веществом в виде классической идеальной жидкости. Показано, что в процессе расширения изотропизация в подобного рода теориях наступает вполне естественно, без привлечения каких бы то ни было дополнительных предположений. Кроме того, показано, что существует большое количество решений с отскоком, что может решить проблему первоначальной

сингулярности. Также при определенных условиях возможно смоделировать и современное ускоренное расширение Вселенной [61].

Разработан подход, позволяющий вычислять диаграммы Фейнмана для несуперсимметричной материи, минимально связанной с гравитацией. На его основе был создан пакет *FeynGrav*, авто-

матизирующий такие вычисления. С его помощью были независимо проверены полученные ранее в древесном приближении на массовой поверхности результаты для $2 \rightarrow 2$ рассеяния гравитонов, а также вычислены поляризационные операторы для гравитона и безмассовых материальных степеней свободы [62].

ДУБНЕНСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКОЛА СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (DIAS-TH)

В рамках образовательной программы DIAS-TH в 2022 г. были организованы две научные школы для студентов и молодых ученых. Проводились семинары для студентов и аспирантов, поддерживался сайт DIAS-TH, продолжалась видеозапись лекций.

Проведена XVII Зимняя школа ЛТФ «Суперсимметрия и интегрируемость» (31 января – 4 февраля). Были прочитаны вводные лекции по суперсимметричной классической теории поля, теории поля в D -мерном антидеситтеровском пространстве, ее обобщению на поля высших спинов. Также были представлены основные сведения о твистерном формализме и симплектической геометрии, обсуждались квантовые интегрируемые модели и геометрическое квантование систем классической механики с компактным фазовым пространством. В школе приняли участие более 80 человек из 11 стран (Армении, Азербайджана, Болгарии, Белоруссии, Германии, Испании, России, Сербии, Словакии, Турции и Франции).

Совместно с Физическим институтом им. П. Н. Лебедева РАН, Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики» и Сколковским институтом науки и технологий (Сколтех) с 24 июля по 2 августа проведена Московская международная школа физики, ориентированная на студентов старших курсов, аспирантов и молодых ученых, работающих в области физики высоких энергий. В программу школы вошли лекции по современной экспериментальной и теоретической физике высоких энергий, космологии и о машинном обучении. В школе приняли участие 83 молодых ученых из университетов и научных центров Владивостока, Дубны, Минска, Москвы, Самары, Санкт-Петербурга и Томска.

В ЛТФ был организован просветительский цикл лекций «Гравитационные волны и их роль в современной физике».

15 декабря. Семинар к 85-летию со дня рождения академика В. Г. Кадышевского



КОНФЕРЕНЦИИ, СОВЕЩАНИЯ, СОТРУДНИЧЕСТВО

В 2022 г. было организовано 7 конференций и рабочих совещаний и две школы для студентов и молодых ученых: XVII международная Зимняя школа DIAS-TH «Суперсимметрия и интегрируемость» (31 января – 4 февраля, Дубна), международное рабочее совещание «Физика элементарных частиц и ядерная физика» (24–30 апреля, Алма-Ата, Казахстан), XVIII Международная конференция «Методы симметрии в физике» (10–17 июля, Ереван, Армения), международная конференция «Квантовая теория поля, физика высоких энергий и космология» (18–21 июля, Дубна), Московская международная школа фи-

зики (24 июля – 2 августа, Дубна), международное совещание «Суперсимметрии и квантовые симметрии» (8–13 августа, Дубна), VII Международная конференция «Модели в квантовой теории поля», посвященная юбилеям профессоров А. Н. Васильева и В. Д. Ляховского (10–14 октября, Санкт-Петербург, Россия), III Международное рабочее совещание «Решеточные и функциональные техники в КХД» (10–14 октября, Санкт-Петербург, Россия), международная конференция «Современные проблемы теории конденсированных сред» (17–22 октября, Дубна).

КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В 2022 г. 10 новых ПК с процессорами Intel 11–12-го поколений установлено на рабочих местах. Приобретен сервер, оснащенный двумя 18-ядерными процессорами Intel Xeon Gold 6354 и 1000 ГБайт оперативной памяти. Установлены последние версии программ Wolfram

Mathematica, Maplesoft Maple, OriginLab OriginPro; на год продлены подписки на обновления и техническую поддержку. Заменены поврежденные сетевые коммутаторы. Приобретены более удобные в эксплуатации радиомикрофоны Saramonic Blink 500 для оснащения двух аудиторий ЛТФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grozin A. G., Lee R. N., Pikelner A. F. // JHEP. 2022. V. 11. 094.
2. Bednyakov A., Pikelner A. // Phys. Rev. D. 2022. V. 106. 076015.
3. Bezuglov M. A., Onishchenko A. I. // JHEP. 2022. V. 04. 045; Bezuglov M. A., Kotikov A. V., Onishchenko A. I. // JETP Lett. 2022. V. 116. P. 61.
4. Kazakov D. I., Iakhibbaev R. M., Tolkachev D. M. arXiv: 2209.08019 [hep-th].
5. Ivanov M. A., Melikhov D. // Phys. Rev. D. 2022. V. 105. 094038.
6. Zhi-Da Bai, Korobov V. I., Zong-Chao Yan, Ting-Yun Shi, Zhen-Xiang Zhong. Precision Spectroscopy of the Pionic Helium-4 // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 128. 183001.
7. Bondar A. E., Blinnikov S. I., Bykov A. M., Dolgov A. D., Postnov K. A. // JCAP. 2022. V. 03. 009; Dolgov A. D. // Moscow Univ. Phys. Bull. 2022. V. 77. P. 89.
8. Anikin I. V., Szymanowski L. // Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 160; Anikin I. V., Szymanowski L. // Prog. Theor. Exp. Phys. 2022. Iss. 11. 113B03.
9. Bytev V. V., Kniehl B. A., Veretin O. L. Specializations of Partial Differential Equations for Feynman Integrals // Nucl. Phys. B. 2022. V. 984. 115972.
10. Baikov P. A., Mikhailov S. V. // JHEP. 2022. V. 185. P. 1.
11. Prokhorov G. Y., Teryaev O. V., Zakharov V. I. // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 129. 151601.
12. Osipov A. A. // JETP Lett. 2022. V. 115. P. 305.
13. Bystrikskiy Yu. M., Ahmadov A. I. // Phys. Rev. D. 2022. V. 105. 116012.
14. Tsegelnik N. S., Kolomeitsev E. E., Voronyuk V. arXiv: 2211.09219 [nucl-th].
15. Ivanov Yu. B., Soldatov A. A. // Phys. Rev. C. 2022. V. 105. 034915.
16. Braguta V. V., Kotov A. Y., Roenko A. A., Sychev D. A. // Proc. of Science. 2022. V. 430.
17. Arsenyev N. N., Severyukhin A. P. // Phys. At. Nucl. 2022. V. 85. P. 580.
18. Ganey H. // Intern. J. Mod. Phys. E. 2022. V. 31. P. 2250047; Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 182.
19. Bahini A., Nesterenko V. O. et al. // Phys. Rev. C. 2022. V. 105. 024311.
20. Dzhioev A. A., Vdovin A. I. // Phys. Part. Nucl. 2022. V. 53. P. 885.
21. Shirikova N. Yu., Sushkov A. V., Jolos R. V. // Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 98.
22. Adamian G. G., Antonenko N. V. // Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 111.
23. Shirikova N. Yu., Sushkov A. V., Malov L. A., Kolganova E. A., Jolos R. V. // Phys. Rev. C. 2022. V. 105. 024309.
24. Hong J., Adamian G. G., Antonenko N. V., Kowal M., Jachimowicz P. // Phys. Rev. C. 2022. V. 108. 014614.
25. Hong J., Adamian G. G., Antonenko N. V., Jachimowicz P., Kowal M. // Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 180.
26. Shneidman T. M., Minkov N., Adamian G. G., Antonenko N. V. // Phys. Rev. C. 2022. V. 106. 014310.
27. Rahmatinejad A., Shneidman T. M., Adamian G. G., Antonenko N. V., Jachimowicz P., Kowal M. // Phys. Rev. C. 2022. V. 105. 044328.

28. Kayumov B. M., Ganiev O. K., Nasirov A. K., Yuldasheva G. A. // Phys. Rev. C. 2022. V. 105. 014618.
29. Rogov I. S., Adamian G. G., Antonenko N. V. // Phys. Rev. C. 2022. V. 105. 034619.
30. Sargsyan V. V., Adamian G. G., Antonenko N. V., Lenske H. // Phys. Lett. B. 2022. V. 824. 136792.
31. Valiolda D., Janseitov D., Melezhik V. S. // Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 34.
32. Albeverio S., Motovilov A. K. // J. Phys. A: Math. Theor. 2022. V. 55. 235203.
33. Chuluunbaatar O., Gusev A. A., Vinitzky S. I., Abrashkevich A. G., Wen P. W., Lin C. J. // Comput. Phys. Commun. 2022. V. 278. 108397.
34. Kircher M. et al. // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 128. 053001.
35. Bondarenko S., Yurev S. arXiv:2207.03768 [nucl-th].
36. Larionov A. B. // Phys. Rev. C. 2023. V. 107. 014605.
37. Parvan A. S. // Physica A. 2022. V. 588. 126566.
38. Goderidze D., Kalinovsky Yu. L., Friesen A. V. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 4. P. 337; Intern. J. Mod. Phys. A. 2022. V. 37. 2250135.
39. Hoang Ngoc Cam, Nguyen Thanh Phuc, Osipov V. A. // npj 2D Mater. Appl. 2022. V. 6. P. 22.
40. Cherny A. Yu., Anitas E. M., Osipov V. A., Kuklin A. I. // Phys. Rev. E. 2022. V. 106. 024108.
41. Rakhimov A., Abdurakhmonov T., Narzikulov Z., Yukalov V. I. // Phys. Rev. A. 2022. V. 106. 033301.
42. Donkov A. et al. // Nanomaterials. 2022. V. 12. 2644; Donkov A. et al. // Nucl. Mater. Energy. 2022. V. 31. 101201.
43. Maksimov P. A. et al. // Phys. Rev. B. 2022. V. 106. 165131.
44. Trofimova A. A., Povolotsky A. M. // J. Phys. A: Math. Theor. 2022. V. 55. 025202.
45. Spiridonov V. P. // Theor. Math. Phys. 2022. V. 212. P. 1237.
46. Derkachov S. E., Sarkissian G. A., Spiridonov V. P. // Theor. Math. Phys. 2022. V. 213. P. 1406.
47. Sarkissian G. A., Spiridonov V. P. // J. Phys. A. 2022. V. 55. 385203.
48. Ferraz A., Kochetov E. // Phys. Rev. B. 2022. V. 105. 245128.
49. Krasavin S. E., Osipov V. A. // Sci. Rep. 2022. V. 12. 14553.
50. Abdelmoneim S. A., Shukrinov Yu. M., Kulikov K. V., El-Samman H., Nashaat M. // Phys. Rev. B. 2022. V. 106. 014505.
51. Adzhemyan L. Ts., Evdokimov D. A., Hnatič M., Ivanova E. V., Kompaniets M. V., Kudlis A., Zakharov D. V. // Phys. Lett. A. 2022. V. 425. 127870; Physica A. 2022. V. 600. 127530.
52. Honkonen J., Komarova M., Molotkov Yu., Nalimov M., Trenogin A. // Phys. Rev. E. 2022. V. 106. 014126.
53. Golubtsova A. A., Tsegel'nik N. S. arXiv:2211.11722 [hep-th].
54. Kozyrev N., Krivonos S. // JHEP. 2022. V. 03. P. 120; Phys. Rev. D. 2022. V. 105. 085010.
55. Buchbinder I., Ivanov E., Zaigraev N. // JHEP. 2022. V. 05. P. 104.
56. Livramento L. R., Shnir Ya. // Phys. Rev. D. 2022. V. 105. 125019.
57. Fedoruk S. A. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 19. P. 331.
58. Ivanov E., Sidorov S. // Phys. Rev. D. 2022. V. 105. 086027.
59. Davydov E. A., Fursaev D. V., Tainov V. A. // Phys. Rev. D. 2022. V. 105. 083510.
60. Mukhanov V. F., Sorin A. S. // JHEP. 2022. V. 07. P. 147.
61. Tretyakov P. V. // Mod. Phys. Lett. A. 2022. V. 37. 2250046.
62. Latosh B. // Class. Quant. Grav. 2022. V. 39. 165006.

ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ им. В. И. ВЕКслера и А. М. БАЛДИНА

Деятельность Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина в 2022 г. была сосредоточена на создании, развитии и вводе в эксплуатацию отдельных узлов

ускорительного комплекса «Нуклотрон–NICA» и экспериментальных установок MPD, BM@N и SPD. Также продолжались эксперименты на внешних ускорителях.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ В РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА «НУКЛОТРОН–NICA»

В период со 2 января по 1 апреля 2022 г. был проведен *третий цикл пусконаладочных работ* на ускорительном комплексе с ускорением ионов углерода, генерируемых на лазерном источнике.

Были последовательно выполнены следующие работы:

- настроен цикл ускорения в бустере, включающий адиабатический захват в режим ускорения (на 5-й кратности), перегруппировку на 1-й кратности при 65 МэВ/нуклон и ускорение до энергии 263 МэВ/нуклон; достигнутая интенсивность ускоренного пучка составила $3 \cdot 10^9$ ионов $^{12}\text{C}^{4+}$;

- осуществлен однооборотный вывод пучка из бустера, настроен канал транспортировки пучка из бустера в нуклотрон, включая обдирку ионов C^{4+} в C^{6+} ;

- запущены вновь установленные на нуклотроне магнит Ламбертсона и кикер-системы инжекции из бустера;

- инжектированный из бустера в нуклотрон пучок адиабатически захвачен в режим ускорения на 5-й кратности и ускорен до энергии 2,8 ГэВ/нуклон; достигнутая эффективность проводки пучка от линейного ускорителя до выхода из нуклотрона составила примерно 25 %;

- реализован стабильный режим медленного вывода с длительностью растяжки 6 с;

- запущены новые системы питания, диагностики и управления канала транспортировки пучка в зону эксперимента BM@N;

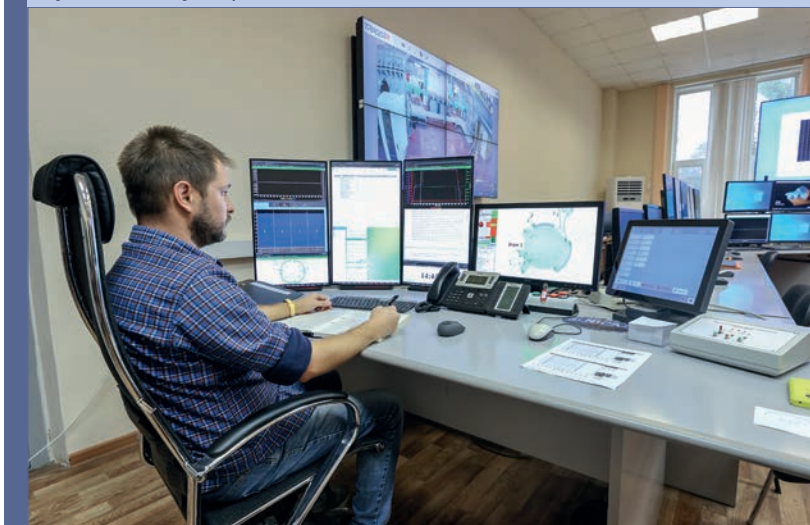
- обеспечена стабильная работа комплекса на эксперимент SRC в течение 24 сут.

15 апреля. Торжественное заседание, посвященное 65-й годовщине начала работы синхрофазотрона



Март 2022 г., строительная площадка коллайдера NICA.
Общестроительные работы по проекту выполнены на 80 %





20 сентября стартовал **4-й цикл пусконаладочных работ** с ускорением пучков ионов Ar и Xe, генерируемых на источнике Krion-6T. Выполнены следующие работы:

- источник Krion-6T совместно с ускорителем NICA оптимизирован для производства и ускорения ионов Ar и Xe в разных зарядовых состояниях;

- проведено тестирование оборудования станции для прикладных исследований электронных компонентов СОЧИ пучками ионов Ar¹²⁺; в ионном пучке диаметром 100 мм на микросхеме размером 20 × 20 мм было достигнуто распределение дозы с неоднородностью менее 10%. При облучении микросхемы XC6SLX16 сечение однособытийного эффекта (single event effects — SEE) составило $1,9 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-2}$ при флюенсе $3,5 \cdot 10^4$ ионов/см²;

- бустер настроен на ускорение ионов Ar¹²⁺, а затем и ¹⁴²Xe²⁸⁺; осуществлена динамическая коррекция орбиты в течение всего цикла ускорения; достигнутая интенсивность ускоренного пучка ¹⁴²Xe²⁸⁺ составила примерно $2 \cdot 10^7$ частиц за сброс;

- последовательно испытаны две перезарядные мишени из меди и титана, канал транспорти-

ровки пучка из бустера в нуклотрон оптимизирован для проводки полностью ободранных ионов Xe⁵⁴⁺;

- получена циркуляция пучка в нуклотроне;

- пучок ускорен на 4-й кратности ускоряющего ВЧ-напряжения до энергии примерно 4 ГэВ/нуклон, интенсивность ускоренного пучка ¹⁴²Xe⁵⁴⁺ составила до $1 \cdot 10^7$ частиц за сброс;

- реализован медленный вывод пучка с длительностью растяжки до 2 с (рис. 1);

- осуществлено облучение фотоэмульсий по программе проекта «Беккерель»;

- проведена калибровка новых устройств диагностики и произведе-

ден монтаж вакуумной системы канала выведенного пучка;

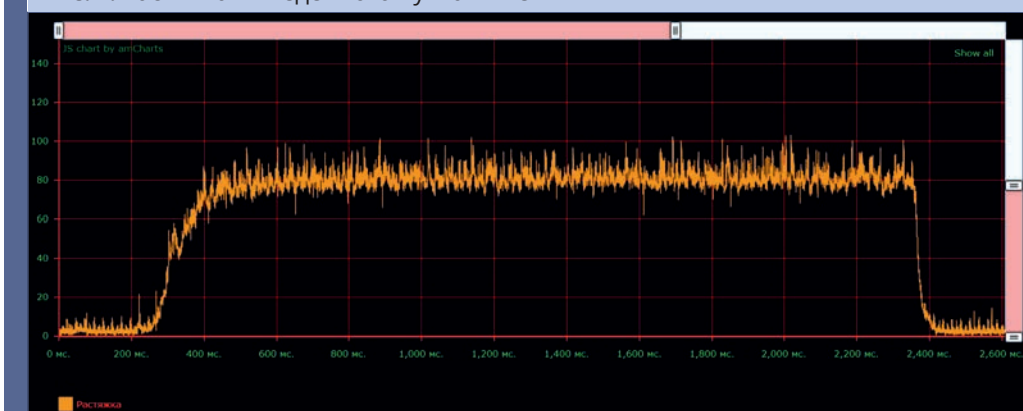
- пучок доведен в зону установки BM@N, интенсивность пучка по триггерам BM@N составила до $5 \cdot 10^5$ частиц за сброс, что удовлетворяет требованиям эксперимента.

Проведены эксперименты по электронному охлаждению пучка ¹⁴²Xe²⁸⁺ в бустере на энергии инъекции. Осуществляются оптимизация режима медленного вывода и подготовка к исследованиям по программе BM@N.

Изготовление оборудования каналов транспортировки из нуклотрона в коллайдер осуществляется французской фирмой SigmaPhi. Оборудование большинства подсистем изготовлено, частично поставлено в ОИЯИ, частично находится на хранении в SigmaPhi. Исключением являются часть источников питания, профилометры из сцинтилляционного волокна, системы контроля и управления оборудованием каналов. Активно ведутся переговоры об их поставке.

Все дипольные магниты арок коллайдера установлены и отъюстированы в туннеле, изготовление и тестирование остальных элементов криомагнитной системы — в завершающей стадии. Монтажные работы приостановлены до сда-

Рис. 1. Растяжка выведенного пучка ¹⁴²Xe⁵⁴⁺



Дипольные магниты,
установленные в арке туннеля коллайдера



чи инженерной инфраструктуры здания, расположенной в ключевых помещениях.

Продолжена реконструкция измерительного павильона для прикладных исследований. Для координации деятельности в рамках коллаборации **ARIADNA** создан комитет по прикладным исследованиям и инновациям на комплексе NICA (Applied Research and Innovation Committee — NICA ARIC), в состав которого вошли признанные на мировой арене ученые по направлениям исследований, соответствующим назначению создаваемых каналов и облучательных станций. В задачи NICA ARIC входит содействие выработке научно-технической политики реализации прикладных исследований на каналах ARIADNA и экспертная оценка предложений пользователей о проведении экспериментов. Изготовлены и ис-

Ускорительный комплекс NICA



питаны установки для проведения прикладных исследований ИСКРА и СИМБО.

Основные результаты, полученные по проекту «Нуклотрон–NICA» в 2022 г., были опубликованы в работах [1–13].

Проект MPD

Ключевым элементом установки MPD является крупногабаритный *соленоидальный сверхпроводящий магнит*. Для запуска его в работу при $T = 4,5$ К и начала магнитных измерений предполагается выполнить большой цикл работ, включая испытания на прочность и герметичность, электрические тесты, сборку и испытания криогенной системы, а также сборку и подключение водяного охлаждения систем электропитания соленоида. Испытания соленоида предполагают проверку вакуумного объема соленоида, контура азотного теплового экрана, а также контура циркуляции жидкого гелия на прочность и герметичность. Для их проведения был изготовлен испытательный стенд, адаптирована под испытания вакуумная система соленоида, разработана программа автоматического управления вакуумной системой, предотвращающей выход из строя оборудования или разгерметизацию соленоида в процессе испытаний.

В ходе испытаний была обнаружена и устранена течь контура азотного экрана в месте пайки медного трубопровода. В это же время специалисты сектора инженерной поддержки MPD совместно с представителями ASG проверили работоспособность разъемов для управляющих и информационных сигналов системы контроля и управления. Были проверены датчики температуры и датчики напряжения, проверено на целостность около 450 кабелей. Ведется подготовка к измерению карты магнитного поля соленоида.

На основе информации о подключениях от всех детекторных групп (FFD, ECal, ToF, TPC) создается система управления и контроля подсистемами детекторов MPD, которая будет расположена на специальной платформе вблизи соленоида. Разработан и изготовлен стенд в натуральную величину — сектор, состоящий из трех балок магнитопровода с расположенными над ними элементами соленоида и силового каркаса.

Стенд позволяет смоделировать положение любого из окон магнитопровода за счет подвижной конструкции силового каркаса, что дает возможность оценить заполняемые кабелями и трубами объемы в требуемой зоне, а также удобство выполнения механических манипуляций при их прокладке и зафиксировать полученные результаты для дальнейшего использования непосредственно на установке MPD.

Завершено изготовление корпуса TPC, идет проверка его герметичности. Изготовлено и протестировано 24 серийных РОС камеры и 4 запасных. Газовая система TPC передана в опытную эксплуатацию с тестовым объемом. Изготовле-

Установка трех последних балок магнитопровода детектора MPD

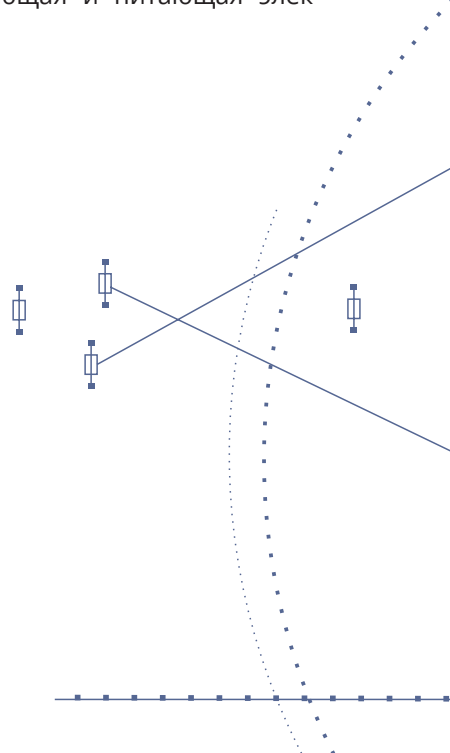


на и хранится в тестовом режиме система лазерной калибровки на основе двух UV-лазеров. Приобретены все панели термостабилизации и радиаторы для электроники системы охлаждения TPC + ECal. Изготовлено 537 карт системы считывания, ведется тестирование карт и прототипа контроллера. Для системы низковольтного

и высоковольтного питания получено 13 крейтов EASY3000 (CAEN), закуплено 6 км LV-кабелей с сечением 120 и 50 мм² и HV-кабель, заключен контракт на поставку 60 модулей CAEN.

В 2022 г. продолжалась сборка детекторов MRPC и модулей ToF MPD. Еще ранее была произведена вся считывающая и питающая элек-

Испытания и наладка вакуумной системы соленоида



Локализация и ремонт азотного контура теплового экрана соленида



Проверка целостности сверхпроводящих кабелей обмотки соленида



троники и закуплены все материалы для сборки детекторов и модулей ToF. Производство и тестирование детекторов было полностью завершено. На конец 2022 г. изготовлено 320 детекторов при необходимых 280. Собрано 25 из 28 модулей ToF.

В 2022 г. было завершено производство оборудования интеграции модулей ToF в MPD. Рельсы для установки модулей ToF также изготовлены и установлены на силовой каркас. Сборка оборудования газоснабжения и распределения газовой смеси для времяпролетной системы ToF уже ведется в экспериментальном зале MPD в здании 17. Полностью автоматизированная газовая система ToF с рециркуляцией и очисткой газовой смеси является очень сложной сервисной подсистемой. Основное оборудование систе-

мы газоснабжения готовится к установке на свою рабочую позицию.

В 2022 г. было закончено производство первой партии модулей *электромагнитного калориметра ECal*, ответственность за которую лежит на ОИЯИ. Всего произведено 800 модулей, по 16 башен в каждом. Создан стенд для тестирования электроники считывания световых сигналов с башен модулей. Все имеющиеся 600 плат протестированы, определена рабочая точка по напряжению для каждого детектора света SiPM. Создан участок для предварительной проверки и калибровки модулей с использованием космических мюонов с расчетом возможности одновременного тестирования 32 модулей. Это обеспечит непрерывность работы участка склейки модулей в кластеры. Было проверено 800 модулей, из них 20 отправлено на реставрацию (по разным причинам) и возвращено на тестирование и далее на участок склейки кластеров; ни один модуль не был отбракован. Ведется постоянный анализ калибровочных данных, исследуется разброс калибровочных коэффициентов и их сравнение для разных типов модулей и модулей от разных производителей.

Создан участок склейки модулей в кластеры по 16 штук. Разработаны стапелы для склейки модулей с максимальной

точностью. Две бригады в сжатые сроки произвели склейку всех имеющихся 800 модулей, из которых собрано 50 кластеров. Стапель для окончательной сборки полусекторов был доработан и оснащен вспомогательными механизмами, проведена его геодезическая юстировка. Начата тестовая сборка корзин полусекторов, и смонтированы 4 корзины модулей калориметра.

В 2022 г. были получены две партии модулей, произведенных в Китае, из трех запланированных. В ближайшее время планируется получить все 800 модулей, изготовление которых является ответственностью Китая. Начавшаяся проверка модулей показывает их хорошее качество; калибровочные коэффициенты идентичны с модулями, произведенными в России. Сейчас ведутся подготовительные работы для начала производ-

ства новой партии модулей в России с тем, чтобы к моменту сборки MPD иметь собранными 37 полусекторов, что составит 75 % всего калориметра. Проводятся испытания системы воздушного охлаждения электроники в кластерах. С использованием разработанной системы мониторинга ведутся проверки стабильности работы калориметра на уровне кластеров. К установке в MPD планируется подготовить как минимум 33 корзины (66 % от полного количества); предпринимаются усилия для увеличения количества готовых к установке корзин до 41.

Коллаборация MPD, объединяющая усилия более 450 участников из 10 стран, в 2022 г. опубликовала большой обзор, представляющий статус и физические результаты, ожидаемые на начальном этапе эксперимента [14].

Эксперимент BM@N

Целью эксперимента BM@N является исследование динамики реакций и изучение свойств адронов в плотной ядерной материи, изучение околопорогового рождения странных гиперонов и поиск гиперядер во взаимодействиях выведенных пучков ионов нуклотрона с фиксированными мишенями. В 2022 г. проводился анализ экспериментальных данных, зарегистрированных во взаимодействиях ионов аргона с кинетической энергией 3,2 А ГэВ на ядрах Al, Cu, Sn, Pb на нуклотроне. По данным центральной и внешней трековых систем и времяпролетной системы были идентифицированы заряженные π^+ -, K^+ -ме-

зоны, а также протоны и легкие ядерные осколки ${}^3\text{He}$, $d/{}^4\text{He}$, t . Рис. 2 и 3 иллюстрируют результаты, представленные в статье [15], подготовленной по результатам исследования рождения π^+ - и K^+ -мезонов в аргон-ядерных взаимодействиях.

Реализация программы BM@N по исследованию взаимодействий тяжелых ядер началась в 2022 г. с эксперимента в пучке ионов Xe с кинетической энергией до 3,9 А ГэВ. Планируется набрать статистику до $2 \cdot 10^9$ взаимодействий Xe с мишенью CsI. Полученные в 2022 г. участниками BM@N результаты опубликованы в [15–18].

Детекторы полной конфигурации BM@N для работы в пучках тяжелых ионов были разработаны и установлены в установку (рис. 4).

В состав установки BM@N входят следующие компоненты: кремниевые трековые детекторы пучка, плоскости передних кремниевых трековых детекторов (FwdSi), трековые станции, состоящие из детекторов GEM, две стенки времяпролетных детекторов (ToF-400 и ToF-700), средние и большая катодные стриповые камеры (CSC) и дрейфовые камеры внешней трековой системы, передний адронный калориметр (ZDC), передний адронный годоскоп и стенка сцинтилляционных детекторов перед ZDC, система триггерных детекторов (баррельный детектор, кремниевый детектор множественности, передний триггерный детектор, детекторы пучка), мишенная станция, вакуумный ионопровод до мишени и вакуумный ионопровод из углепластика внутри трековой системы BM@N, триггерная система и система сбора данных.

Общий вид экспериментальной зоны BM@N (осень 2022 г.)

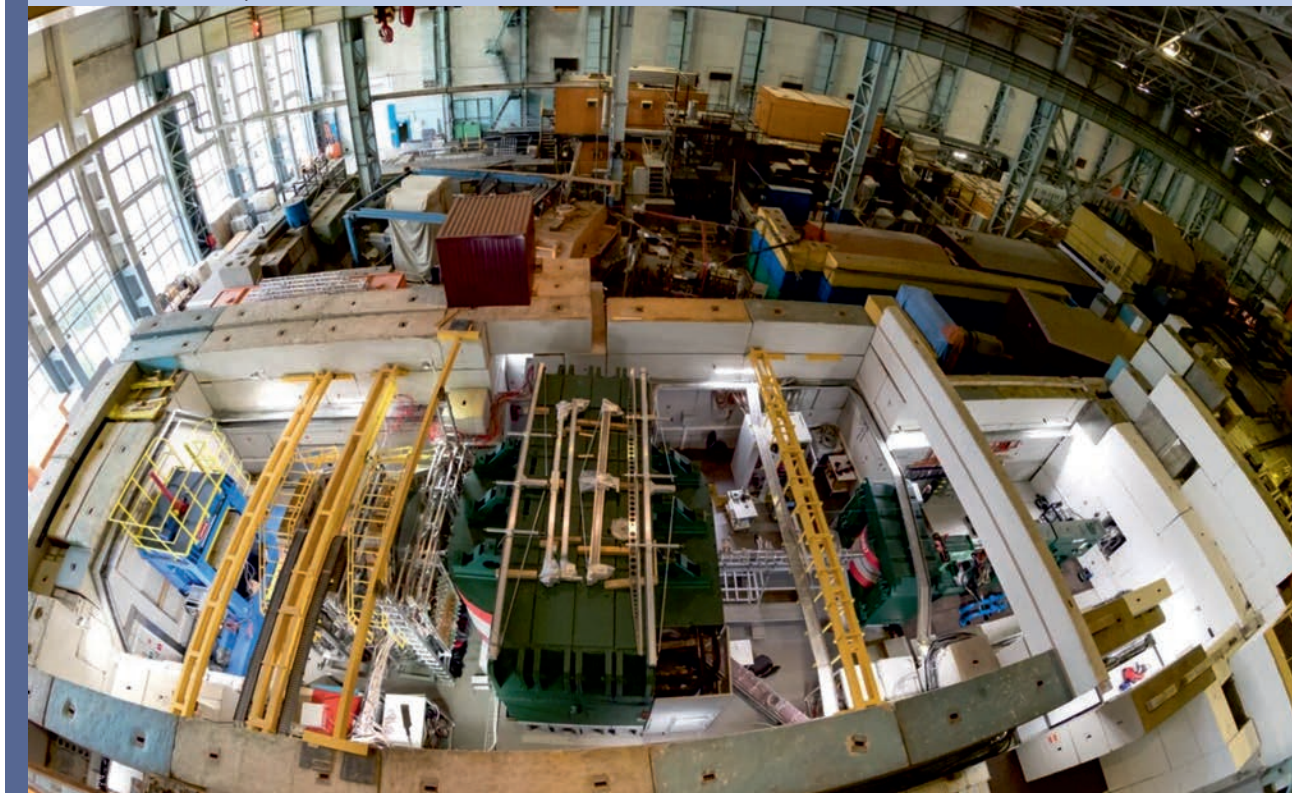


Рис. 2. Слева: спектры по быстрой K^+ -мезонов, образующихся во взаимодействиях Ar + Sn, в разных интервалах поперечного импульса. Предсказания моделей DCM-SMM, UrQMD и PHSD показаны цветными линиями. Справа: инвариантные спектры по поперечному импульсу π^+ -мезонов в разных интервалах по их быстрой

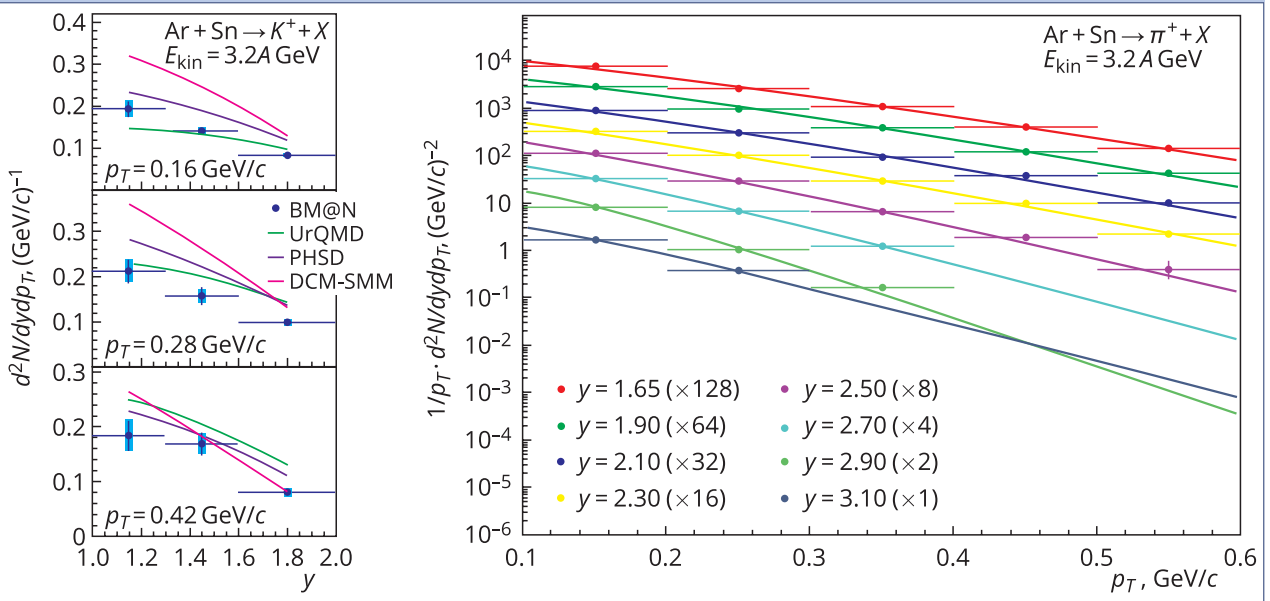


Рис. 3. Зависимость от быстрой обратного наклона T_0 инвариантных p_T -спектров π^+ -мезонов (слева) и K^+ -мезонов (справа), образующихся во взаимодействиях Ar + Sn. Предсказания моделей DCM-SMM, UrQMD и PHSD показаны цветными линиями

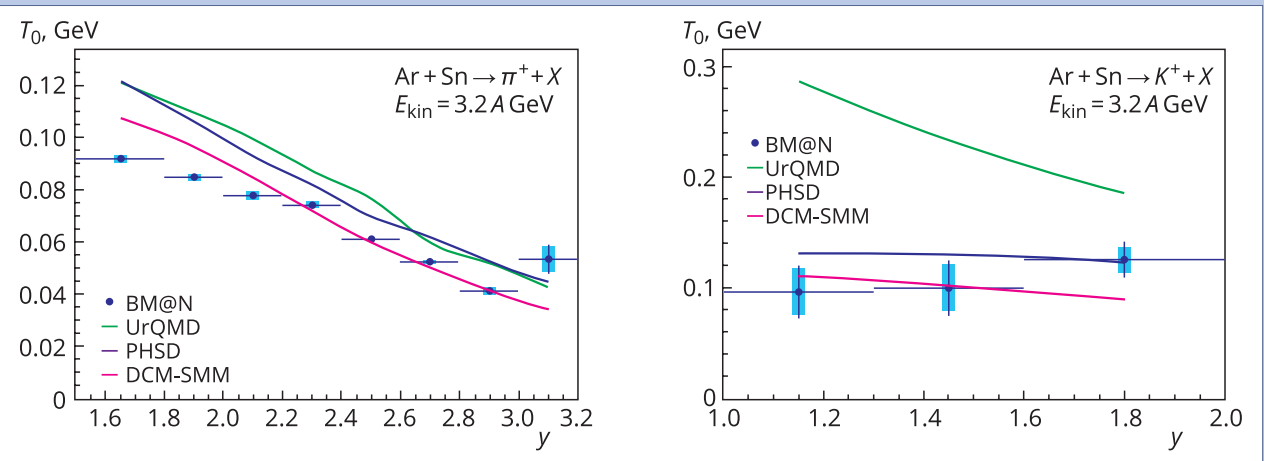


Рис. 4. Полная конфигурация детекторов BM@N для реализации программы исследований в пучках тяжелых ионов

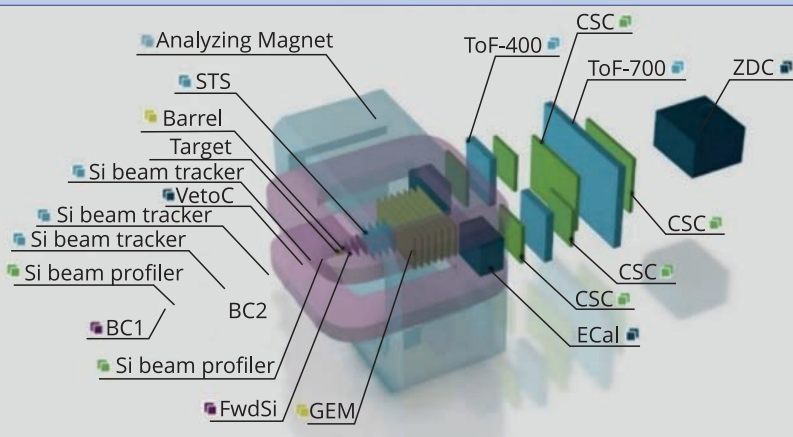
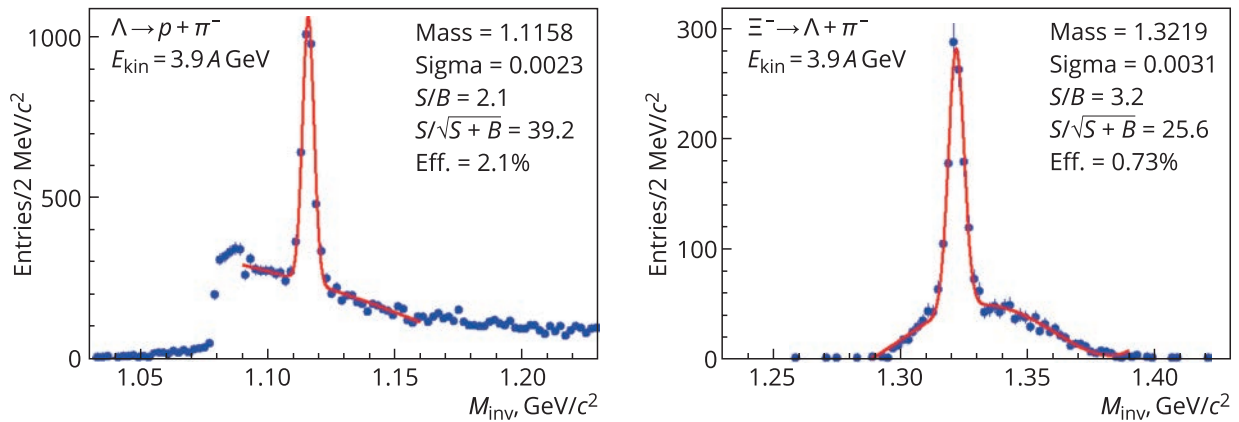


Рис. 5. Спектры инвариантных масс, показывающие сигналы Λ - (слева) и Ξ^- -гиперонов (справа), реконструированные в центральной трековой системе BM@N



Была исследована возможность реконструкции в эксперименте BM@N гиперонов, образующихся во взаимодействиях Xe + CsI при кинетической энергии пучка 3,9 А ГэВ. На рис. 5 показаны сигналы Λ - и Ξ^- -гиперонов, реконструированные с помощью центральной трековой системы BM@N.

Проект SRC

В рамках программы SRC проводятся исследования короткодействующих двухнуклонных корреляций нуклонов, находящихся в течение короткого времени в непосредственной близости друг от друга внутри ядра. Изучаются кинематические особенности процессов выбивания из ядра пары скоррелированных нуклонов. Выведенные ядерные пучки нуклотрона и водородная мишень позволяют проводить такие эксперименты в обратной кинематике, когда нуклоны выбиваются из ускоренного ядра, налетающего на покоящийся протон, при этом энергии вторичных частиц позволяют восстановить полную кинематику реакции.

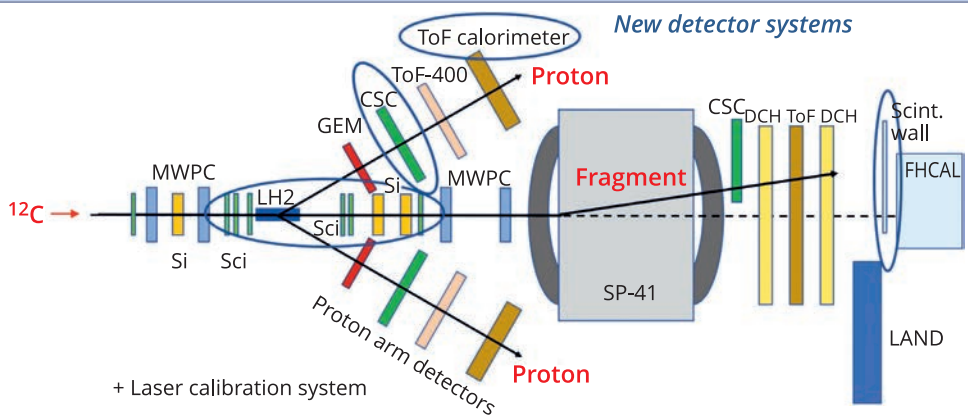
В марте 2022 г. международная коллаборация SRC при помощи спектрометра BM@N про-

вела эксперимент на пучке ^{12}C с импульсом 3,75 ГэВ/нуклон, что стало продолжением успешного пилотного эксперимента 2018 г. Ожидается существенное увеличение статистики полезных событий, получение абсолютных сечений для изучения структуры ядра углерода-12 и идентификации короткодействующих корреляционных пар. Для этого конфигурация установки была значительно изменена (рис. 6).

Добавленные компоненты включают в себя новую криогенную водородную мишень, стартовые счетчики с улучшенным временным разрешением, расширенный набор детекторов быстрых фрагментов, а также катодно-стриповые камеры и времяпролетные калориметры в двухплечевом спектрометре.

В сеансе 2022 г. было набрано 185 млн событий, что почти в пять раз превышает статистику пилотного сеанса. В настоящее время проводится анализ набранных данных [19, 20]. Проведенный сеанс завершил запланированную программу SRC в рамках эксперимента BM@N. По завершении измерений детекторные системы, созданные коллаборацией SRC, были перенесены на канал эксперимента «Гипер-НИС».

Рис. 6. Конфигурация детекторов эксперимента SRC на установке BM@N в сеансе 2022 г.





Проект SPD

Главным достижением 2022 г. явилось завершение разработки технического проекта SPD. Он основан на результатах, полученных в ходе создания и изучения свойств прототипов элементов детекторов и подсистем SPD. Наиболее значительным изменением в конструкции установки SPD по сравнению с концептуальным дизайн-проектом является замена магнитной системы на классическое расположение соленоидального магнита для детекторов этого типа.

Группа *мюонного детектора* провела большую методологическую работу по созданию прототипов для испытаний на тестовом пучке нуклотрона и для технологических целей. Завершена сборка и настройка прототипа рабочей системы с полным количеством детекторов MDT (68 шт.) и аналоговой электроникой на базе плат ADB-32 для 1344 каналов считывания. Продолжалась работа по оптимизации аналоговой электроники для считывания проводных и полосовых сигналов, совместно с ОАО «Интеграл» (Минск) была изготовлена пробная партия усилителей Ampl-8.52 и Ampl-8.11R.

Проведена техническая разработка основных направлений *криогенной системы* SPD. Для гелиевой системы были рассчитаны два типа криогенных установок — охлаждение и сжижение — из-за двух возможных конструкций сверхпроводящей обмотки детектора. Все криогенные и теплые трубопроводы проложены, готовится документация для утверждения маршрута. Общий дизайн опережает план работ по криогенной системе.

Геометрия и компоновка *электромагнитного калориметра* оптимизированы для размещения

внутри криостата соленоида. Были изготовлены и испытаны с космическими мюонами 16 модулей, состоящих из 64 ячеек с размерами 55×55 мм и 180 слоев чередующейся структуры (0,5 мм Pb + 1,5 мм сцинтиллятор).

Продолжается работа по выбору концепции для считывающей электроники *строу-трекера* SPD: изучаются существующие микросхемы (VMM3/3a и TIGER) и в тесном сотрудничестве с Минском, МИФИ и Зеленоградом разрабатываются новые ASIC, максимально отвечающие требованиям к считывающей электронике строу-трекера SPD.

Первый этап моделирования методом Монте-Карло для проекта TDR ВВС был выполнен для $p + p$ столкновений при 10 и 27 ГэВ, начато моделирование $p + d$ и $d + d$ столкновений. На тестовом канале проведены испытания прототипов сцинтилляционных счетчиков с FEE на базе ToT, DANSS, FERS5200 и NINO. Прототипы, разработанные мексиканскими и чилийскими группами, были протестированы с космическими мюонами. Новая конструкция детектора ВВС на базе МКП для SPD была разработана для того, чтобы избежать развития радиочастотных нестабильностей в циркулирующих пучках коллайдера NICA. Дизайн был одобрен командой ускорителя. Моделирование доказало его применимость для циркулирующих пучков коллайдера NICA. Прототипы детекторов на основе МКП для SPD были протестированы на пучках нуклотрона и электронных пучках линейного ускорителя Linac-200.

В рамках создания прототипа *кремниевого вершинного детектора* на основе DSSD были измерены статические характеристики (I-V) и (C-V)

крупногабаритных кремниевых детекторов 63×93 мм, разработанных по контракту между ОИЯИ и ЗНТЗ (Зеленоград). Разработана концепция центрального трекера на базе Micromegas для первого этапа запуска SPD, и начаты испытания прототипов.

Аппаратные и логические интерфейсы между **бестриггерной потоковой DAQ** и интерфейсной электроникой мюонной системы были полностью формализованы. Ведутся работы по созданию прототипа FEE-карты для мюонной системы и концентратора первого уровня. Совместно с СПбПУ было разработано техническое задание на использование протокола White Rabbit PTP в системе синхронизации детекторов SPD. Ведется работа над возможностью создания специализированных микросхем для интерфейсной электроники (ASIC) в России и Белоруссии. Соответствующие соглашения уже подписаны.

Разработан прототип пакета онлайн-фильтров и прототип автономного **программного обеспечения**, основанного на пакете GAUDI. Ведется работа по созданию модели детектора с использованием пакета GeoModel. Создан прототип распределенной вычислительной системы SPD на основе PANDA и RUCIO.

Завершен первый этап разработки **тестовой зоны** SPD. Создана инфраструктура для тестирования детекторов, включая экспериментальную комнату и газовую систему, необходимую для работы детекторов. Полным ходом идет процесс

подписания меморандума о взаимопонимании с 32 институтами, участвующими в коллаборации SPD. В течение 2022 г. участники группы SPD ОИЯИ выступили с 18 докладами на международных конференциях, 8 работ были опубликованы или направлены в журналы.

Проект DSS

В 2022 г. в рамках проекта DSS были выполнены работы по восстановлению работоспособности внутренней мишени нуклотрона и аппаратуры проекта DSS. Получены экспериментальные данные для трехчастичных корреляций в $C+C$, $C+Al$, $C+Ag$ и $C+W$ столкновениях на внутренней мишени. Выполнена подготовка к измерениям на пучках Xe и Kr на внутренней мишени нуклотрона.

Результаты анализа экспериментальных данных по угловым зависимостям дейтронных анализирующих способностей A_{yy} , A_{yy} и A_{xx} упругого дейтрон-протонного рассеяния при энергии дейтрона 1300 МэВ, интерпретация данных в рамках модели многократного рассеяния с учетом возбуждения дельта-изобары в промежуточном состоянии, по угловым зависимостям анализирующей способности A_y реакции квазиупругого протон-протонного рассеяния при энергиях 200–650 МэВ/нуклон докладывались на международных конференциях «Ядро-2022», ICPPA-2022 и AYSS-2022.

5 марта. Плановая встреча генерального подрядчика проекта NICA компании АО «Штрабаг» и дирекции ОИЯИ





УЧАСТИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ВНЕШНИХ УСКОРИТЕЛЯХ

ALICE

Главные усилия группы ОИЯИ в анализе данных и в физическом моделировании в эксперименте ALICE на LHC были сконцентрированы на изучении фемтоскопических (включая трехмерные) корреляций пар каонов и π -мезонов, исследовании рождения векторных мезонов в ультрапериферических Pb+Pb столкновениях и на развитии теоретической модели образования адронов в $p+p$ и Pb+Pb столкновениях [21–24]. В частности, получено предварительное указание на увеличение размеров источников излучения каонов для более центральных событий и меньших поперечных импульсов пар. В событиях с когерентным фоторождением четырех пионов ($\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$) в ультрапериферических Pb+Pb соударениях при энергии 5,02 ТэВ в с. с. м. изучено проявление интерференционных эффектов в спектре их инвариантной массы. Был завершен анализ фемтоскопических корреляций пар K^+K^- для Pb+Pb столкновений при 2,76 ТэВ в рамках модели FS1 с использованием свободных параметров для $f_0(980)$, получены радиусы источников излучения каонов при различных импульсах пар, значения массы и ширины мезона. Продолжа-

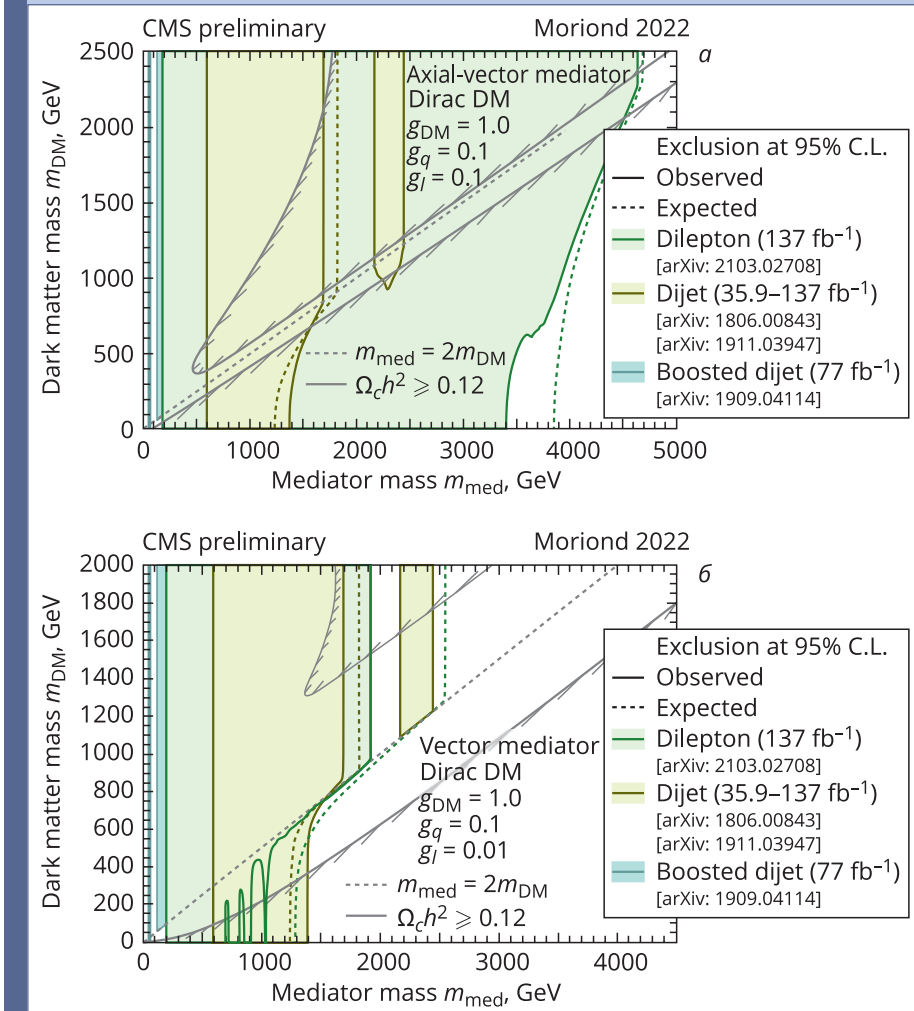
лось развитие трехкомпонентной модели с описанием импульсных спектров адронов, отношений их выходов и потоков частиц, образующихся в $p+p$, Xe+Xe и Pb+Pb столкновениях при различных энергиях LHC.

В связи с предстоящей реконструкцией детекторов ALICE решалась задача замены фотодетекторов и электроники для улучшения временного разрешения электромагнитного калориметра PHOS без ухудшения его энергетического разрешения. Разработан фотодетектор, который имеет временное разрешение для фотонов с энергией делением в кристалле 1 ГэВ около 140 пс, что в 15 раз улучшает настоящее значение.

CMS

Физиками ОИЯИ в эксперименте CMS проведен анализ данных сеанса LHC, проходившего в 2015–2018 гг. на встречных пучках протонов при энергии 13 ТэВ. В объединенном канале рождения пары струй и пары лептонов установлены пределы (на уровне статистической достоверности 95 %) на массы частиц-кандидатов на роль частиц темной материи (ТМ) m_{DM} и частицы-переносчика взаимодействия с темным

Рис. 7. Пределы (95% C.L.) на массы частиц-кандидатов на роль частиц темной материи m_{DM} и частицы-переносчика взаимодействия с темным сектором m_{med} . Закрашенная область соответствует закрытым значениям масс для псевдовекторного (вверху) и векторного (внизу) переносчика



сектором m_{med} (рис. 7). Рассмотрен случай упрощенного сценария ТМ с одной дираковской частицей ТМ ($g_{DM} = 1,0$) для псевдовекторного и векторного переносчика в сценариях лептофильных ($g_q = g_l = 0,1$) и лептофобных ($g_q = 0,1$ и $g_l = 0,01$) констант связи соответственно.

Группа ОИЯИ принимает активное участие в модернизации установки CMS для работы в условиях высокой светимости HL-LHC — в создании калориметра высокой гранулярности (HGCAL) и модернизации передней мюонной станции ME1/1. В рамках выполнения обязательств ОИЯИ разработано и изготовлено два прототипа системы охлаждения HGCAL, которые планируется испытать на специальном стенде в ЦЕРН. С участием сотрудников ОИЯИ проведены исследования характеристик катодно-стриповых камер на установке GIF++ в ЦЕРН.

Грид-инфраструктура ОИЯИ для CMS уровня Tier-1 и Tier-2 активно использовалась для моделирования, обработки и хранения данных эксперимента CMS. Система обработки данных Tier-1,

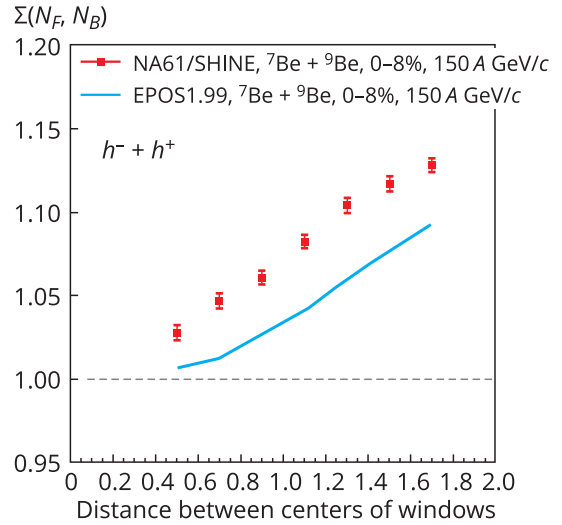
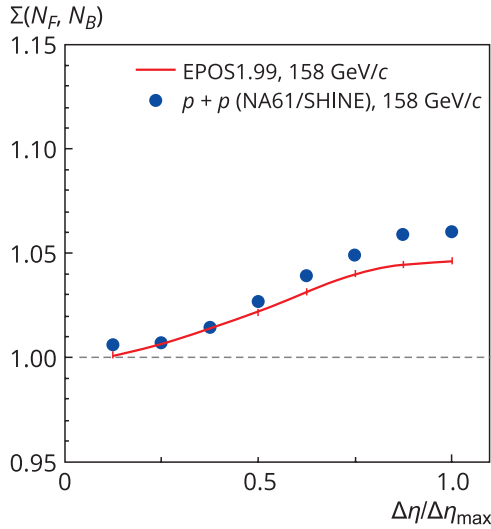
увеличенная до 18 656 ядер, обеспечила производительность в 1 497 365,628 kHS06 за 2022 г. В 2022 г. обработано более 274 млн событий, что составляет 19% от общего числа обработанных событий и 21% от общего числа задач, выполненных во всех центрах Tier-1 для эксперимента CMS.

В 2022 г. физики ОИЯИ внесли определяющий вклад в подготовку 22 научных работ и одного патента, сделано 38 докладов на различных конференциях [25–30].

NA61

Программа научно-исследовательских работ эксперимента NA61/SHINE включает несколько направлений, одним из которых является поиск критической точки сильновзаимодействующей ядерной материи в релятивистских ядро-ядерных столкновениях при энергиях SPS путем сканирования фазовой диаграммы как по температуре, так и по барионному химическому потенциалу. В окрестности критической точки система не-

Рис. 8. $\Sigma(N_F, N_B)$ как функция расстояния между прямыми (F) и обратными (B) интервалами псевдобыстрот в неупругих реакциях $p + p$ (слева) и 8 %-х центральных столкновениях $\text{Be} + \text{Be}$ (справа) при импульсе пучка 158 ГэВ/с и 150 А ГэВ/с соответственно. Точки — экспериментальные данные для всех заряженных частиц, линии — результаты EPOS1.99 при акцептансе NA61/SHINE



стабильна и должна испытывать флуктуации. Характерные признаки можно было бы увидеть в флуктуациях множественности заряженных частиц [31].

Примером флуктуационного зонда может служить величина $\Sigma(N_F, N_B) = (\langle N_F \rangle \omega(N_B) + \langle N_B \rangle \omega(N_F) - 2(\langle N_F N_B \rangle - \langle N_F \rangle \langle N_B \rangle)) / (\langle N_F \rangle + \langle N_B \rangle)$. Она характеризует функцию расстояния между прямым (F) и обратным (B) интервалами псевдобыстрот, где N_F и N_B — соответствующие множественности и $\omega(N_{F,B}) = \langle N_{F,B}^2 \rangle - \langle N_{F,B} \rangle^2 / \langle N_{F,B} \rangle$ (рис. 8).

Изменение значения акцептанса псевдобыстрот для $\Sigma(N_F, N_B)$ соответствует сканированию барионного химического потенциала μ_B на стадии вымораживания. Разработанный подход означает, что значение $\Sigma(N_F, N_B)$ должно быть равно 1 для распределений Пуассона N_F и N_B в модели независимых источников и 0 для отсутствия флуктуаций $N_F - N_B$. Результаты анализа $p + p$ и $\text{Be} + \text{Be}$ данных не показывают какого-либо немонотонного поведения. Изучение данных по отрицательно заряженным частицам и с суммарным зарядом в $p + p$ взаимодействиях также не выявляет какого-либо существенного разрыва, которого можно было бы ожидать, если бы система приближалась к критической точке.

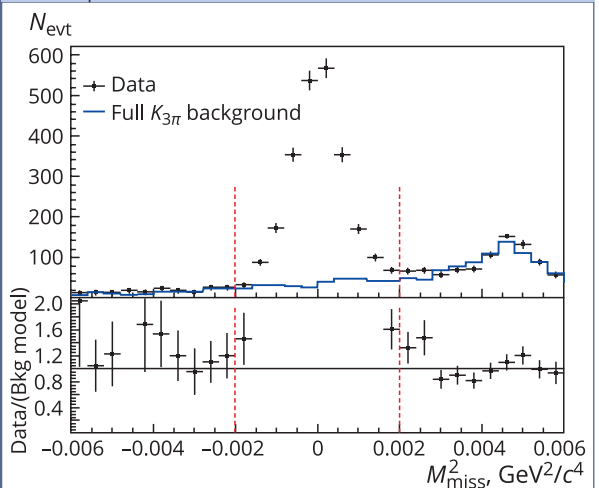
В настоящее время анализ накопленных данных эксперимента NA61/SHINE с другими ядрами и энергиями продолжается, опубликовано 8 научных работ. В частности, показано удовлетворительное описание данных NA61/SHINE в рамках модифицированного автомодельного подхода для отношений выходов K^+/π^+ и K^-/π^- как функции \sqrt{s} в столкновениях $\text{Be} + \text{Be}$. Показано сходство этих распределений с наблюдаемыми для $p + p$ столкновений в широком диапазоне начальных энергий [32].

NA62

Эксперимент NA62 на SPS в ЦЕРН посвящен изучению очень редкого распада заряженного каона на заряженный пион, нейтрино и антинейтрино. Помимо участия в разработке, производстве, калибровке и поддержке работы магнитного спектрометра NA62, разработке программного обеспечения для моделирования и реконструкции событий, группа ОИЯИ проводит анализ экспериментальных данных NA48/2 и NA62. В 2022 г. сотрудники представили 7 докладов на международных конференциях.

Был проанализирован набор данных, полученных в эксперименте NA62 на SPS ЦЕРН в 2017–2018 гг., который включает $2,8 \cdot 10^4$ кандидатов в распады $K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$ с пренебрежимо малым фо-

Рис. 9. Полученное в эксперименте NA48/2 распределение недостающих масс для событий сигнала $K_{\mu 4}^{00}$ с результатами фитирования фона



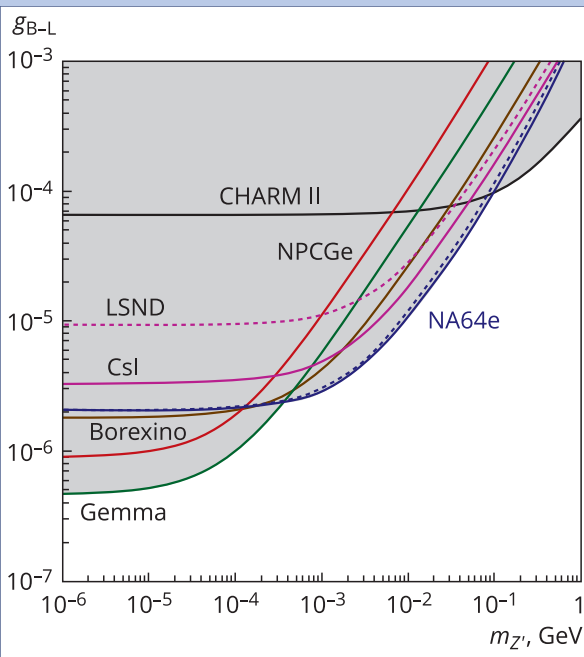
ном [33]. Измеренная модельно-независимая вероятность распада составляет $(9,15 \pm 0,08) \cdot 10^{-8}$, что в три раза точнее предыдущих измерений.

Предварительные результаты поиска редкого распада $K_{\mu 4}^{00}$, никогда ранее не наблюдавшегося, были представлены на международных конференциях [34, 35]. Из 2437 обнаруженных кандидатов в сигналы с отношением сигнала к фону около 6 (рис. 9) с высокой точностью определена вероятность распада: в области квадрата дилептонной массы выше $0,03 \text{ ГэВ}^2/c^4$ вероятность оказалась равной $BR(K_{\mu 4}^{00}, S_1 > 0,03) = (0,65 \pm 0,03) \cdot 10^{-6}$. Результат $BR(K_{\mu 4}^{00}) = (3,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$ для полного фазового пространства, зависящий от экстраполяции модели распада, находится в разумном согласии с предсказанием фактора R из однопетлевого приближения киральной теории возмущений.

NA64

Группа ОИЯИ в эксперименте NA64 на SPS отвечает за координатные трековые детекторы на основе тонкостенных дрейфовых трубок, принимает участие в развитии математического обеспечения для онлайн-мониторинга и сбора данных, в моделировании, реконструкции и анализе экспериментальных данных по поиску темного фотона и иных проявлений «темной» материи.

Рис. 10. Результат NA64 по исключению (90 % C.L.) области существования Z' в модели нарушения B-L симметрии в зависимости от константы связи g_{B-L} и массы $m_{Z'}$ в сравнении с результатами нейтринных экспериментов TEXONO, Gemma (реактор),orexino (солнечные нейтрино), LSND и CHARM II (ускорительные эксперименты)



ЦЕРН (Женева).

Установка NA64 на мюонном (слева) и электронном (справа) каналах ускорителя SPS



В 2022 г. было проведено два сеанса набора на мюонном и электронном пучках и продолжился анализ полученных данных [36–38]. Кроме поиска темного фотона, данные NA64 позволят проверить ряд моделей расширения СМ в области масс кэВ–ГэВ, включающих слабозадействующие короткоживущие частицы (A' , Z' , аксионоподобные частицы и др.). На основе $3,4 \cdot 10^{11}$ еот, зарегистрированных в сеансах 2016–2021 гг., был проведен поиск легкого Z' -бозона, возникающего в моделях расширения СМ, связанных с нарушением барион-лептонной (B–L) симметрии. За генерацию Z' отвечает механизм «темного» тормозного излучения в реакции рассеяния 100-ГэВ электронов на ядерной мишени с последующим распадом Z' на два нейтрино. Недостающая энергия может быть измерена. Результат анализа на 90%-м уровне достоверности исключил данный механизм образования Z' -бозона в диапазоне масс от 1 кэВ до 1 ГэВ, дополнив ранее имеющиеся ограничения, полученные в серии нейтринных экспериментов (рис. 10).

COMPASS

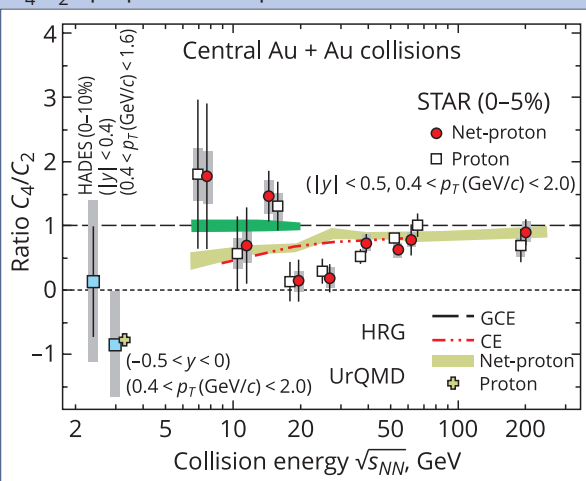
Группа ОИЯИ в эксперименте COMPASS на SPS в ЦЕРН участвовала в сеансе с мюонным пучком с импульсом 160 ГэВ/с, рассеивавшимся на поперечно-поляризованной ${}^6\text{LiD}$ -мишени, обеспечивая стабильную работу системы идентификации рассеянного мюона MW1 и адронного калориметра HCAL1. Полученные данные позволяют завершить работу по изучению вкладов кварков в поперечную спиновую структуру нуклона. Были получены предварительные результаты для продольной двойной спиновой асимметрии в эксклюзивном рождении ρ^0 -мезона с использованием протонных и дейтронных данных COMPASS, а также для константы связи $F_{3\pi}$ в эксклюзивной реакции $\pi^-A \rightarrow \pi^- \pi^0 A$.

В 2022 г. сотрудники сделали два доклада на международных конференциях и опубликовали две работы [39, 40].

STAR

В 2022 г. состоялся первый сеанс с поперечно-поляризованными протонами с энергией 510 ГэВ по программе Cold QCD. После модернизации установки STAR удалось провести измерения в области псевдобыстрот $-1,5 < \eta < 1,5$ (mid-rapidity) и $2,8 < \eta < 4,2$ (forward rapidity), соответствующей диапазону по переменной Бьеркена $0,005 < x < 0,5$, и изучить распределения Сиверса, трансверсити, функции фрагментации Коллинза в ранее недоступных областях, расширив анализ асимметрий рождения W^\pm - и Z^0 -бозонов.

Рис. 11. Отношение протонных кумулянтов C_4/C_2 при разных энергиях



Выполнен анализ экспериментальных данных, полученных на установке STAR в программах энергетического сканирования BES-I и BES-II:

- проведен анализ фемтоскопических корреляций тождественных пионов в Au + Au столкновениях при энергиях $\sqrt{s_{NN}} = 3,0$ и $3,2$ ГэВ/нуклон в программе «Fixed-Target» (FXT);

- изучены флуктуации нет-протонов при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 3$ ГэВ в Au + Au столкновениях для поиска критической точки. Измерены протонные кумулянты высокого порядка [41]. Полученное отношение C_4/C_2 при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 3$ ГэВ воспроизводится адронной транспортной моделью (UrQMD) (рис. 11). Это означает доминирование адронных взаимодействий при этой энергии, следовательно, область возможного существования критической точки относится к более высоким энергиям.

HADES и CBM

В рамках проекта HADES продолжались работы по модификации модели OPER для моделирования процессов $p + p \rightarrow ppp^+\pi^-$ и $n + p \rightarrow npp^+\pi^-$ при энергиях 3,0–4,5 ГэВ, велась разработка программного обеспечения для кинематического анализа реакций.

Был создан экспериментальный стенд на базе модуля TRB3 для работы с FE электроникой для чтения информации с SiPM и МРПК. Выполнено тестирование 16-канальной платы с SiPM считыванием для калориметрии CBM. Направлена в печать статья с результатами оптимизации защиты фотомножителей RICH детектора. Для мюонной системы CBM подготовлены два прототипа строудетектора 50×50 см с электроникой считывания на базе микросхемы AST1-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Khodzhbagiyan H., Kekelidze V., Merkuriev A. et al.* Quadrupole Superconducting Model for Update of the Nuclotron Synchrotron // IEEE Trans. on Appl. Superconductivity: A Publication of the IEEE Superconductivity Committee. 2022. V. 32, No. 6. P. 1–4.
2. *Anchugov O., Shvedov D., Kiselev V. et al.* A Kicker Magnet for Beam Extraction from the Booster into the Booster–Nuclotron Beamline of the NICA Complex // Instrum. Exp. Techn. 2022. V. 65, No. 3. P. 474–481.
3. *Khodzhbagiyan H., Kotova A., Kuznetsov G. et al.* Solenoid for Spin Physics Detector at NICA from the Nuclotron-Type Superconducting Cable // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 19, No. 4. P. 326.
4. *Козлов О. С., Костромин С. А., Мельников С. А. и др.* Актуальные задачи исследования динамики пучка в коллайдере NICA // ЭЧАЯ. 2022. Т. 53, № 5. С. 1220–1273.
5. *Алфеев А. В., Гурылева И. Л., Емельяненко В. Н., Михайлов В. А., Цветкова Ю. А.* Геодезический контроль структурных магнитов ускорительного комплекса ЛФВЭ ОИЯИ // Письма в ЭЧАЯ. 2023. Т. 20, № 4.
6. *Филатов Г. А., Сливин А. А., Сыресин Е. М. и др.* Прогресс в создании новых каналов для прикладных исследований комплекса NICA // Письма в ЭЧАЯ. 2022. Т. 19, № 5. С. 412–417.
7. *Сливин А. А., Агапов А. В., Бутенко А. В. и др.* Сооружение станций для прикладных исследований на ускорительном комплексе NICA // Письма в ЭЧАЯ. 2022. Т. 19, № 5. С. 421–425.
8. *Котова А. А., Никифоров Д. Н., Ходжибагиян Г. Г.* Термодинамические характеристики дублетов квадрупольных магнитов бустерного синхротрона ускорительного комплекса NICA // Письма в ЭЧАЯ. 2022. Т. 19, № 6. С. 643–650.
9. *Filatov G., Slivin A., Agapov A. et al.* Beam Lines and Stations for Applied Research Based on Ion Beams Extracted from Nuclotron // Proc. of the IPAC2022, Bangkok, Thailand, 2022. P. 3096–3098.
10. *Syresin E., Butenko A., Kostromin S. et al.* Challenges of Low Energy Hadron Colliders // Proc. of the IPAC2022, Bangkok, Thailand, 2022. P. 1825–1828.
11. *Slivin A., Agapov A., Baldin A. et al.* Commissioning of the SOCHI Applied Station Beam and Beam Transfer Line at the NICA Accelerator Complex // Proc. of the IPAC2022, Bangkok, Thailand, 2022. P. 3099–3101.
12. *Syresin E., Brovko O., Butenko A. et al.* NICA Ion Collider and Plans of Its First Operations // Proc. of the IPAC2022, Bangkok, Thailand, 2022. P. 1819–1821.
13. *Syresin E., Butenko A., Kostromin S. et al.* Conception of High Intensity Polarized Proton Beam Formation in NICA Collider // Proc. of the IPAC2022, Bangkok, Thailand, 2022. P. 1822–1824.
14. *MPD Collab.* Status and Initial Physics Performance Studies of the MPD Experiment at NICA // Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58, No. 7. P. 140.
15. *Merts S. (BM@N Collab.).* Studies of Dense Baryonic Matter with the BM@N Experiment at the Nuclotron // LXXII Intern. Conf. “Nucleus-2022: Fundamental Problems and Applications”, Moscow, July 11, 2022.
16. *Mamaev M. (BM@N Collab.).* The Baryonic Matter@Nuclotron Experiment: Upgrade and Physics Program Overview // 6th Intern. Conf. on Part. Phys. and Astrophys. (ICPPA-2022), Moscow, 29 Nov. – 2 Dec. 2022.
17. *Baranov D. et al.* Feasibility Studies of Strangeness Production in Heavy-Ion Interactions at the BM@N Experiment Using Monte Carlo Simulations // Phys. Scripta. 2022. V. 97, No. 8. P. 084003.
18. *Guber F. et al.* Study of the Spectator Matter in Heavy Ion Collisions at the BM@N Experiment // Phys. Part. Nucl. 2022. V. 53, No. 2. P. 626–630.
19. *Atovullaev T. et al.* Magnetic Shielding for the PMTs at the Two-Arm Spectrometer for the SRC Project at BM@N // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 19, No. 4. P. 408–411.
20. *Driuk A., Merts S., Nemnyugin S.* Global Tracking in the BM@N Experiment // Phys. Part. Nucl. 2022. V. 53. P. 552–555.
21. *Romanenko G. (ALICE Collab.).* Identical Charged Kaons Femtoscopy Analysis in PbPb Collisions at 5.02 TeV in ALICE. // LXXII Intern. Conf. “Nucleus-2022: Fundamental Problems and Applications”, Moscow, July 11, 2022.
22. *Pozdnyakov V. (ALICE Collab.).* Photoproduction of Vector Mesons in Ultra-Peripheral Heavy-Ion Collisions with ALICE // 56th Rencontres de Moriond, La Thuile AO, France, March 19–26, 2022.
23. *Pozdnyakov V. (ALICE Collab.).* Recent Results on Ultra-Peripheral Heavy Ion Collisions with ALICE at the LHC // 14th Conf. on the Intersections of Part. and Nucl. Phys. (CIPANP 2022), Orlando, Florida, USA, 29 Aug. – 4 Sept., 2022.
24. *ALICE Collab.* $K_S^0 K_S^0$ and $K_S^0 K^+ K^-$ -Femtoscopy in pp Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ and 13 TeV // Phys. Lett. B. 2022. V. 833. 137335.
25. CMS Exotica Summary Plots for 13 TeV Data Moriond2022; https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/SummaryPlotsEXO13TeV#DM_summary_plots.
26. *Barducci D. et al.* Search for a $\mu^+ \mu^- + b$ -jet Event Excess at the Dimuon Mass of 28 GeV in pp Collisions at 13 TeV Using Full Run II Dataset. Analysis Note AN-21-089. Geneva: CERN, 2021. Version of Nov. 2022.
27. *Zygunov V.* Effects of Electromagnetic Radiative Corrections during the Production of Lepton Pairs in a Photon–Photon Fusion at the LHC // Phys. At. Nucl. 2022. V. 85, No. 5. P. 366–380 (in Russian).
28. *Shmatov S.* Searches for New Physics with the CMS Experiment at the LHC // Intern. Conf. on Quantum Field Theory, High-Energy Physics, and Cosmology. Dubna, July 18–21, 2022.
29. *Savina M.* Dark Matter Search at the LHC // Intern. Conf. on Quantum Field Theory, High-Energy Physics, and Cosmology. Dubna, July 18–21, 2022.
30. *Lanyov A.* Physics with Dimuons in the CMS Experiment at the LHC // The Workshop “The Physics of the Dimuons at the LHC” (Dimuons-2022), Dubna, June 23–24, 2022.

31. Prokhorova D. (NA61/SHINE Collab.). Fluctuations and Correlations Study at NA61/SHINE // Acta Phys. Polon. B. Proc. Suppl. 2021. V. 14, No. 3.
32. Lykasov G., Malakhov A., Zaitsev A. Ratio of Kaon-to-Pion Production Cross-Sections in BeBe Collisions as a Function of \sqrt{s} // Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 112.
33. Cortina Gil E. et al. (NA62 Collab.). A Measurement of the $K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$ Decay // JHEP. 2022. V. 11. 011.
34. Madigozhin D. (NA48/2 Collab.). Precise Measurement of the Decay $K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \mu^\pm \nu$ // XLI Intern. Conf. on High Energy Phys. (ICHEP 2022), Bologna, Italy, July 6–13, 2022.
35. Korotkova A. (NA48/2 Collab.). First Measurement of the $K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \mu^\pm \nu$ ($K_{\mu 4}^{00}$) Decay // 56th Recontres de Moriond, La Thuile AO, France, March 19–26, 2022.
36. NA64 Collab. Search for a New B–L Z' Gauge Boson with the NA64 Experiment at CERN // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 129, No. 16. 161801; arXiv: 2207.09979 [hep-ex].
37. NA64 Collab. Search for a Light Z' in the L_μ – L_τ Scenario with the NA64-e Experiment at CERN // Phys. Rev. D. 2022. V. 106, No. 3. 032015; arXiv: 2206.03101 [hep-ex].
38. NA64 Collab. Leptonic Scalar Portal: Origin of Muon $g-2$ Anomaly and Dark Matter? // Phys. Rev. D. 2022. V. 106, No. 1; arXiv: 2202.04410 [hep-ph].
39. COMPASS Collab. Probing Transversity by Measuring Λ Polarisation in SIDIS // Phys. Lett. B. 2022. V. 824. 136834.
40. COMPASS Collab. The Exotic Meson $\pi_1(1600)$ with $J^{PC} = 1^{-+}$ and Its Decay into $\rho(770)\pi$ // Phys. Rev. D. 2022. V. 105, No. 1. 012005.
41. STAR Collab. Measurements of Proton High-Order Cumulants in $\sqrt{s_{NN}} = 3$ GeV Au + Au Collisions and Implications for the QCD Critical Point // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 128. 202303.

ФИЗИКА НЕЙТРИНО И РЕДКИХ ПРОЦЕССОВ, АСТРОФИЗИКА

С вводом в апреле 2022 г. двух новых кластеров рабочий объем байкальского глубоководного нейтринного телескопа **Baikal-GVD** достиг значения $\approx 0,5 \text{ км}^3$ в задаче регистрации событий от нейтрино высоких энергий (более 100 ТэВ). Детектор содержит в своем составе 10 кластеров глубоководных гирлянд регистрирующей и управляющей аппаратуры (2916 оптических модулей) и является крупнейшим нейтринным телескопом Северного полушария.

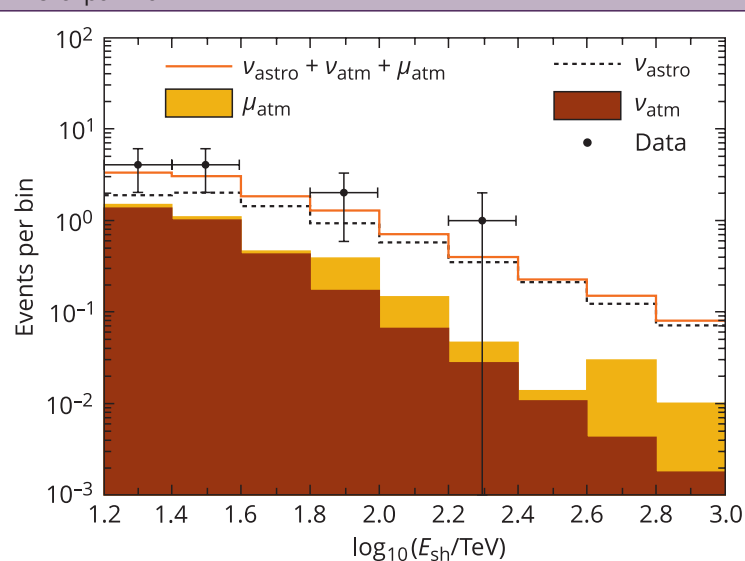
При анализе данных, полученных при работе детектора в конфигурациях 2018–2021 гг., выделены 11 каскадных событий с энергией более 15 ТэВ, инициированных нейтрино астрофизической природы, что на уровне достоверности

3 σ подтверждает результаты первого наблюдения потока астрофизических нейтрино высоких энергий на антарктическом детекторе IceCube (рис. 1) [1].

В эксперименте **Daya Bay**, завершившем работу в 2020 г., проведен осцилляционный анализ полного набора данных. В результате были получены наиболее точные значения параметров осцилляций нейтрино $\sin^2 2\theta_{13} = 0,0851 \pm 0,0024$ и $\Delta m_{32}^2 = 2,466 \pm 0,060$ ($-2,571 \pm 0,060$) эВ² для прямого (обратного) порядка масс нейтрино [2]. Точность измерения $\sin^2 2\theta_{13}$ будет наилучшей по крайней мере 10–15 лет.

В рамках проекта **JUNO** разработаны алгоритмы реконструкции энергии в детекторе при

Рис. 1. Эксперимент Baikal-GVD. Распределения по энергии экспериментальных и теоретически ожидаемых событий в рамках анализа каскадных событий из-под горизонта: экспериментальные события — черные точки; распределение событий, ожидаемое от диффузного потока нейтрино астрофизической природы, — штриховая гистограмма; фоновые события от атмосферных мюонов и атмосферных нейтрино — желтая и коричневая закрашенные области; суммарное число ожидаемых сигнальных и фоновых событий — оранжевая гистограмма



Байкал (Россия), март. Ледовый лагерь.
Оптические модули, подготовленные к монтажу нового, девятого кластера



Байкал (Россия), апрель. Совместное фото участников по завершении экспедиции





помощи методов машинного обучения, позволяющие достичь точности реконструкции энергии позитронов на уровне $\sigma = 3\%$ при 1 МэВ выделенной энергии [3]. Оценено, что детектор JUNO сможет измерить параметры осцилляций нейтрино Δm_{31}^2 , Δm_{21}^2 и $\sin^2 2\theta_{12}$ с точностью лучше 0,5% в течение шести лет набора данных, причем точность 1% будет достигнута для Δm_{31}^2 и Δm_{21}^2 уже через 100 сут набора данных [4]. Получена новая оценка чувствительности эксперимента к упорядоченности масс нейтрино, учитывающая наиболее актуальную информацию о детекторах и постановке эксперимента. Она составляет 3σ за 6 лет набора данных.

Новые результаты измерения осцилляций нейтрино получены в эксперименте **NOvA** с использованием усовершенствованных методов анализа данных и моделирования. Интерпретация этих результатов в рамках модели с тремя типами нейтрино лучше всего согласуется с нормальным порядком нейтринных масс и верхним октантом угла смешивания θ_{23} [5]. Данные плохо соответствуют комбинациям параметров осцилляций, приводящим к большой асимметрии между электронными нейтрино и антинейтрино. Сюда входят значения фазы, нарушающей симметрию зарядовой четности (CP) вблизи $\delta_{CP} = \pi/2$, которые исключаются на уровне более 3σ при обратном порядке нейтринных масс и более 2σ для значения вблизи $\delta_{CP} = 3\pi/2$ при нормальном порядке.

В рамках эксперимента **Borexino** после обработки полного набора данных третьей фазы измерений уточнен поток солнечных нейтрино, возникающих в результате термоядерных реакций CNO-цикла [6]. Измеренный поток составил $6,6^{+2,0}_{-0,9} \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, гипотеза отсутствия нейтринного CNO-сигнала исключена с доверительной вероятностью 7σ . Полученный результат позволил впервые с помощью нейтрино оценить распространенность углерода и азота в Солнце по отношению к распространенности водорода. Отношение равно $\text{NCN} = 5,78^{+1,86}_{-1,00} \cdot 10^{-4}$. Параллельно показана принципиальная осуществимость определения направления на источник (в данном случае на Солнце) в большом жидкоцинтилляционном детекторе с помощью нейтринного излучения [7]. Также завершен поиск корреляций между нейтринными сигналами в детекторе Borexino и наиболее интенсивными быстрыми радиовсплесками [8]. Статистически значимого превышения над фоном не наблюдалось.

В рамках проекта **EDELWEISS** продолжается прямой поиск темной материи [9], прецизионные исследования когерентного рассеяния нейтрино на ядрах (CEvNS, Ricochet) и исследования процессов двойного бета-распада ^{100}Mo с Li_2MoO_4 сцинтилляционными кристаллами, находящимися в криостате EDELWEISS (Cupid-MO) [10].

В 2022 г. были проведены работы по запуску тестовых измерений для Ricochet фазы проекта

в ILL (Гренобль, Франция) [11]. ОИЯИ участвует в создании криогенной низкофоновой системы установки (криостат растворения ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$), тестирование которой начато в IP2I (Лион, Франция), в отборе низкофоновых материалов, в проведении измерений фона, в создании активной вето-системы. Создание и тестирование новейших детекторов-болометров продолжается в условиях криостата EDELWEISS (низкофоновые условия в глубокой подземной лаборатории LSM) с одновременным поиском легких частиц-кандидатов темной материи.

Эксперимент νGeN направлен на изучение свойств нейтрино с помощью энергетического реактора Калининской АЭС, что позволяет оперировать гигантским потоком антинейтрино $\sim 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Сравнение первых данных при работающем и остановленном реакторе не выявило признаков ожидаемого сигнала от когерентного рассеяния нейтрино, что позволило поставить ограничение на параметр квенчинга $k < 0,26$ (90 % C.L.) [12]. Продолжается набор данных.

В 2022 г. был продолжен анализ данных, накопленных в эксперименте GERDA [13, 14]. При определяющем участии специалистов ОИЯИ производился поэтапный запуск эксперимента LEGEND-200 в Национальной лаборатории Гран-Сассо (Италия). Летом были установлены первые 60 кг детекторов из обогащенного Ge-76. Впервые был осуществлен монтаж полной системы активного аргонового вето, разработанной

и созданной объединенной группой ученых из ОИЯИ и Мюнхенского технического университета. К настоящему времени установлен 101 германиевый детектор и начат набор данных в эксперименте. Масса обогащенного изотопа Ge-76 впервые составила ~ 140 кг.

В эксперименте NEMO-3 по исследованию двойного бета-распада ${}^{150}\text{Nd}$ на возбужденные состояния 0^{1+} и $2^{1+} {}^{150}\text{Sm}$ впервые был обнаружен $2\nu\beta\beta$ -распад на 0^{1+} возбужденное состояние ${}^{150}\text{Sm}$ со значимостью сигнала, превышающей 5σ [15], соответствующий период полураспада составил $T_{1/2} = (1,11_{-0,14}^{+0,19}(\text{стат.})_{0,15}^{+0,17}(\text{сист.})) \cdot 10^{20}$ лет. Получены ограничения на $2\nu\beta\beta$ -распад на уровень 2^{1+} и $0\nu\beta\beta$ -распад на уровни 0^{1+} и $2^{1+} {}^{150}\text{Sm}$. Для анализа использовались данные, полученные с 36,6 г обогащенного ${}^{150}\text{Nd}$, набранные за 5,25 лет.

Целью проекта MONUMENT является проведение экспериментальных измерений мюонного захвата на нескольких дочерних по отношению к кандидатам на безнейтринный 2β -распад ядрах. Получаемые результаты очень важны для проверки точности теоретических расчетов ядерных матричных элементов. В конце 2022 г. осуществлены измерения обычного мюонного захвата в обогащенном изотопе ${}^{100}\text{Mo}$ на мезонной фабрике в PSI. Измерение этого изотопа связано с изучением роли нейтрино в образовании сверхновых звезд и синтеза в них тяжелых изотопов. Начат анализ полученных данных с миссией ${}^{100}\text{Mo}$.

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

В рамках проекта ATLAS сотрудники ЛЯП принимают участие в поиске потенциальных сссс-тетракварков, распадающихся на пару чармониевых состояний в четырехмюонном конечном состоянии, с использованием данных, полученных при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ pp -столкновений, соответствующих интегральной светимости 139 фб^{-1} . Обнаружены статистически значимые превыше-

ния сигнала над фоном в канале с двумя J/ψ -мезонами, согласующиеся с узким резонансом при 6,9 ГэВ и более широкой структурой при более низких массах. Кроме того, обнаружено статистически значимое превышение сигнала над фоном в канале с $J/\psi + \psi(2S)$ мезонами. Оценены соответствующие массы и ширины распадов [16].

Модуль SCRVS-LS-0, созданный в ОИЯИ для эксперимента COMET



Пластиковая линза диаметром 820 мм для прототипа детектора эксперимента TAIGA



В рамках эксперимента **BES-III** проведено изучение полулептонного распада $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda e^+ \nu_e$ [17]. В анализе была прецизионно измерена парциальная ширина распада $\text{Br}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda e^+ \nu_e)$, что позволило уменьшить ошибку мирового среднего этой величины более чем в три раза. Комбинация этих результатов и результатов решеточных вычислений дает важные ограничения на элемент $|V_{cs}|$ матрицы Кабиббо–Кобаяши–Маскавы и, как следствие, важна для проверки Стандартной модели и физики за ее пределами. Кроме того, были измерены формфакторы этого распада, что позволяет проверять решеточные вычисления.

В рамках эксперимента **COMET** выполнено исследование и сравнение оптических параметров (относительного световыхода, энергетического разрешения, времени высвечивания) кристаллов **LYSO:Ce** и **LYSO:Ce,Ca** (двойного допирования) фирмы Saint-Gobain (Франция). В результате исследования получены следующие результаты: среднее значение неоднородности отклика сцинтилляторов **LYSO:Ce** кристаллов составляет $\sim 4,6\%$, а **LYSO:Ce,Ca** — $\pm 1,1\%$; для всей группы **LYSO:Ce** кристаллов разброс энергетического разрешения на середине длины составляет $\pm 0,21\%$, а **LYSO:Ce,Ca** — $\pm 0,19\%$. Разброс световыхода вблизи торцевой поверхности кристаллов составляет ~ 26 и 20% для **LYSO:Ce** и **LYSO:Ce,Ca** соответственно. Время отклика кристаллов **LYSO:Ce** на 8 нс больше, чем **LYSO:Ce,Ca** [18].

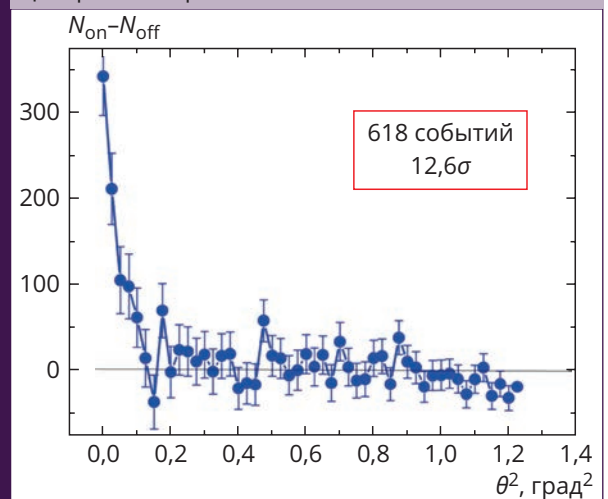
Был спроектирован и создан первый модуль подсистемы сцинтилляционных стрипов системы **COMET CRV**, названный **SCRV-LS-0**, состоящий из 4 слоев стрипов, по 16 стрипов в каждом слое, с алюминиевыми листами, разделяющими эти слои для уменьшения влияния фоновых событий в условиях повышенной радиационной нагрузки.

В эксперименте **COMPASS** получен важный результат для поперечных азимутальных спиновых асимметрий в рождении на пионном пучке J/ψ из данных сеансов 2015 и 2018 гг. В целом все асимметрии оказались малы и совместимы с нулем в пределах ошибки измерения [19].

Главным достижением 2022 г. является завершение работы над техническим проектом **SPD**. Ожидается, что проект будет реализован в два этапа. На первом этапе будет создана базовая конфигурация установки для измерений с поляризованными пучками протонов и дейтронов при низких энергиях столкновений и светимостях значительно ниже номинальной ($10^{32} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$). Она будет включать мюонную систему, straw-трекер, центральный детектор на основе камер Micromegas, калориметры нулевого угла и детекторы столкновений пучков. Полная конфигурация, включающая кремниевый вершинный детектор, времяпролетную систему, электромагнитный калориметр и детектор на основе аэрогеля, необходимая для выполнения основной задачи **SPD** — изучения поляризованной глюонной структуры нуклонов, будет реализована в ходе второго этапа проекта.

В рамках проекта **TAIGA** получен сигнал от источника в Крабовидной туманности с достоверностью $12,6\sigma$ (рис. 2) [20]. В ОИЯИ изготовлена, отправлена и смонтирована на полигоне механическая часть четвертого черенковского телескопа. Разработан и изготовлен прототип широкоугольного линзового черенковского телескопа, объектив которого диаметром 600 мм изготовлен в ОИЯИ.

Рис. 2. Сигнал от источника в Крабовидной туманности. θ — угловое расстояние от направления прихода ливня в плоскости изображения до центра поля зрения



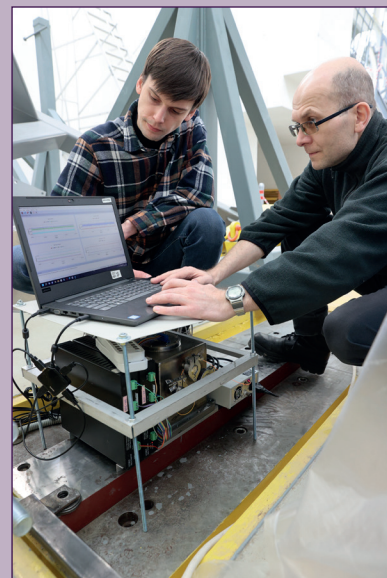
ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Малогабаритный прецизионный лазерный инклинометр (МПЛИ), разработанный сотрудниками ЛЯП ОИЯИ, зарекомендовал себя как высокоточный надежный прибор для регистрации угловых колебаний поверхности Земли. Достигнутая инструментальная точность составляет 10^{-9} рад [21].

В течение 2022 г. собрано шесть МПЛИ. Началось их размещение в научных центрах России и за рубежом. Два инклинометра установлены в

зале детектора MPD будущего коллайдера NICA. В течение нескольких месяцев проводилось мониторингирование угловых микросейсм от промышленных шумов и природных явлений. Наибольшие микросейсм достигают амплитуд 4 мкрад. Разрабатываются способы подавления промышленных помех для стабилизации фокусов пучков коллайдера — введение обратных связей в систему управления магнитооптикой коллайдера и/или использование пьезостакеров.

Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина.
Установка двух малогабаритных лазерных инклинометров в зале MPD NICA



Наладка вакуумной системы ускорителя электронов Линак-200



На базе Медико-технического комплекса (МТК) ЛЯП проведено исследование цитотоксического и цитогенетического влияния наночастиц золота на культуру клеток человека под действием излучений с различной ЛПЭ (фотоны, протоны). Целью исследования было изучение возможности повышения эффективности лучевой терапии за счет способности металлических наночастиц усиливать радиационный эффект при облучении клеток в присутствии наночастиц золота. Исследовались модификации, индуцированные в клеточной линии карциномы легкого человека A549 при облучении протонами и гамма-излучением после обработки наночастицами золота. Наблюдалось снижение выживаемости и увеличение частоты образования микроядер в клетках A549 после облучения в присутствии наночастиц [22].

Совместно с ИТЭБ РАН (Пущино) продолжены эксперименты на протонном пучке фазотрона в режиме «флэш-терапии». В ходе этих исследований были облучены лабораторные мыши в количестве более 100 шт., а также клеточные культуры. Цель данного эксперимента заключается в исследовании природы проявления флэш-эффекта в результате воздействия на биологические объекты ионизирующего излучения сверхвысокой мощности дозы. Результаты экспериментов обрабатываются [23].

В секторе молекулярной генетики клетки ЛЯП открыт новый вид микроорганизмов *Cytobacillus pseudoceanisediminis* sp. nov., обитающий в глубоком соленом подземном источнике в неиспользуемой части тоннеля Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН. Новый микроорганизм способен утилизировать метанол и отличается высокой устойчивостью к тяжелым металлам, что делает его хорошим кандидатом для использования в биоремедиации загрязненных вод, почв и биотехнологии [24].

В рамках проекта «Радиоген» завершены работы по секвенированию ДНК γ - и нейтрон-индуцированных наследуемых мутаций гена *cinnabar* *Drosophila melanogaster*. Сравнительный анализ результатов секвенирования наследуемых мутаций двух генов (*cinnabar* и *black*), индуцированных γ -излучением ^{60}Co или нейтронами 0,85 МэВ, показал, что регулярно возникают 6 разных типов изменений ДНК, частота которых заметно варьирует у двух генов и после действия двух видов радиации. Для γ -излучения проведены расчеты частоты индукции идентичных изменений ДНК, выявляемых при секвенировании мутаций отдельных генов и генома в целом, которые показали, что их частота на уровне генома на 4 порядка выше, чем на уровне пяти изученных генов [25].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Allakhverdyan V. A. et al. (Baikal-GVD Collab.). Diffuse Neutrino Flux Measurements with the Baikal-GVD Neutrino Telescope. arXiv: 2211.09447 [astro-ph. HE]; Phys. Rev. D. 2022 (submitted).
2. An F. P. et al. (Daya Bay Collab.). Precision Measurement of Reactor Antineutrino Oscillation at Kilometer-Scale Baselines by Daya Bay. arXiv:2211.14988 [hep-ex]; Phys. Rev. Lett. (submitted).
3. Gavrikov A. et al. Energy Reconstruction for Large Liquid Scintillator Detectors with Machine Learning Techniques: Aggregated Features Approach // Eur. Phys. J. C. 2022. V. 82. P. 1021.
4. Abusleme A. et al. (JUNO Collab.). Sub-Percent Precision Measurement of Neutrino Oscillation Parameters with JUNO. arXiv:2204.13249 [hep-ex].
5. Acero M. A. et al. (NOvA Collab.). Improved Measurement of Neutrino Oscillation Parameters by the NOvA Experiment // Phys. Rev. D. 2022. V. 106, No. 3. 032004.
6. Appel S. et al. (Borexino Collab.). Improved Measurement of Solar Neutrinos from the Carbon-Nitrogen-Oxygen Cycle by Borexino and Its Implications for the Standard Solar Model // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 129, No. 25. 252701.
7. Agostini M. et al. (Borexino Collab.). First Directional Measurement of Sub-MeV Solar Neutrinos with Borexino // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 128, No. 9. 091803.
8. Appel S. et al. (Borexino Collab.). Search for Low-Energy Signals from Fast Radio Bursts with the Borexino Detector // Eur. Phys. J. C. 2022. V. 82, No. 3. P. 278.
9. Armengaud E. et al. Search for Sub-GeV Dark Matter Via the Migdal Effect with an EDELWEISS Germanium Detector with NbSi Transition-Edge Sensors // Phys. Rev. D. 2022. V. 106. 062004.
10. Augier C. et al. (Cupid-MO Collab.). New Measurement of Double Beta Decays of Mo to Excited States of Ru with the CUPID-Mo Experiment // Phys. Rev. C. 2022 (submitted); <https://arxiv.org/pdf/2207.09577.pdf>.
11. Augier C. et al. (Ricochet Collab.). Fast Neutron Background Characterization of the Future Ricochet Experiment at the ILL Research Nuclear Reactor // Eur. Phys. J. 2022 (submitted); <https://arxiv.org/pdf/2208.01760.pdf>.
12. Alekseev I. et al. First Results of the vGeN Experiment on Coherent Elastic Neutrino-Nucleus Scattering // Phys. Rev. D. 2022. V. 106. L051101.
13. GERDA Collab. Pulse Shape Analysis in GERDA Phase II // Eur. Phys. J. C. 2022. V. 82. P. 284.
14. GERDA Collab. Search for Exotic Physics in Double- β Decays with GERDA Phase II // J. Cosmol. Astropart. Phys. 2022. V. 12. P. 012.
15. Arnold R. et al. Measurement of Double Beta Decay of the ^{150}Nd to the 0^{1+} Excited State of ^{150}Sm in NEMO-3. arXiv:2203.03356v1 [nucl-ex].
16. Eletsikh I. et al. Observation of an Excess of di-Charmonium Events in the Four-Muon Final State with the ATLAS Detector. ATLAS-CONF-2022-040. 2022.

17. Ablikim M. et al. (BESIII Collab.). Study of the Semileptonic Decay $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda e^+ \nu_e$ // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 129. 231803.
18. Kalinnikov V., Velicheva E. Measurements of the Electromagnetic Calorimeter Prototype Parameters of COMET Experiment Using Cosmic Muons // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 19, No. 3. P. 225–234.
19. COMPASS Collab. Double J/ψ Production in Pion-Nucleon Scattering at COMPASS // Phys. Lett. B. 2022. (submitted).
20. Vasyutina M. et al. Gamma/Hadron Separation for a Ground Based IACT in Experiment TAIGA Using Random Forest Machine Learning Methods // Proc. of Science. 5. Ser. "5th Intern. Workshop on Deep Learning in Comput. Phys. (DLCP 2021)". 2022.
21. Будагов Ю. А. и др. Позиционно-чувствительная регистрация пятна одномодового лазерного луча с использованием метода делительных пластинок // Письма в ЭЧАЯ. 2022. Т. 19, № 6. С. 589–615.
22. Рзянина А. В. и др. Исследование эффективности образования цитогенетических повреждений в клетках A549 при облучении протонным пучком // Медицинская физика. 2022. № 1. С. 65.
23. Gritskova E. A. et al. Flash Method of Proton Therapy // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 19, No. 6. P. 774–784.
24. Tarasov K. et al. *Cytobacillus pseudoceanisediminis* sp. nov., a Novel Facultative Methylophilic Bacterium with High Heavy Metal Resistance Isolated from the Deep Underground Saline Spring // Curr. Microbiol. 2023. V. 80. P. 31. <https://doi.org/10.1007/s00284-022-03141-8>.
25. Александров И. Д. и др. Радиационная биология структурно разных генов *Drosophila melanogaster*. Сообщ. 9. Общие закономерности и локус-специфические особенности радиомутабельности сцепленных с полом и аутосомных генов // Рад. биология. Радиоэкология (в печати).

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ им. Г. Н. ФЛЕРОВА

РАБОТА И РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЛЯР (DRIBs-III)

В 2022 г. проводились работы по созданию новых, модернизации и оптимизации работы существующих ускорителей комплекса DRIBs-III.

ДЦ-280

Базовая установка фабрики СТЭ — циклотрон ДЦ-280 — в 2022 г. отработал 6000 часов, из них более 4000 часов были использованы для проведения экспериментов по синтезу сверхтяжелых элементов и изучению их химических свойств на физических установках DGFRS-2 и GRAND.

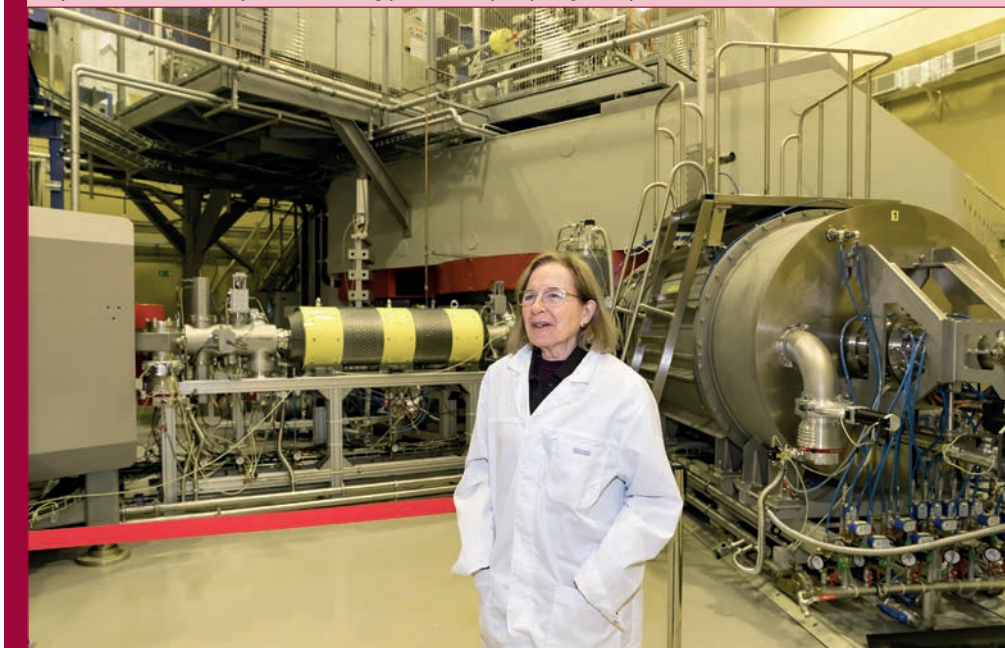
Были продолжены работы по отработке режимов ускорения ионов ^{48}Ca , ^{54}Cr и ^{48}Tl . Достигну-

тая интенсивность ускоренных пучков составила: ^{48}Ca — 7,73 мкА частиц, ^{54}Cr — 3,8 мкА частиц, ^{48}Tl — 2,13 мкА частиц. С целью сокращения времени обслуживания и повышения надежности циклотрона были продублированы узлы, требующие регулярного обслуживания. Был доработан существующий дефлектор, изготовлен и введен в эксплуатацию новый дефлектор с модернизированной конструкцией, а также изготовлен дополнительный блок банчера. Кроме того, продолжены работы по вводу в эксплуатацию Flat-Top системы и системы контроля фазового движения пучка.

Москва, 14 декабря. Вручение первой Научной премии Сбера, лауреатом которой стал всемирно известный ученый, научный руководитель ЛЯР ОИЯИ академик Ю. Ц. Оганесян (фото: пресс-служба Сбера)



25 февраля. Визит в ОИЯИ президента Мексиканского физического общества д-ра А. М. Сетто Крамис. Экскурсия на фабрику сверхтяжелых элементов



У-400М

В рамках модернизации циклотрона У-400М была завершена работа с основной магнитной системой: проведены магнитные измерения полной карты поля, проведена коррекция первой гармоники с помощью набора специально рассчитанных шиммов, установлены долинные шиммы для повышения уровня магнитного поля на радиусе вывода. Разработан и изготовлен новый магнитный канал системы вывода. Смонтирована вакуумная камера циклотрона, и проведены ее испытания. Выполнены работы по модернизации генераторов ВЧ-системы. Осуществлен монтаж оборудования новой системы вакуумной откачки. Совместно с сотрудниками научно-экспериментального отдела сверхпроводящих магнитов и технологий ЛФВЭ изготовлены обмотки корректирующей катушки.

У-400

На циклотроне У-400 выполнен широкий круг научных и прикладных исследований в области физики тяжелых ионов. В 2022 г. циклотрон У-400 отработал более 6400 часов. Были проведены эксперименты с ускоренными пучками ${}^6\text{Li}$ (установка МАВР), ${}^{16}\text{O}$ (CORSET), ${}^{22}\text{Ne}$ (ВАСИЛИСА), ${}^{48}\text{Ca}$ (установки CORSET, ВАСИЛИСА, МАВР, SHELS), ${}^{24,26}\text{Mg}$ (CORSET, SHELS), а также с пучками ${}^{90}\text{Zn}$ и ${}^{209}\text{Bi}$ на установке CORSET. Часть ускорительного времени была отведена на прикладные исследования с пучками ионов Ne, Ar, Kr, Bi.

ИЦ-100

Циклотрон ИЦ-100 используется для выполнения программы прикладных исследований. Уско-

рительный комплекс отработал более 2500 часов. Ионы от O до Xe, ускоренные на ИЦ-100 до энергии 1,0–1,2 МэВ/нуклон, были использованы для облучения образцов графена, AlN, Si_3N_4 , MgO, MgAl_2O_4 , ODS-сталей, ВТСП-сплавов на основе титана (программа сотрудничества с ЮАР, Польшей, Сербией, Белоруссией, Казахстаном, Чехией), а также для *in situ* исследований оптических свойств радиационно стойких диэлектриков в процессе ионного облучения.

МТ-25

Ускоритель электронов микротрон МТ-25 отработал 1200 часов. На микротроне были проведены исследования по облучению биологических образцов для ЛРБ ОИЯИ и Воронежского государственного университета. В рамках совместных работ с «НПП Детектор» и НИИКП проводилось тестирование электронных компонентов. Совместно с Нижегородским государственным университетом им. Н. И. Лобачевского выполнены работы по изучению оксидных соединений редкоземельных элементов, имеющих потенциальное применение в качестве матриц для утилизации радиоактивных отходов. В совместных работах со специалистами из Вьетнама изучались свойства цеолитов. Кроме того, совместно с ЛЯП ОИЯИ проводилась отработка методик измерения энергий электронов.

ДЦ-140

Продолжается реализация проекта нового ускорительного комплекса ЛЯР для прикладных задач ДЦ-140 [1]. Подготовлены помещения здания 101 для создания нового комплекса и разме-

щения инженерных систем. Выполнены работы по подготовке проектной документации по строительству помещений и размещению инженерных систем нового ускорительного комплекса и их интеграции в существующие системы здания.

Закончена разработка конструкторской документации на узлы циклотрона и экспериментальных установок. В настоящее время ведется изготовление оборудования, часть которого уже изготовлена и доставлена в ЛЯР.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЯДЕР НА ГРАНИЦАХ СТАБИЛЬНОСТИ

Эксперимент на газонаполненном сепараторе ГНС-2

В 2022 г. был проведен ряд экспериментов на газонаполненном сепараторе ГНС-2 фабрики сверхтяжелых элементов ЛЯР ОИЯИ. Продолжено исследование реакции $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ с целью детального изучения свойств изотопов Mc и их дочерних ядер, а также измерение функции возбуждения реакции в широком диапазоне энергии пучка ^{48}Ca (рис. 1). В ходе эксперимента был синтезирован новый изотоп ^{286}Mc , а также измерено сечение $5n$ -канала реакции. Зарегистрированы 4 новые цепочки распада ^{289}Mc ($2n$ -канал), 55 цепочек ^{288}Mc ($3n$) и 4 цепочки ^{287}Mc ($4n$), а также впервые наблюдалось спонтанное деление ^{279}Rg . Подтверждено наличие ветви на α -распад ^{268}Db , уточнена его ветвь и период полураспада. Свойства распада 21 изотопа от $^{287-289}\text{Mc}$ до $^{266-268}\text{Db}$ и ^{264}Lr измерены с большей точностью.

Проведены первые эксперименты по синтезу изотопов Ds в реакции $^{232}\text{Th} + ^{48}\text{Ca}$. Их свойства важны для идентификации нового элемента 120 в реакциях $^{249}\text{Cf}(^{50}\text{Ti}, 3-4n)^{295,296}120$ и $^{245}\text{Cm}(^{54}\text{Cr}, 3-4n)^{295,296}120$, поскольку α -распады указанных ядер ведут к изотопам $^{275,276}\text{Ds}$. Кроме

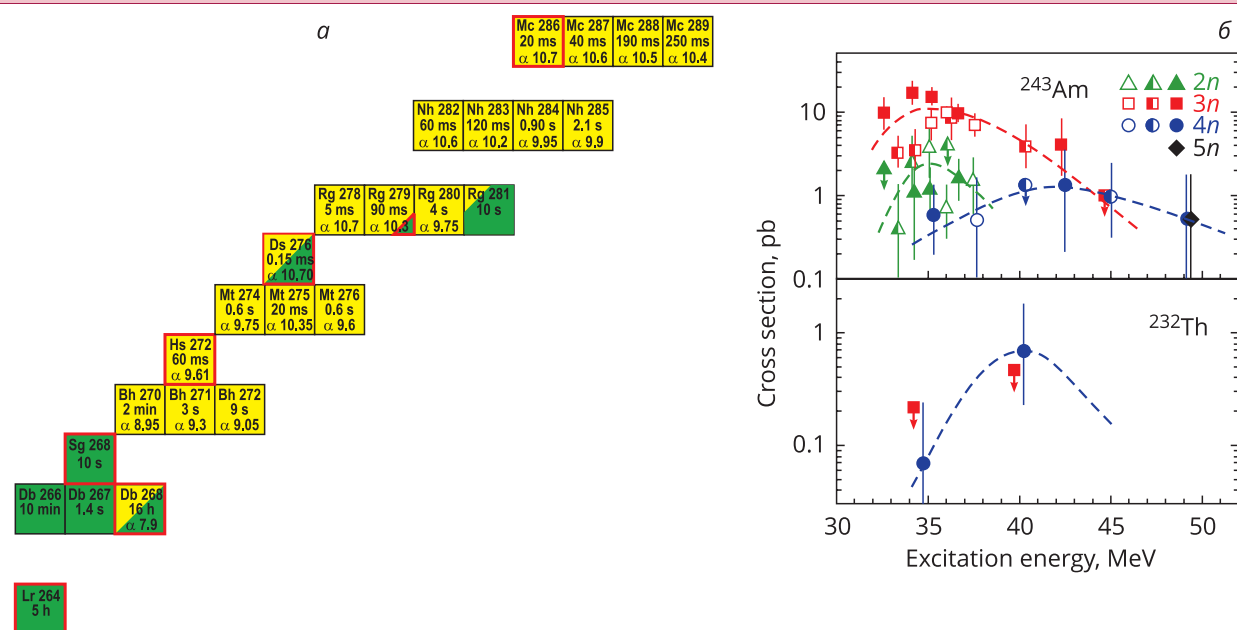
того, предсказанные барьеры деления продуктов реакции $^{232}\text{Th} + ^{48}\text{Ca}$, которые характеризуют вероятность выживания возбужденных составных ядер, ниже барьеров изотопов элемента 120. Уровень сечения реакции с ^{232}Th позволит точнее предсказать сечения образования изотопов элемента 120. При двух энергиях ^{48}Ca впервые синтезировано шесть цепочек распада нового изотопа ^{276}Ds , α -распад которого привел к открытию еще двух изотопов — ^{272}Hs и ^{268}Sg (рис. 1). Сечения реакции составили 70 фб и 0,7 пб при энергиях ^{48}Ca 231 и 238 МэВ соответственно.

Результаты проведенных экспериментов представлены в публикациях [2–5].

Спектроскопия тяжелых и сверхтяжелых ядер

После замены первого триплета квадрупольных линз на сепараторе SHELS были проведены первые тестовые эксперименты, нацеленные на определение эффективности сепарации продуктов реакций, образующихся в реакциях полного слияния ионов ^{22}Ne , ^{40}Ar , ^{48}Ca с ядрами Pb и U. На рис. 2 приведено сравнение спектров в фокальной плоскости сепаратора до и после замены

Рис. 1. а) Ядра, полученные на ГНС-2 в 2022 г. Новые изотопы (^{286}Mc , ^{276}Ds , ^{272}Hs , ^{268}Sg , ^{264}Lr) и те, у которых впервые наблюдался новый тип распада (^{279}Rg и ^{268}Db), выделены красным. б) Функции возбуждения реакций $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ и $^{232}\text{Th} + ^{48}\text{Ca}$

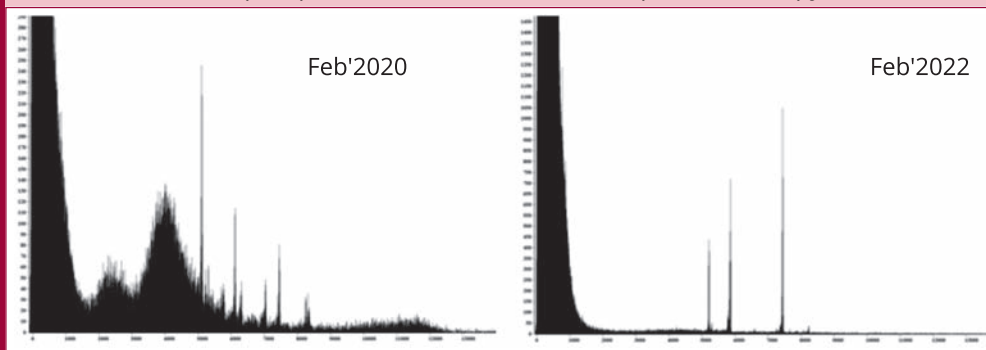


Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 26 мая.
Торжественный общепитетовский семинар, посвященный 65-летию
Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова





Рис. 2. Сравнение спектров продуктов реакции $^{40}\text{Ar} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow 2n + ^{246}\text{Fm}$ в фокальной плоскости сепаратора SHELS до и после замены триплета квадрупольных линз



триплета квадрупольных линз. Как видно из рисунка, удалось существенно улучшить фоновые условия. Следует отметить, что увеличение трансмиссии сепаратора не превысило величины 5%.

Завершена работа по монтажу новой детектирующей системы GABRIELA-2, которая включает в себя 5 «кловерных» гамма-детекторов из сверхчистого германия. Эта детектирующая система позволит с рекордной эффективностью определять характеристики гамма-переходов для тяжелых короткоживущих ядер, получаемых на сепараторе SHELS. Были проведены работы по замене электронной системы регистрации, выполненной в аналоговом стандарте КАМАК, на цифровую систему фирмы National Instruments. Систему отличает минимальное время преобразования, равное 8 нс (у КАМАК — 1 мкс), что позволяет фиксировать экзотические короткоживущие состояния возбужденных ядер. Новые элементы детектирующей и регистрирующей системы тестировались на реакции полного слияния $^{26}\text{Mg} + ^{206}\text{Pb}$. Выбранная реакция интересна тем, что в 5л испарительном канале образуется новый изотоп ^{227}Pu . Результаты эксперимента обрабатываются.

Химия трансактинидов

В течение 2022 г. велась подготовка к первым экспериментам по изучению химических свойств сверхтяжелых элементов. В рамках этих работ введен в эксплуатацию сепаратор GRAND (ГНС-3), проведены тесты всех его ключевых систем, измерена трансмиссия сепаратора (50% для реакции типа $^{48}\text{Ca} + ^{206,208}\text{Pb}$). На пучках ^{40}Ar , ^{48}Ca выполнена отладка криогенного детектора.

Поставлены первые эксперименты по изучению химических свойств на новом экспериментальном комплексе фабрики СТЭ, объединяющем физический сепаратор DGFRS-3 (GRAND) и химическую установку «Криодетектор». Продолжено изучение поведения F1 предположительно в элементарном состоянии методом газоадсорбционной термохроматографии в ходе облучения на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-280. Короткоживущий радионуклид ^{287}Fl ($T_{1/2} = 0,36$ с) получали в режиме on-line в реакции $^{242}\text{Pu}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{287}\text{Fl}$.

Продукты реакции предварительно отделяли на новом газонаполненном сепараторе GRAND и собирали в газовом сборнике — камере сбора ядер отдачи, установленной в фокальной плоскости и отделенной от газового объема сепаратора тонкой майларовой пленкой. Из газового сборника при температуре 20 °С только высоколетучие элементы (например Hg, Rn) или их соединения транспортировались по тefлоновому капилляру в газе-носителе, смеси дополнительно очищенных инертных газов He/Ar, к химической установке.

Использование GRAND как пресепаратора для установки «Криодетектор» позволило увеличить очистку выделяемых атомов F1 от нежелательных продуктов побочных ядерных реакций (короткоживущих изотопов трансплутониевых элементов) на 3–4 порядка. Это существенно повышает статистическую достоверность получаемых спектрометрических данных, что является новым стандартом в исследованиях химии СТЭ. Использование пресепаратора также позволило разместить измерительную систему «Криодетектора» вблизи фокальной плоскости сепаратора и детектирующий модуль на минимально возможном расстоянии 25 см от камеры сбора ядер отдачи, что дало возможность сократить время газового транспорта до химического детектора до 0,1 с.

Летучие атомы F1 изучались методом адсорбционной термохроматографии на поверхности покрытых золотом полупроводниковых детекторов в токе смеси газов He/Ar в интервале температур от 20 °С до –170 °С. Для этого впервые в термохроматографическом модуле «Криодетектора» получен линейный температурный градиент –6 °С/см.

За время измерений в декабре 2022 г. в ходе сеанса на циклотроне ДЦ-280 в «Криодетекторе» зарегистрировано две цепочки распада ^{287}Fl при температуре примерно –100 и –70 °С, что предварительно подтверждает сделанные ранее выводы о высокой летучести и инертности F1 в элементарном состоянии. Анализ данных продолжается. Разработанная в ЛЯР модель мобильной адсорбции с использованием полученных хроматографических данных позволит сделать выводы о термодинамических свойствах F1.

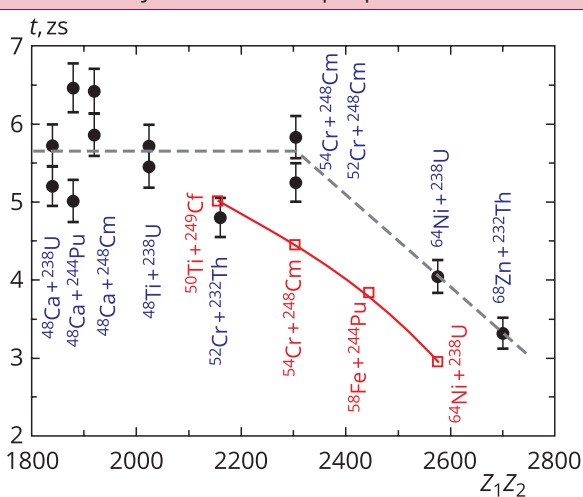
Динамика взаимодействия тяжелых ядер, деление тяжелых и сверхтяжелых ядер

В 2022 г. были проведены измерения массово-энергетических распределений фрагментов, образующихся в реакциях $^{54}\text{Cr} + ^{208}\text{Pb}$, ^{232}Th , ^{238}U , при энергиях вблизи кулоновского барьера для определения вероятности полного слияния ядер в этих системах. Анализ экспериментальных данных показал, что при переходе от ионов ^{48}Ca к ^{54}Cr вероятность образования составного ядра падает более чем на два порядка во всех изучаемых реакциях.

Было проведено систематическое исследование свойств процессов слияния-деления и квазиделения на основе совокупного анализа экспериментальных данных, полученных ранее [6]. Установлено, что время реакции, оцененное из экспериментальных массовых распределений для процесса асимметричного квазиделения, составляет примерно 5–7 зептосекунд для систем с $Z_1 Z_2 < 2000$, а при $Z_1 Z_2 > 2000$ время существования составной ядерной системы уменьшается с увеличением $Z_1 Z_2$ (рис. 3).

Также были продолжены исследования мультимодального деления ядер. Установлено, что на формирование фрагментов деления нейтронодефицитных доактинидных ядер (^{178}Pt , $^{180,182,183}\text{Hg}$, ^{184}Pb) оказывают влияние протонные структуры при $Z = 36$ и $Z = 45$ [7]. При изучении свойств деления тяжелых актинидных ядер ^{248}Cf , $^{254,256}\text{Fm}$ при энергии возбуждения 40–60 МэВ было установлено, что мультимодальное деление проявляется при всех измеренных энергиях возбуждения, хотя основная компонента соответствует по своим свойствам жидкокапельной модели. Структурные особенности массово-энергетических распределений, обусловленных оболочечными

Рис. 3. Оцененное время процесса асимметричного квазиделения для реакций ионов ^{48}Ca , ^{48}Ti , $^{52,54}\text{Cr}$, ^{64}Ni и ^{68}Zn с ядрами актинидов в зависимости от кулоновского фактора $Z_1 Z_2$ при энергиях вблизи кулоновского барьера



ми эффектами, экспоненциально уменьшаются с увеличением энергии возбуждения делящегося ядра [8].

Продолжены исследования перспектив использования реакций многонуклонных передач как метода получения новых, прежде всего нейтроноизбыточных, изотопов трансурановых элементов [9]. В результате теоретического моделирования выявлены закономерности в зависимости сечений синтеза новых ядер от выбора партнеров реакции, энергии реакции, а также углов регистрации, необходимые при планировании соответствующих экспериментов.

Структура экзотических ядер

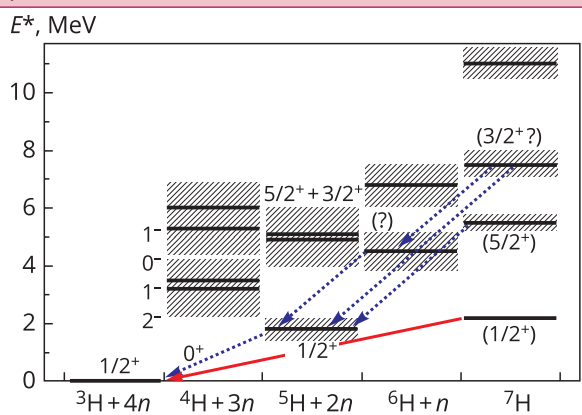
В первых экспериментах на новом фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2 [10] удалось разрешить одну из давно стоящих знаковых проблем экспериментальной ядерной физики — обнаружение сверхтяжелых изотопов водорода — ^6H и ^7H [11, 12], а также продвинуться на пути изучения новой моды спонтанного ядерного распада с одновременным испусканием четырех нейтронов.

Предложенная ранее в работе [11] методика постановки эксперимента позволила изучить состояния изотопа водорода ^6H , заселяемые в реакции $^2\text{H}(^8\text{He}, ^4\text{He})^6\text{H}$ [12]. Предполагалось, что по аналогии с ^7H регистрация ^4He в совпадении с тритонами высокой энергии будет служить индикатором одного или нескольких последовательных распадов ^6H . Калибровочное измерение реакции $^2\text{H}(^{10}\text{Be}, ^4\text{He})^8\text{Li}$ подтвердило эффективность используемого метода изучения механизма (d, α)-реакции. Энергетический спектр ^6H определялся методом недостающей массы путем восстановления из спектра низкоэнергетических α -частиц, зарегистрированных в совпадении с тритонами и нейтронами.

Согласно моделированию экспериментов и полученным данным, энергетическое разрешение в спектре недостающей массы было лучше, чем 2 МэВ. В эксперименте [12] была набрана рекордная статистика для системы ^6H : более 4000 двойных совпадений $^4\text{He}-^3\text{H}$ и порядка 130 тройных совпадений $^4\text{He}-^3\text{H}-n$. В восстановленном спектре ^6H важным открытием было полное отсутствие возможных состояний при $E_T < 3,5$ МэВ над порогом распада $^3\text{H} + 3n$. Этот результат находится в сильном противоречии с данными первых экспериментов (*Aleksandrov D. V. et al. Observation of Nonstable Heavy Hydrogen Isotope ^6H in the Reaction $^7\text{Li}(^7\text{Li}, ^8\text{B})$ // Yad. Fiz. 1984. V. 39. P. 513*), где впервые декларировалось наблюдение резонансного состояния ^6H при энергии $E_T = 2,7(4)$ МэВ. Формирование бампа, наблюдаемого в предыдущих экспериментах, можно объяснить заселением основного состояния ^5H в реакции $^7\text{Li}(^7\text{Li}, ^9\text{B}^*)^5\text{H}$, идущим с на порядок большим сечением.

В результате обработки экспериментальных данных методом корреляционного анализа с учетом тройных совпадений ${}^4\text{He}-{}^3\text{H}-n$ были установлены два возможных состояния изотопа ${}^6\text{H}$ при $E_T \sim 4,5$ МэВ (g. s.) и 6,8 МэВ. Прежде декларируемое основное состояние ${}^6\text{H}$ при энергии $\sim 2,6-2,9$ МэВ над порогом ${}^3\text{H}+3n$ не наблюдалось в эксперименте ${}^2\text{H}({}^8\text{He}, {}^4\text{He}){}^6\text{H}$ с пределом на сечение $d\sigma/d\Omega_{\text{cm}} < 5$ мкб/ср. Полученная в [11, 12] схема уровней и распадов изотопов водорода ${}^7\text{H}$ и ${}^6\text{H}$ (рис. 4) позволяет утверждать, что распад основного состояния ядра ${}^7\text{H}$ возможен с одновременным испусканием четырех нейтронов («истинный» пятичастичный распад ${}^3\text{H}+4n$). Это первый доказанный случай существования такой моды ядерного распада.

Рис. 4. Схема уровней и возможных каналов распадов ${}^6,7\text{H}$



Реакции с пучками легких стабильных и радиоактивных ядер

В 2022 г. были проведены два эксперимента на циклотроне У-400 с использованием магнитного анализатора высокого разрешения (МАВР). На пучках ${}^{48}\text{Ca}$ и ${}^{56}\text{Fe}$ с энергией 10 МэВ/нуклон на мишенях Au и ${}^{238}\text{U}$ измерены дифференциальные сечения вылета α -частиц и других легких заряженных частиц под углом 0° . В спектрах наблюдались быстрые α -частицы с энергиями, соответствующими двухтельному и трехтельному выходным каналам реакций, близкими к кинематическому пределу. Корреляционные

эксперименты с осколками деления показали возможность образования в этих реакциях слабозбужденных тяжелых ядер. Был проведен анализ экспериментальных данных с помощью модели движущихся источников, который показал наличие нескольких источников образования высокоэнергичных неравновесных частиц. Механизм вылета неравновесных α -частиц можно объяснить наличием полного или неполного слияния ядер. Основные результаты исследований опубликованы в работах [13, 14].

СОЗДАНИЕ НОВЫХ И РАЗВИТИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Создание сепаратора на основе резонансной лазерной ионизации (установка ГАЛС)

Создаваемая установка ГАЛС предназначена для сепарации и исследования продуктов реакции многонуклонных передач. В 2022 г. получены следующие основные результаты:

1. Для поиска и исследования оптимальных уровней атомных переходов и выбора оптимальных схем ионизации спроектирована и изготовлена реакционная камера, система транспорта на основе сеточных электродов, а также система регистрации. Завершается модернизация испаряющего лазера для референсной камеры установки ГАЛС.

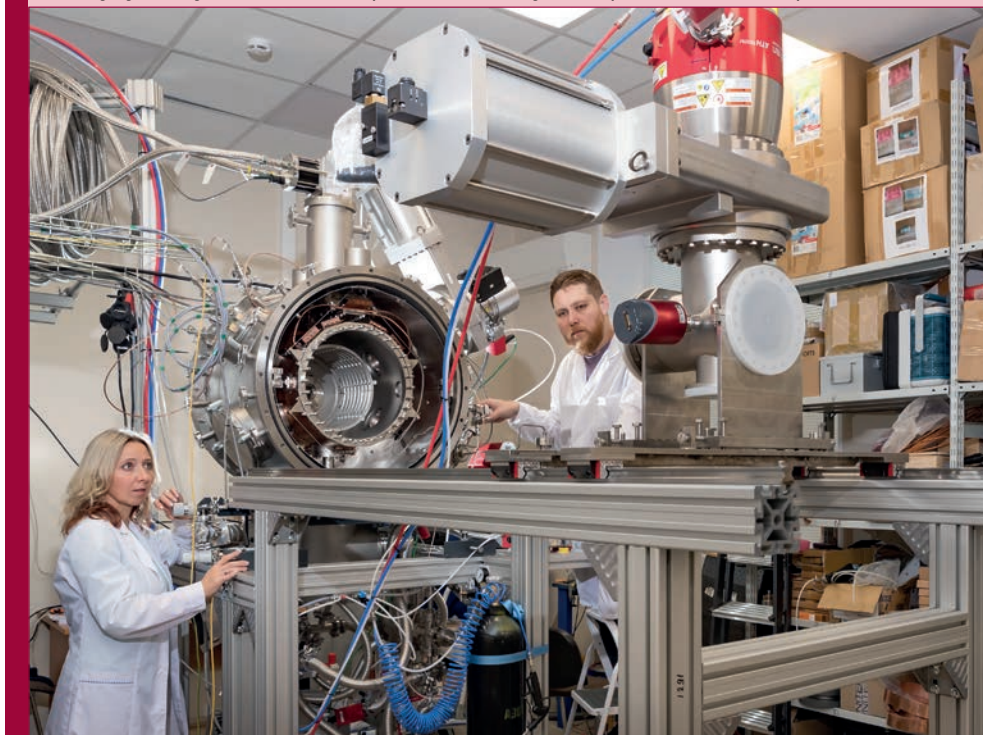
2. Для детектирующей системы установки ГАЛС была разработана детальная схема, основанная на электронных компонентах и программном обеспечении САЕН. Приобретены необходимые электронные блоки и программы управления первичной конфигурации. Совместно с iThemba Labs (ЮАР) изготовлена механическая часть лентопротяжной станции.

3. Подготовлено лабораторное помещение для проведения off-line экспериментов, включая оснащение всем необходимым инженерным оборудованием (энергопитание, система дистиллята, газа и т. д.). Разработана схема разведения оптических лучей в пределах лазерной лаборатории и проводки лазерного излучения к новым экспериментальным установкам в этом помещении. Проработана возможность транспортировки лазерного излучения из лазерной лаборатории к экспериментальным установкам с помощью световодов. Определены необходимый набор одно- и многомодовых световодов и технические требования к ним и устройствам ввода/вывода лазерного излучения.

Ионная газовая ловушка

В 2022 г. продолжилась работа по созданию криогенной газовой ионной ловушки — новой установки фабрики СТЭ. Была собрана теплая и холодная части вакуумных камер ловушки и откачаны до давления менее 10^{-7} Торр. Полностью собрана многоэлектродная система транспорта продуктов реакций до сверхзвукового сопла.

Стенд криогенной газонаполненной ловушки ионов для будущей установки по прецизионному измерению масс ядер



Изготовлена и смонтирована медная оболочка холодной камеры, включая змеевик охлаждения газа. Собрана и отлажена система управления, от качки и контроля вакуума, а также контроля температуры холодной камеры и газа в ней. Отлажена система измерения состава остаточных газов на основе масс-спектрометра PrismaPro (Pfeiffer). Запущена система охлаждения внутренней камеры, и при давлении гелия внутри 10 мбар достигнута температура 48 К.

Разработано программное обеспечение и выполнено моделирование для определения эффективности и времени экстракции из криогенной газовой ионной ловушки для продуктов, возникающих в следующих реакциях полного слияния: $^{40}\text{Ar} + ^{144}\text{Sm} \rightarrow ^{184}\text{Hg}^*$, $^{40}\text{Ar} + ^{166}\text{Er} \rightarrow ^{206}\text{Rn}^*$, $^{48}\text{Ca} + ^{197}\text{Au} \rightarrow ^{245}\text{Es}^*$, $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{256}\text{No}^*$, $^{48}\text{Ca} + ^{209}\text{Bi} \rightarrow ^{257}\text{Lr}^*$, $^{48}\text{Ca} + ^{242}\text{Pu} \rightarrow ^{290}\text{Fl}^*$. Для тестирования газовой ловушки без пучка с помощью

α -источника были рассчитаны эффективность и время экстракции из ловушки дочерних продуктов α -распада.

Продолжена работа по проектированию многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра Институтом аналитического приборостроения РАН (Санкт-Петербург) в рамках гранта Минобрнауки РФ № 075-10-2020-117 «Сверхтяжелые ядра и атомы: пределы масс ядер и границы Периодической таблицы Д. И. Менделеева» [15]. Прибор предназначен для прецизионного измерения масс изотопов тяжелых и сверхтяжелых ядер. В 2022 г. завершена стадия эскизного проектирования. Начата работа по подготовке документации для тендера на изготовление масс-спектрометра. Готовится контракт на создание источника калибровочных ионов масс-спектрометра.

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ, РАДИОАНАЛИТИЧЕСКИЕ И РАДИОИЗОТОПНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УСКОРИТЕЛЯХ ЛЯР

Методами высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии и компьютерного моделирования (молекулярная динамика) определены параметры латентных треков в нано- ($n\text{-Si}_3\text{N}_4$) и поликристаллическом ($p\text{-Si}_3\text{N}_4$) нитриде кремния в широком интервале уровней электронного торможения [16]. Исследованы эффекты образования треков быстрых тяжелых ио-

нов в кристаллах Si_3N_4 , AlN и в нанокристаллических $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9$ и $\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$.

Проведены механические испытания облученных быстрыми тяжелыми ионами ДУО-сталей методом сжатия миниатюрных образцов. Получены прочностные характеристики, определена зависимость прочностных свойств от структурного состояния материала.

Изготовлено мишенное устройство для равномерного ионного легирования гелием образцов металлов методом сканирования зоны остановки ускоренных ионов по глубине. Устройство предназначено для получения образцов для последующих исследований методом ПЭМ структурных изменений в реакторных материалах в условиях их длительного нейтронного облучения, моделируемых имплантацией гелия.

Установлено, что облучение тяжелыми ионами приводит к формированию нанопор и сверхдлинных наноканалов в оксиде графена практически любой толщины: от однослойного оксида графена до пленок толщиной в несколько микрон. Поры имеют цилиндрическую геометрию у пленок, состоящих более чем из 3–4 слоев, и узкое распределение по размерам со средним значением ~ 6 нм. Экспериментальные исследования и моделирование методами реактивной молекулярной динамики показали, что размер пор в значительной степени зависит от состава оксида графена, степени его функционализации, а также электронных потерь энергии иона. Периферийная область пор, создаваемых облучением, обладает повышенной электропроводностью за счет частичного восстановления структуры графита и содержит нитрильные группы [17].

Были продолжены исследования свойств трековых ионоселективных мембран [18, 19], нацеленные на углубленное понимание механизма, ответственного за формирование ионоселективных каналов в полиэтилентерефталатных пленках, облученных тяжелыми ионами и подвергнутых мягкому фотолиту. Полученные результаты важны для разработки мембран для эффективного разделения ионов.

Трековые мембраны с ультрамалыми порами были использованы в экспериментах, направленных на решение задач, связанных со структурой двойного электрического слоя в нанопорах. Проведены временные измерения меняющегося потенциала течения. В рамках модели пространственного заряда определена плотность поверхностного заряда, а также ряд свойств гипотетического гель-слоя на стенках пор трековых мембран [6]. Впервые осуществлена попытка применить высокоасимметричные нанопористые трековые мембраны в мембранном контак-

торе жидкость–жидкость. Данные исследования создают предпосылки для разработки новых технологий очистки и разделения веществ на трековых мембранах.

Разработана технология получения композиционного материала, состоящего из трековой мембраны и слоя полимерных нановолокон из хитозана, коллагена и полилактида. Адгезия слоя волокон к трековой мембране обеспечивается промежуточным слоем титана. Функционализация нановолоконного слоя различными агентами придает композиционным мембранам специфические функции, позволяющие применять их в технологиях энергосберегающей очистки водных сред, а также в регенеративной медицине в качестве раневых покрытий нового поколения для решения практических задач клеточной инженерии [20].

Разработаны композиционные трековые мембраны с тонким гидрофобным слоем для исследования процесса мембранной дистилляции. Осаждение на поверхности трековых мембран покрытий из политетрафторэтилена толщиной 500 нм методом его электронно-лучевого диспергирования приводит к формированию слоя, обладающего супергидрофобными свойствами. Показано, что такие композиционные мембраны обеспечивают высокую селективность разделения при обессоливании водного раствора хлорида натрия методом мембранной дистилляции.

Продолжались исследования, связанные с получением модифицированных трековых мембран, которые могут быть использованы в качестве сенсоров, работающих по принципу поверхностного усиления комбинационного рассеяния света. Так, трековые мембраны с тонкими слоями серебра, полученные методами магнетронного и термического напыления с последующей самосборкой наночастиц за счет термообработки, показывают высокие коэффициенты усиления порядка 10^{-6} по отношению к исследуемым соединениям. А иммобилизация на их поверхности аптамеров, аффинных белкам оболочки вируса гриппа А, позволяет определять до $4 \cdot 10^3$ вирусных частиц в 1 мл световым методом ГКР, что сравнимо с чувствительностью ПЦР-теста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклады на XIV Международном семинаре по проблемам ускорителей заряженных частиц., Алушта, Крым, 20–25 сент. 2022 г.; <https://indico.jinr.ru/event/2945/>.
2. Oganessian Yu. Ts., Utyonkov V. K., Popeko A. G., Solovyev D. I., Abdullin F. Sh., Dmitriev S. N., Ibadullayev D., Itkis M. G., Kovrizhnykh N. D., Kuznetsov D. A., Petrushkin O. V., Podshibiakin A. V., Polyakov A. N., Sagaidak R. N., Schlattauer L., Shirokovsky I. V., Shubin V. D., Shumeiko M. V., Tsyganov Yu. S., Voinov A. A., Subbotin V. G., Bekhterev V. V., Belykh N. A., Chernyshev O. A., Gikal K. B., Ivanov G. N., Khalkin A. V., Konstantinov V. V., Osipov N. F., Paschenko S. V., Protasov A. A., Semin V. A., Sorokoumov V. V., Sychev K. P., Verevchkin V. A., Yakovlev B. I., Antoine S., Beeckman W., Jehanno P., Yavor M. I., Shcherbakov A. P., Rykaczewski K. P., King T. T., Roberto J. B., Brewer N. T., Grzywacz R. K., Gan Z. G., Zhang Z. Y., Huang M. H., Yang H. B. DGFRS-2 — A Gas-Filled Recoil Separator

- for the Dubna Super Heavy Element Factory // Nucl. Instr. Meth. A. 2022. V. 1033. P. 166640.
3. Oganessian Yu. Ts., Utyonkov V. K., Ibadullayev D., Abdullin F. Sh., Dmitriev S. N., Itkis M. G., Karpov A. V., Kovrizhnykh N. D., Kuznetsov D. A., Petrushkin O. V., Podshibiakin A. V., Polyakov A. N., Popeko A. G., Sagaidak R. N., Schlattauer L., Shubin V. D., Shumeiko M. V., Solovyev D. I., Tsyganov Yu. S., Voinov A. A., Subbotin V. G., Bodrov A. Yu., Sabel'nikov A. V., Lindner A., Rykaczewski K. P., King T. T., Roberto J. B., Brewer N. T., Grzywacz R. K., Gan Z. G., Zhang Z. Y., Huang M. H., Yang H. B. Investigation of ^{48}Ca -Induced Reactions with ^{242}Pu and ^{238}U Targets at the JINR Superheavy Element Factory // Phys. Rev. C. 2022. V. 106. 026412.
 4. Oganessian Yu. Ts., Utyonkov V. K., Kovrizhnykh N. D., Abdullin F. Sh., Dmitriev S. N., Ibadullayev D., Itkis M. G., Kuznetsov D. A., Petrushkin O. V., Podshibiakin A. V., Polyakov A. N., Popeko A. G., Sagaidak R. N., Schlattauer L., Shirokovsky I. V., Shubin V. D., Shumeiko M. V., Solovyev D. I., Tsyganov Yu. S., Voinov A. A., Subbotin V. G., Bodrov A. Yu., Sabel'nikov A. V., Khalkin A. V., Zlokazov V. B., Rykaczewski K. P., King T. T., Roberto J. B., Brewer N. T., Grzywacz R. K., Gan Z. G., Zhang Z. Y., Huang M. H., Yang H. B. First Experiment at the Super Heavy Element Factory: High Cross Section of ^{288}Mc in the $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ Reaction and Identification of the New Isotope ^{264}Lr // Phys. Rev. C. 2022. V. 106. L031301.
 5. Oganessian Yu. Ts., Utyonkov V. K., Kovrizhnykh N. D., Abdullin F. Sh., Dmitriev S. N., Dzhioev A. A., Ibadullayev D., Itkis M. G., Karpov A. V., Kuznetsov D. A., Petrushkin O. V., Podshibiakin A. V., Polyakov A. N., Popeko A. G., Rogov I. S., Sagaidak R. N., Schlattauer L., Shubin V. D., Shumeiko M. V., Solovyev D. I., Tsyganov Yu. S., Voinov A. A., Subbotin V. G., Bodrov A. Yu., Sabel'nikov A. V., Khalkin A. V., Rykaczewski K. P., King T. T., Roberto J. B., Brewer N. T., Grzywacz R. K., Gan Z. G., Zhang Z. Y., Huang M. H., Yang H. B. New Isotope ^{286}Mc Produced in the $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ Reaction // Phys. Rev. C. 2022. V. 106. 064306.
 6. Itkis M. G. et al. // Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 178.
 7. Kozulin E. M. et al. // Phys. Rev. C. 2022. V. 105. 014607.
 8. Saiko V., Karpov A. Multinucleon Transfer as a Method for Production of New Heavy Neutron-Enriched Isotopes of Transuranium Elements // Eur. Phys. J. A. 2022. V. 58. P. 41.
 9. Banerjee T. et al. // Phys. Rev. C. 2022. V. 105. 044614.
 10. Fomichev A. S. et al. The ACCULINNA-2 Project: The Physics Case and Technical Challenges // Eur. Phys. J. A. 2018. V. 54. P. 97.
 11. Muzalevskii I. A. et al. Resonant States in ^7H : Experimental Studies of the $^2\text{H}(^8\text{He}, ^3\text{He})$ Reaction // Phys. Rev. C. 2021. V. 103. 044313.
 12. Nikolskii E. Yu. et al. ^6H States Studied in the $^2\text{H}(^8\text{He}, ^4\text{He})$ Reaction and Evidence of an Extremely Correlated Character of the ^5H Ground State // Phys. Rev. C. 2022. V. 105. 064605.
 13. Penionzhkevich Yu. E. Characteristics of Nucleus-Nucleus Reactions with Emission of Fast Charged Particles: A New Approach to Reactions of Fusion of Cold Nuclei // Phys. Part. Nucl. 2022. V. 53. P. 45.
 14. Penionzhkevich Yu. E., Samarin V. V., Lukyanov S. M., Maslov V. A., Naumenko M. A. Emission of High-Energy Alpha Particles in Nuclear Reactions of ^{48}Ca and ^{56}Fe Ions on ^{181}Ta and ^{238}U Targets // Chin. Phys. C. 2022. V. 46. 114002.
 15. Yavor M. I., Gall N. R., Muradymov M. Z., Pomozov T. V., Kurnin I. V., Monakov A. G., Arsenev A. N., Oganessian Yu. Ts., Karpov A. V., Rodin A. N., Krupa L., Dickel T., Plaß W. R., Scheidenberg C. Development of a Mass Spectrometer for High-Precision Mass Measurements of Superheavy Elements at JINR // J. Instrum. 2022. V. 17. P11033.
 16. van Vuuren A. J., Mutali A., Ibrayeva A., Sohatsky A., Skuratov V., Akilbekov A., Dauletbekova A., Zdorovets M. High-Energy Heavy Ion Tracks in Nanocrystalline Silicon Nitride // Crystals. 2022. V. 12. 1410.
 17. Jovanovic Z., Gloginjac M., Mravik Z., Olejniczak A., Bajuk-Bogdanovic D., Jovanovi S., Pašti I., Skuratov V. Mechanistic Insights into Ion-Beam Induced Reduction of Graphene Oxide: An Experimental and Theoretical Study // Rad. Phys. Chem. 2022. V. 199. 110355.
 18. Apel P. Y., Blonskaya I. V., Ivanov O. M., Polezhaeva O. A., Dmitriev S. N. Do the Soft-Etched and UV-Track Membranes Actually Have Uniform Cylindrical Subnanometer Channels? // Rad. Phys. Chem. 2022. V. 198. 110266.
 19. Apel P., Koter S., Yaroshchuk A. Time-Resolved Pressure-Induced Electric Potential in Nanoporous Membranes: Measurement and Mechanistic Interpretation // J. Membrane Sci. 2022. V. 653. 120556.
 20. Markov P. A., Vinogradov I. I., Kostromina E., Eremin P. S., Gilmutdinova I. R., Kudryashova I. S., Greben A., Rachin A. P., Nechaev A. N. A Wound Dressing Based on a Track-Etched Membrane Modified by a Biopolymer Nanoframe: Physical, Chemical, and Biological Characteristics // Eur. Polym. J. 2022. V. 181. 111709.

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ им. И. М. ФРАНКА

В 2022 г. Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка отметила 65-летие со дня основания



Научная программа Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка в 2022 г. была направлена на получение новых результатов в рамках семи тем Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного

научно-технического сотрудничества ОИЯИ: по физике конденсированных сред («Исследования функциональных материалов и наносистем с использованием рассеяния нейтронов», 04-4-1142-2021/2025, руководители Д. П. Козленко, В. Л. Аксенов и А. М. Балагуров); «Современные тенденции и разработки в области рамановской микроспектроскопии и фотолюминесценции для исследований конденсированных сред», 04-4-1133-2018/2023, руководители Г. М. Арзуманян и Н. Кучерка); по нейтронной ядерной физике («Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона», 03-4-1128-2017/2022, руководитель Е. В. Лычагин); по развитию базовых установок лаборатории («Развитие исследовательской ядерной установки ИБР-2 с комплексом криогенных замедлителей нейтронов», 04-4-1105-2011/2022, руководители А. В. Белушкин, А. В. Виноградов и А. В. Долгих); по развитию комплекса спектрометров ИБР-2 («Научно-методические исследования и разработки для изучения конденсированных сред на нейтронных пучках ИБР-2», 04-4-1143-2021/2025, руководители В. И. Боднарчук и В. И. Приходько); по развитию проекта нового источника нейтронов («Разработка концептуального проекта нового перспективного источника нейтронов в ОИЯИ», 04-4-1140-2020/2022, руководители В. Н. Швецов, М. В. Булавин); по созданию лаборатории структурных исследований SOLCRYS в Польше («Создание лаборатории структурных исследований SOLCRYS в Национальном центре синхротронного излучения SOLARIS», 04-4-1141-2020/2022, руководитель Н. Кучерка).

НЕЙТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Структурные исследования новых оксидных, интерметаллических и наноструктурированных материалов

Магнитный оксид Mn_3O_4 является необычным геометрически фрустрированным функциональным материалом с тетрагонально искаженной структурой типа шпинели, в котором наблюдаются значительные магнитокалорический, магнитоупругий и магнитодиэлектрический эффекты.

Наличие конкурирующих магнитных взаимодействий на подрешетках А и В с тетраэдрическим и октаэдрическим кислородным окружением ионов Mn^{2+} и Mn^{3+} в сочетании с ян-теллеровскими искажениями на В-подрешетке обуславливает формирование сложных модулированных магнитных состояний в этом соединении. С понижением температуры и атмосферного давления в Mn_3O_4 наблюдается три магнитных фазовых перехода: при $T_{N1} \approx 43$ К, $T_{N2} \approx 39$ К и $T_{N3} \approx 33$ К.

Ниже $T_{N1} \approx 43$ К возникает ферримагнитное состояние типа Яфета-Киттеля, в котором магнитные моменты Mn^{3+} на В-подрешетке, расположенные в плоскости (bc), симметрично скашиваются в направлении оси b , что приводит к появлению намагниченности, направленной антипараллельно по отношению к намагниченности ферромагнитной А-подрешетки, сформированной магнитными моментами Mn^{2+} . Второй фазовый переход при $T_{N2} \approx 39$ К связан с изменением симметрии магнитного порядка ионов Mn^{3+} за счет формирования двух независимых подрешеток R и S. На R-подрешетке и подрешетке ионов Mn^{2+} магнитный порядок остается таким же, как в фазе типа Яфета-Киттеля, а на S-подрешетке формируется несоразмерная коническая структура вдоль оси b с вектором распространения $k = (0, \sim 0,47, 0)$. При последующем фазовом переходе при $T_{N3} \sim 33$ К магнитный порядок на S-подрешетке становится соразмерным с вектором распространения $k = (0, 1/2, 0)$. В области высоких давлений $P > 11$ ГПа в Mn_3O_4 происходит структурный фазовый переход в фазу типа марокита $CaMn_2O_4$.

На дифрактометре ДН-6 проведено исследование кристаллической и магнитной структуры Mn_3O_4 при давлении до 20 ГПа и температуре 15–300 К (рис. 1) [1]. При давлении выше 2 ГПа наблюдалось подавление низкотемпературных модулированных фаз и стабилизация ферримагнитной фазы типа Яфета-Киттеля. При этом температура магнитного упорядочения резко увеличивается с $T_{N1} \approx 43$ К до 100 К в диапазоне давления 0–10 ГПа. Определена магнитная структура орторомбической фазы высокого давления. В этой фазе при $T_N = 275$ К формируется дальний АФМ-порядок с вектором распространения

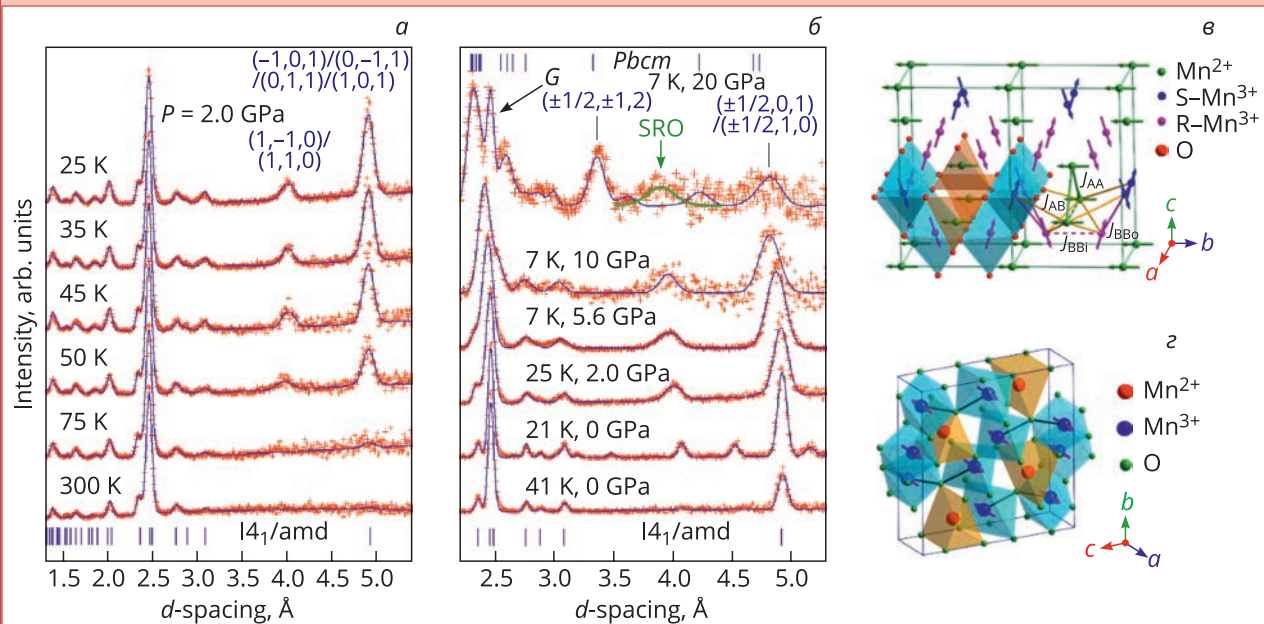
$k = (1/2, 0, 0)$ на подрешетке Mn^{3+} , а подрешетка Mn^{2+} остается магнитно-неупорядоченной. Для анализа взаимосвязи между изменением конкурирующих магнитных взаимодействий и наблюдаемыми магнитными фазовыми переходами проведены дополнительные теоретические DFT-расчеты.

Исследования магнитных жидкостей и наночастиц

Методом нейтронной рефлектометрии (рефлектометр GRAINS) исследована структурная организация магнитных наночастиц возле поверхности металла в электрическом поле [2]. Эксперименты выполнены на границе жидкость – твердое тело, где в качестве жидкой фазы использовалась классическая феррожидкость, содержащая стабилизированные олеиновой кислотой наночастицы магнетита в трансформаторном масле, а в качестве твердого тела — тонкий (толщиной 50 нм) медный электрод на плоской кристаллической подложке кремния. При этом исследовалась зависимость структурной организации от наличия и напряженности электрического поля.

Начиная только со смачивающего слоя магнитных наночастиц на поверхности электрода в отсутствие электрического поля, эволюцию структуры интерфейса с увеличением напряженности электрического поля исследовали путем анализа изменений профилей плотности длины рассеяния, полученных из кривых зеркального отражения нейтронов. При достаточно сильном электрическом поле обнаружено формирование второго адсорбционного слоя. Этот слой стано-

Рис. 1. Нейтронные дифракционные спектры Mn_3O_4 , измеренные при различных значениях давления и обработанные по методу Ритвельда (а, б). Схематическое представление магнитных структур в исходной фазе (в) и фазе высокого давления (з)



вится еще более насыщенным наночастицами, чем исходный. Наблюдаемые эффекты связаны с поляризацией частиц в электрическом поле и, соответственно, с их диполь-дипольным взаимодействием. Релаксационные измерения (после выключения поля) показывают, что локальное электрическое поле, создаваемое сильновзаимодействующими электрическими диполями в концентрированных адсорбционных слоях, является важной особенностью, которая определяет усиленную адсорбцию наночастиц.

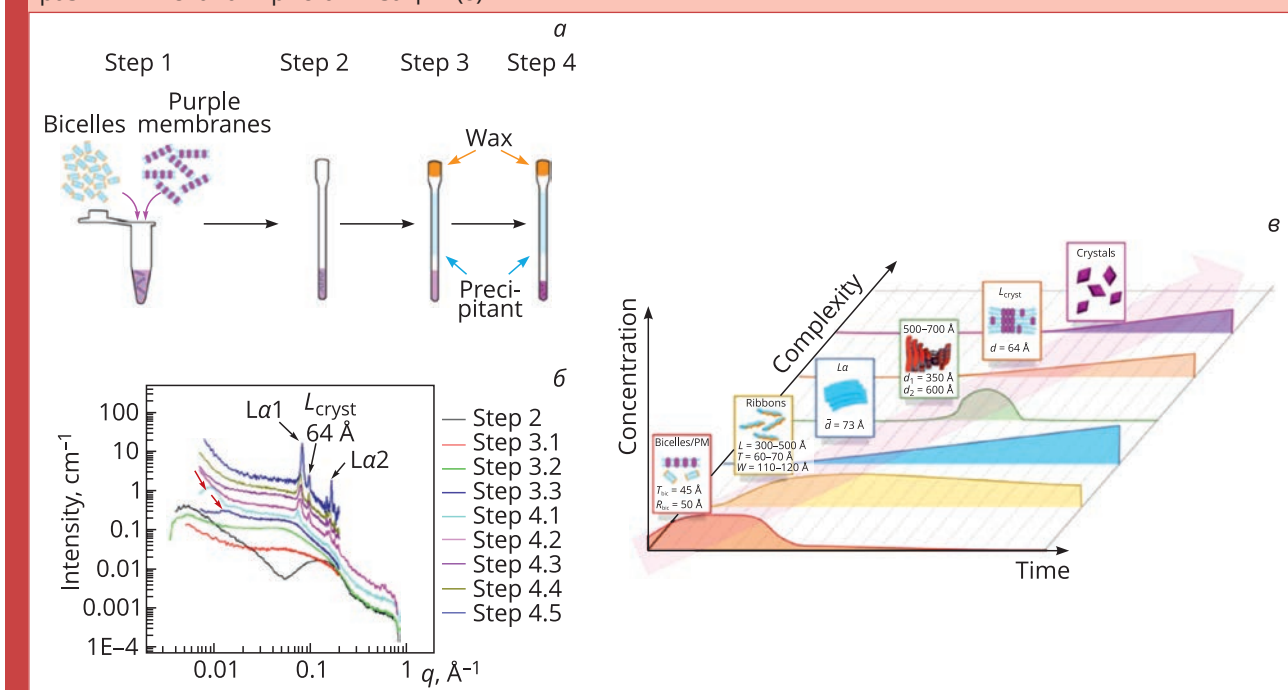
Исследование биологических наносистем, липидных мембран и липидных комплексов

Мембранные белки играют важную роль в процессах, проходящих в живых клетках. Треть человеческого генома кодирует именно мембранные белки. Из-за своей важной роли в физиологии человека мембранные белки являются мишенями около 60% используемых в настоящее время лекарств. Наиболее широко используемым методом получения белковых структур высокого разрешения является рентгеновская кристаллография, для которой необходимы высококачественные белковые кристаллы. Однако кристаллизация мембранных белков до сих пор является сложной задачей. Уникальные структуры мембранных белков составляют лишь ~1% всех имеющихся в базе PDB уникальных белковых структур высокого разрешения. Одним из методов кристаллизации мембранных белков является кристаллизация в бицеллярной смеси.

До сих пор механизм процесса кристаллизации не ясен, и применение этой методики опирается на опыты путем проб и ошибок.

Для изучения механизмов кристаллизации мембранных белков исследовались структурные перестройки, происходящие в кристаллизационной системе в процессе формирования и роста белковых кристаллов [3]. Для этого была разработана методика кристаллизации белка в капиллярах, пригодных для проведения экспериментов по малоугловому рассеянию рентгеновских лучей. В качестве мембранного белка взят бактериородопсин из *Halobium Salinarum*. Согласно существующей парадигме, кристаллизация происходит в бицеллах. Однако проведенные эксперименты показали, что белок кристаллизуется после формирования гелеподобной фазы, которая является бицеллярной только на начальных этапах эксперимента, а затем формируются лентоподобные взаимосоединенные ламеллы, что помогает белку мигрировать между мембранами к месту роста кристалла. Также обнаружено формирование в процессе кристаллизации мультиламеллярной фазы L_{cryst} , объем которой растет пропорционально росту кристаллов (рис. 2). Существование такой локальной ламеллярной фазы, контактирующей с поверхностью кристаллов, помогает росту кристаллов. Полученные результаты позволяют раскрыть механизмы процесса кристаллизации мембранных белков *in meso* и создать эмпирическую основу такого типа кристаллизации для использования результатов в дальнейшем для рационального дизайна лекарственных средств.

Рис. 2. Схематическое представление процесса кристаллизации бактериородопсина в бицеллах (а). Изменения спектров МУРР (б) и эволюция кристаллизационной системы в режиме реального времени при различных этапах кристаллизации (в)



Рентгеновская установка Xeuss 3.0, которая позволяет проводить исследования наночастиц с помощью рентгеновского малоуглового рассеяния, а также изучать кристаллическую структуру методом рентгеновской дифракции



В рамках установленного сотрудничества с глазным центром «Восток-Прозрение» (Москва) изучена возможность управления физическими, структурными и биологическими свойствами при дегидротермическом сшивании стромальных роговичных трансплантатов на основе материала «Корнеопласт». Структурные исследования проводились методом малоуглового рентгеновского рассеяния на станции USAXS/SAXS/WAXS Xeuss 3.0. Полученные результаты позволили выявить укорочение фибрилл вдоль оси на 3 нм в зоне пересечения, происходящее при температуре 140 °С, которая является критической и приводит к потере прочности. Также зафиксированы изменения в аморфной фазе, что может свидетельствовать о ее значительном уменьшении при 140 °С и, возможно, связано с термической деструкцией полисахаридов. Все это приводит к снижению эластичности, прочности трансплантата, повышению гидрофобности, снижению биосовместимости и водопроницаемости. Как следствие, образцы коллагена, обработанные при 140 °С, непригодны для использования в офтальмологической хирургии. Кроме того, графты «Корнеопласт» не прошли тест на эпителизацию после обработки при 140 °С. «Корнеопласт», обработанный при температуре 100 °С и ниже, сохраняет биоинтеграционные свойства.

Исследование полимерных материалов, систем с ПАВ и гелей

Проведены структурные исследования гидрогелей на основе полимерной сетки полиэтиленоксида (ПЭО) и полиоксипропилена (ПОП) с катионными и анионными ПАВ C₁₄TAB (мире-

стилтриметиламмоний бромид) и SDS (додецилсульфат натрия) с использованием малоуглового рассеяния нейтронов (спектрометр ЮМО) [4]. Измерения выполнены в широком диапазоне концентраций ПАВ. Особенностью микроструктуры этих гелей является формирование наночастиц (даже в отсутствие ПАВ). Причина данного явления — в разном характере взаимодействия ПЭО и ПОП с водой, а также в различной длине данных полимеров. В результате в гидрогеле существуют насыщенные водой фазы (с избытком ПЭО) и фазы, в которых меньше воды (избыток ПОП). Добавление ионных ПАВ в систему приводит к новым эффектам, которые и исследовались в данной работе.

При повышении концентрации ПАВ обнаружен переход от двухфазной структуры гидрогеля с насыщенными и ненасыщенными водой областями к структуре, где мицеллы ПАВ располагаются в сильно набухающей полимерной сетке. Показано, что для ПАВ SDS набухание гидрогеля значительно больше, чем для C₁₄TAB. Особенности структурной организации исследовались с применением аппроксимации кривых МУРН в пакете SasView. Определены параметры микроструктуры, включая средний размер неоднородностей, мицелл.

Прикладные работы

Дефекты поверхностных слоев металлов и сплавов играют активную роль в процессе деформационного упрочнения и влияют на прочность и долговечность оборудования и изделий. Такие дефекты в условиях действия механических нагрузок служат источниками концентрации

напряжений. Поэтому контроль за состоянием поверхностных слоев ответственных изделий является практически важной задачей как при их изготовлении, так и при эксплуатации. С этой целью было исследовано влияние дефектов механической обработки поверхности образца из сплава Д16Т на его упрочнение при растяжении в интервале прикладываемых нагрузок от 50 до 500 МПа с помощью методов неразрушающего контроля: дифракции тепловых нейтронов и сканирующей контактной потенциометрии (СКП) совместно с НИЯУ МИФИ [5]. Сплав Д16Т широко применяется в авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности.

Нейтронные эксперименты проводились на фурье-дифрактометре ФСД реактора ИБР-2. Образец из сплава Д16Т был испытан на растяжение на нагрузочной машине LM-29. Шероховатость поверхности образца до испытаний равна 12,5 мкм. Испытания были проведены для одиннадцати различных значений нагрузок: от 0 до 500 МПа с интервалом 50 МПа. При проведении измерений методом СКП использовался настольный прибор Spectroelph. Контакт с образцом выполнялся коническим преобразователем (щупом), изготовленным из аустенитной стали X18H10T, с углом конуса, близким к 90°, и радиусом скругления вершины, равным примерно 0,3 мм. Шероховатость поверхности преобразователя соответствовала значению 0,15 мкм. Длина измерительной базы образца для сканирования равнялась 53 мм. Потенциограммы построены для различных уровней фиксации SLS ($SLS = |lg|\varphi|$), где φ — амплитуда сигнала). При каждом значении заданной нагрузки прибором Spectroelph последовательно производилось ска-

нирование поверхности с общим количеством треков более тридцати и средней скоростью сканирования 1,7 мм/с (рис. 3).

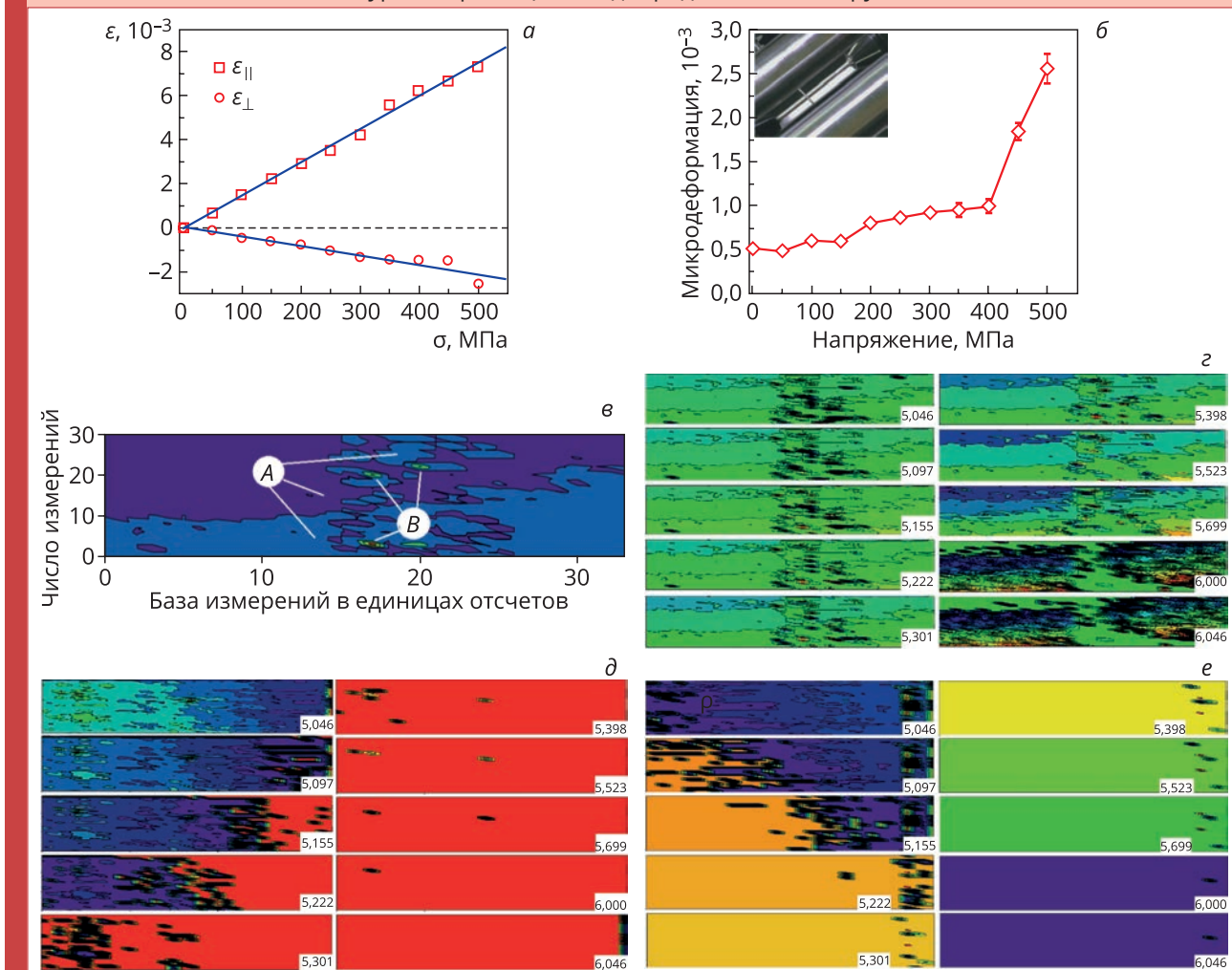
Измеренные дифракционные спектры были обработаны методом профильного анализа по методу Ритвельда. Деформация кристаллической решетки вычислялась по относительному изменению параметра решетки материала: $\varepsilon = (a - a_0)/a_0$, где a и a_0 — параметры кристаллической решетки деформированного и недеформированного материала соответственно. Из линейной аппроксимации данных в области упругости сделаны оценки для модуля упругости и коэффициента Пуассона: $E = 67$ ГПа и $\nu = 0,29$. Сравнение поведения ширины дифракционных пиков сплава Д16Т в зависимости от межплоскостного расстояния d_{hkl} с функцией разрешения прибора, измеренной на эталонном образце, показало, что основной вклад в уширение пиков вносит микродеформация, связанная с повышенной плотностью дислокаций в исследуемом материале. При этом вклад в уширение пиков из-за малых размеров когерентно рассеивающих кристаллитов практически отсутствует. Усредненная по всем индексам Миллера (hkl) микродеформация была оценена из уширений дифракционных пиков по сравнению с эталонным образцом. При нагрузках в диапазоне от 0 до 400 МПа микродеформация слабо варьируется с тенденцией к небольшому росту. При нагрузках выше 400 МПа наблюдался значительный рост микродеформации материала из-за образования пластической деформации.

В отличие от поверхностных потенциограмм, линейно-временные потенциограммы показывают распределение структурных неоднородностей на линейном участке контроля. В данном

6 июня. Участники заседания комиссий
Парламентского Собрания Союза Белоруссии и России на экскурсии в лаборатории



Рис. 3. Деформация кристаллической решетки ε (а) и микродеформация (б) для сплава Д16Т в зависимости от приложенной нагрузки σ . Линейно-временные потенциограммы перед началом испытаний для уровня SLS = 2 (в), высоких значений уровня фиксации неоднородностей (г), нагрузок 50 МПа (д) и 500 МПа (е)



случае — вдоль образующей цилиндрической поверхности образца. На потенциограммах можно видеть цветные изображения рефлексов, которые представляют небольшие локальные объемы, излучающие волны механических напряжений (ВМН). На рис. 3, в показана линейно-временная потенциограмма для уровня фиксации SLS = 2, полученная перед началом испытаний. На ней видны дефекты механической обработки поверхности образца — пятна и полосы, обозначенные буквой А, а также мощные источники (концентраторы) внутренних напряжений (ИВН), обозначенные буквой В. Полосы на потенциограммах соответствуют винтообразным следам точения на токарном станке, образованным на поверхности в виде неглубоких рисок. Известно, что при токарной обработке образуется поверхностная деформация или происходит наклеп. Последующее шлифование при обработке приводит к удалению упрочненного слоя и образованию растягивающих остаточных напряжений, которые залегают на глубине нескольких микрон от поверхности. Более отчетливо

поверхностные дефекты видны на рис. 3, г (сконцентрированы в центральной части образца).

Анализ измеренных потенциограмм СКП показал, что в области упругой деформации при напряжении 50 МПа дефекты механической обработки, как и в случае нулевой нагрузки, сконцентрированы, главным образом, в середине и по краям образца. Следы точения и шлифовки поверхности в виде соответствующих пятен и полос на потенциограммах, при нагрузках более 50 МПа на высоких уровнях фиксации, трансформируются в отдельные рефлексы размерами 1–2 мм, которые представляют собой локальные области деформационно-упрочненного материала, излучающего ВМН. Образование таких групп рефлексов в центральной части образца свидетельствует об активной роли дефектов поверхностной обработки в процессе образования микропластической деформации на стадии начального упрочнения. Появление многочисленных источников излучения при напряжении выше 200 МПа, и особенно в области предела текучести (250–300 МПа), связано с разгрузкой локальных объемов за счет протекания сдвиго-

вых процессов, приводящих к усилению эффекта деформационного упрочнения. Также были построены гистограммы распределения амплитуды электрических сигналов для всех рассматриваемых режимов испытаний, которые позволяют узнать распределение ИВН по мощности источников. Оказалось, что построенные гистограммы коррелируют с поведением микродеформации материала образца, полученной по данным дифракции тепловых нейтронов. При нагрузке 150 МПа на гистограмме практически отсутствуют значения сигналов для выбранного уровня фиксации. Из рис. 3, б видно, что микродеформация в это время не изменилась по сравнению с предыдущей нагрузкой. Поэтому можно сделать вывод о том, что при данном значении нагрузки активные источники внутренних напряжений не срабатывают, поскольку для их активации требуется более высокая нагрузка. С увеличением нагрузки до напряжения 200 МПа эти источники начинают излучать более интенсивно, и в дальнейшем при смене механизма деформации данный процесс только усиливается.

Проблема утилизации и хранения твердых радиоактивных отходов атомной промышленности остро стоит перед правительствами и научными сообществами стран, которые используют и развивают ядерные технологии. Подходы к созданию хранилищ радиоактивных отходов подчиняются строгим нормативным требованиям к механическим и химическим свойствам используемых конкретных строительных материалов. Так, цементные материалы, как ключевой элемент при утилизации радиоактивных отходов, должны обладать определенными критериями химической и механической стабильности в течение около 300 лет. Жесткие требования к механической прочности композитного цемента, используемого для хранения радиоактивных отходов, приводят к необходимости изучения и валидации таких материалов, в том числе и методом нейтронной томографии. В рамках нейтронных исследований цементных материалов [6] предложены новые подходы к анализу восстановленных трехмерных данных для оценки структурных и морфологических особенностей цементных материалов с включениями или порами.

МУЛЬТИМОДАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА РАМАНОВСКОЙ И НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ И МИКРОСПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Проект «Биофотоника» нацелен на фундаментальные и прикладные исследования в области спонтанной и нелинейной рамановской микроспектроскопии с трендом в область наук о жизни. Фундаментальные исследования направлены, в основном, на изучение механизмов и природы аномального соотношения интенсивностей линий антистоксовой (аСт) и стоксовой (Ст) компонент в спектрах гигантского комбинационного рассеяния (ГКР). Прикладные работы нацелены на применение рамановской спектроскопии и флуоресцентной микроскопии в биомедицинских исследованиях, в частности, в задачах по выявлению сигнальных путей и поиску спектральных маркеров светоиндуцированного нетоза, а также некоторых особенностей липид-белкового взаимодействия в различных мембранных миметиках.

Регистрация низкочастотных рамановских спектров одновременно в стоксовой и антистоксовой областях объемными брэгговскими фильтрами

На КАРС микроспектрометре ЛНФ для выделения низкочастотного рамановского сигнала на сильном фоне рэлеевского рассеяния были использованы специальные фильтры на основе объемных брэгговских решеток BraggGrate, отличающихся высокой селективностью. Достоинства

таких фильтров — сверхузкая полоса пропускания ($\sim 5 \text{ см}^{-1}$), высокая степень ослабления возбуждающего лазерного излучения (оптическая плотность > 4) и прозрачность для рамановских сигналов (до 85%), что позволяет их применять для исследования ультранизкочастотных спектров ($< 50 \text{ см}^{-1}$) в системах с одинарными монохроматорами. Еще одним достоинством таких фильтров является возможность одновременной регистрации стоксовой и антистоксовой компонент в рамановском спектре.

В результате проведенных исследований была продемонстрирована эффективность применения брэгговских объемных фильтров в КАРС микроспектрометре для регистрации ультранизкочастотных спектров ($< 30 \text{ см}^{-1}$) различных материалов при возбуждении образцов лазером на длине волны 633 нм.

Исследование возможной аномалии в соотношении пиков аСт/Ст в спектрах ГКР в зависимости от непрерывного и импульсного режима накачки

Спектры ГКР, наряду с интенсивным сигналом, демонстрируют ряд отличительных особенностей по сравнению со спектрами спонтанного комбинационного рассеяния света. В частности, это относится к отношениям интенсивностей антистоксовых и стоксовых молекулярных спек-

тральных линий (отношения aSt/St). Эти отношения при спонтанном комбинационном рассеянии света вдали от электронных резонансов и в случае термодинамического равновесия определяются соотношением Больцмана.

Формирование серебряных наночастиц на образцах $por-Si$ проводили методом иммерсионного осаждения в 3-мМ водно-спиртовом растворе $AgNO_3$ в течение 70 мин. $Por-Si$ с покрытием из серебра был выбран в качестве ГКР-подложки, поскольку известно, что он обеспечивает сверхвысокую чувствительность (до предела обнаружения единичной молекулы) в сочетании с чрезвычайно длительным сроком хранения (до 3 лет).

Тем самым, в данном исследовании было экспериментально показано, что при возбуждении образца излучением на длине волны 785 нм отношения интенсивностей антистоксовых и стоксовых линий в зависимости от режима накачки существенно отличаются. Анализ отношений aSt/St в зависимости от режима накачки позволяет оценить вклады в эти отношения: (i) плазмонного спектрального профиля ГКР-подложки и (ii) оптической рамановской накачки колебательных состояний TNB.

Синтез липосом / липосом со встроенными белками и исследование их химической структуры методом рамановской спектроскопии

Рамановские спектры липосом со встроенными пептидами измерялись ежедневно в течение четырех дней для отслеживания кинетики рамановских частот. Особый интерес представляла линия Амид I $1620-1690\text{ см}^{-1}$, чувствительная к конформационным изменениям вторичной структуры пептида, а также спектральная область рамановских частот в диапазоне $1030-1150\text{ см}^{-1}$, где выражены три полосы, характеризующие транс-гош-конформации в липидах.

Нормированные рамановские частоты показывают, что интенсивность / спектральный вес пика 1671 см^{-1} (β -поворот, тип нерегулярной

вторичной структуры в белках) к 4-му дню измерений заметно падает, что указывает на конформацию белка в более стабильную структуру на характерной рамановской частоте 1656 см^{-1} (α -спираль). Известно, что объединение множества бета-листов/бета-поворотов может приводить к белковым агрегациям и образованию фибрилл — предвестника болезни Альцгеймера.

На четвертый день измерений спектральный вес конформационного состояния пептида в α -спирали увеличился не менее чем в 1,5 раза. Это указывает на то, что после уравнивания системы липосома – встроенный пептид последний сохраняет свое естественное конформационное состояние.

УФ-индуцированный нетоз: выявление зависимости активации от интенсивности облучения с применением рамановской спектроскопии и флуоресцентной микроскопии

В 2022 г. методами рамановской спектроскопии и флуоресцентной микроскопии исследовался светоиндуцированный нетоз под действием УФ-излучения (365 нм) при дозах 4, 16 и 32 Дж/см^2 . В нейтрофильных гранулоцитах в качестве эффективных фотоакцепторов и преобразователей фотосигнала рассматривались компоненты митохондриальной дыхательной цепи, в частности, цитохром-с-оксидаза, а также мембранно-связанный гетеродимерный флавогемопротейн, известный как цитохром- b_{558} , входящий в состав NADPH-оксидазы и содержащий окислительно-восстановительные центры. Окислительный стресс и генерация АФК исследовались методом рамановской спектроскопии. Были зарегистрированы характерные рамановские частоты для двух радикалов: пероксида водорода H_2O_2 (878 см^{-1}) и гипохлорной кислоты $HOCl$ (732 см^{-1}). Результаты флуоресцентной микроскопии показали дозозависимое формирование нетотических клеток.

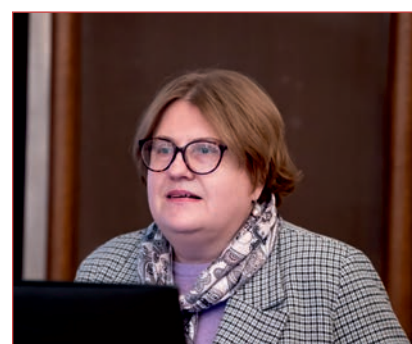
НЕЙТРОННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Исследование (n, p) и (n, α) реакций на быстрых нейтронах

Исследования (n, p) и (n, α) реакций на быстрых нейтронах представляют большой интерес как для оценки радиационных повреждений конструкционных материалов ядерных установок, так и для ядерной физики и астрофизики. Измерения проводились с моноэнергетическими нейтронами в диапазоне энергии нейтронов 3,0–10,5 МэВ на ускорителях ЭГ-5 ЛНФ ОИЯИ, ЭГ-4.5 (Пекинский университет, Пекин) и HI-13 (Китайский институт атомной энергии (СИАЕ), Пекин).

На ЭГ-5 ЛНФ ОИЯИ заканчиваются измерения сечения реакции $^{148}\text{Sm}(n, \alpha)^{145}\text{Nd}$ в диапазоне энергии нейтронов 3,3–5,3 МэВ.

Экспериментальные данные для реакции $^{91}\text{Zr}(n, \alpha)^{88}\text{Sr}$ обработаны и опубликованы в журнале «Phys. Rev. C» [7]. Сечения были измерены с высокой точностью при энергии нейтронов 3,9, 4,3, 5,0 и 5,3 МэВ. Это первый экспериментальный результат в области МэВ. Полные сечения получены сложением измеренного сечения реакции $^{91}\text{Zr}(n, \alpha_0)^{88}\text{Sr}$ и парциального сечения (n, α_1) , рассчитанного с помощью Talys-1.9. Кроме того, рассчитаны факторы альфа-кластеризации дву-





мя методами с использованием компаундного и «кноск-оп» механизмов, которые показывают, что альфа-кластеры формируются после взаимодействия нейтронов с ядрами мишени.

На тандем-ускорителе HI-13 Китайского института атомной энергии проведены измерения сечений реакции $^{40}\text{Ca}(n, \alpha)^{37}\text{Ar}$ для пяти значений энергии нейтронов в области 8,5–9,5 МэВ, результаты опубликованы в журнале «Phys. Rev. C» [8]. Для этой реакции имеется относительно много измерений, которые были выполнены в предыдущие годы для энергий нейтронов ниже 7 МэВ, но диапазон энергий от 7 до 14 МэВ оказался очень плохо изучен экспериментально из-за отсутствия надежных источников моноэнергетических нейтронов. Небольшое количество данных генерирует повышенный интерес к новым измерениям, особенно в связи с расхождением между результатами некоторых предыдущих измерений и рекомендациями международных ядерных библиотек данных. Для измерения сечений использовалась ионизационная камера. Полученные результаты сравнены с имеющимися экспериментальными данными и оценками библиотек на рис. 4.

Для теоретических расчетов использовался код Talys-1.9. Эти расчеты с поправленными параметрами находятся в согласии с проведенными измерениями и показывают, что компаундный механизм является преобладающим для реакции $^{40}\text{Ca}(n, \alpha)^{37}\text{Ar}$ в области 8,5–9,5 МэВ. Тем не менее измеренные отношения вперед/назад и расчеты по TALYS-1.9 говорят о том, что прямыми и предравновесными механизмами нельзя пренебрегать.

Также были измерены сечения реакции $^{232}\text{Th}(n, f)$ при 12 значениях энергии в области 4,2–11,5 МэВ. Эксперименты были выполнены на ЭГ-4.5 Пекинского университета (диапазон 4,2–5,5 МэВ) и тандем-ускорителе HI-13 (СИАЕ, Пекин) (8,5–11,5 МэВ) [9]. Результаты согласуются с существующими экспериментальными данными, полученными с использованием белых источников

нейтронов, тогда как предыдущие результаты измерений сечений с помощью моноэнергетических источников нейтронов систематически переоценены.

Разработка концепции источника УХН на импульсном реакторе

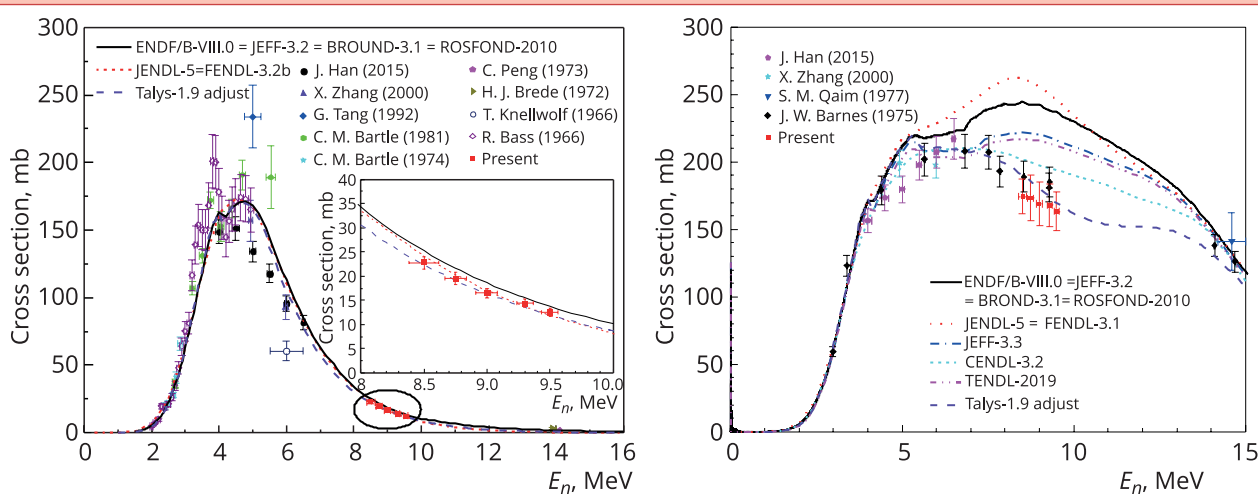
Продолжена работа по созданию концепции интенсивного источника ультрахолодных нейтронов (УХН) на импульсном реакторе умеренной мощности. В качестве основного варианта рассматривается источник, основанный на принципе временной фокусировки и идее Ф. Л. Шапино об импульсном наполнении ловушки для УХН.

Было осознано, что предлагавшаяся ранее реализация временной линзы, основанная на принципе временной фокусировки с помощью нестационарной дифракции нейтронов на движущейся дифракционной структуре, сопряжена с едва ли преодолимыми трудностями. Это заставило обратиться к альтернативному подходу фокусировки, основанному на принципе нестационарного переворота спина нейтрона в магнитном поле. В качестве временной линзы в этом случае может выступать так называемый адиабатический, или градиентный, флиппер, в котором переворот спина происходит под действием переменного высокочастотного поля, направленного перпендикулярно к большому постоянному полю. При прохождении флиппера энергия нейтронов меняется на величину $E_D = 2\mu B$, где μ — магнитный момент нейтрона, а B — величина постоянного магнитного поля.

Так как изменение энергии в спин-флиппере происходит вдоль направления градиента магнитного поля, то одной из важных задач является создание такой конструкции линзы, чтобы это изменение энергии было преимущественно обусловлено изменением скорости нейтронов вдоль пучка. Начаты исследования этой проблемы.

Позднее было понято, что в случае большого сброса энергии нейтронов флиппером-замедли-

Рис. 4. Сечения реакций $^{40}\text{Ca}(n, \alpha_0)^{37}\text{Ar}$ (слева) и $^{40}\text{Ca}(n, \alpha)^{37}\text{Ar}$ (справа)



телем и, соответственно, большой изначальной энергии и скорости нейтронов даже в отсутствие временной линзы разброс времен пролета δt от импульсного источника до флиппера-замедлителя и, соответственно, до ловушки у таких нейтронов может быть много меньшим самого времени пролета $t = L/V$, где L — длина транспортного нейтронного канала. При благоприятных условиях δt может быть значительно меньше и периода повторения импульсов реактора T . В этом случае поток нейтронов, которые после замедления будут конвертированы в УХН, способные храниться в ловушке, будет иметь импульсную структуру и плотность нейтронов в импульсе будет превышать среднюю в $G = T/\delta t$ раз. Последний результат привел к предложению создания первой стадии источника УХН без временной фокусировки, но с флиппером-замедлителем, рассчитанным на большой сброс энергии. При магнитном поле порядка 20 Тл изменение энергии будет составлять величину $E_D = 2,4 \cdot 10^3$ эВ, а скорость нейтронов до замедления будет порядка 20 м/с. Данные поля достижимы в современных сверхпроводящих системах.

Использование нейтронов с такими большими скоростями обеспечивает лучшие условия транспортировки нейтронов от конвертера и позволяет применять более эффективный конвертер.

Изучение фресковой живописи нейтронными методами

Начаты исследования археологических фрагментов фресковой живописи церкви Иоанна Предтечи на Опоках (XII в.) и Воскресенского собора Деревяницкого монастыря (XVI–XVII вв.) в Великом Новгороде. На основе полученных результатов были подготовлены и сделаны два доклада на X научно-практической конференции «Новгород и Новгородская земля. Искусство и реставрация», которая прошла с 18 по 21 октября 2022 г. в Великом Новгороде.

Более 10 комплементарных методов были применены для изучения уникальных домонгольских настенных росписей XII в. из Георгиевского собора Юрьева монастыря в Великом Новгороде [10]. Были изучены как археологические образцы из основного объема храма, так и фрагменты *in situ* в башне собора.

Впервые в России для исследования элементного состава пигментов и штукатурных оснований использованы чувствительные нейтронные методы — нейтронный активационный анализ и активационный анализ на мгновенных гамма-квантах. Проведенные исследования позволили определить элементный и минеральный состав пигментов и штукатурных оснований, использованных при создании фресок, выявить технику росписей, сделать предположения о разном времени создания росписей в основном объеме и в башне собора, а также реконструировать

первоначальный облик фрески с изображением св. Георгия. Обнаружение дорогого пигмента лазурита засвидетельствовало высокий статус заказчика росписей собора. Проведено сравнение полученных данных с одновременными росписями византийских и итальянских храмов.

Биомониторинг воздушных загрязнений

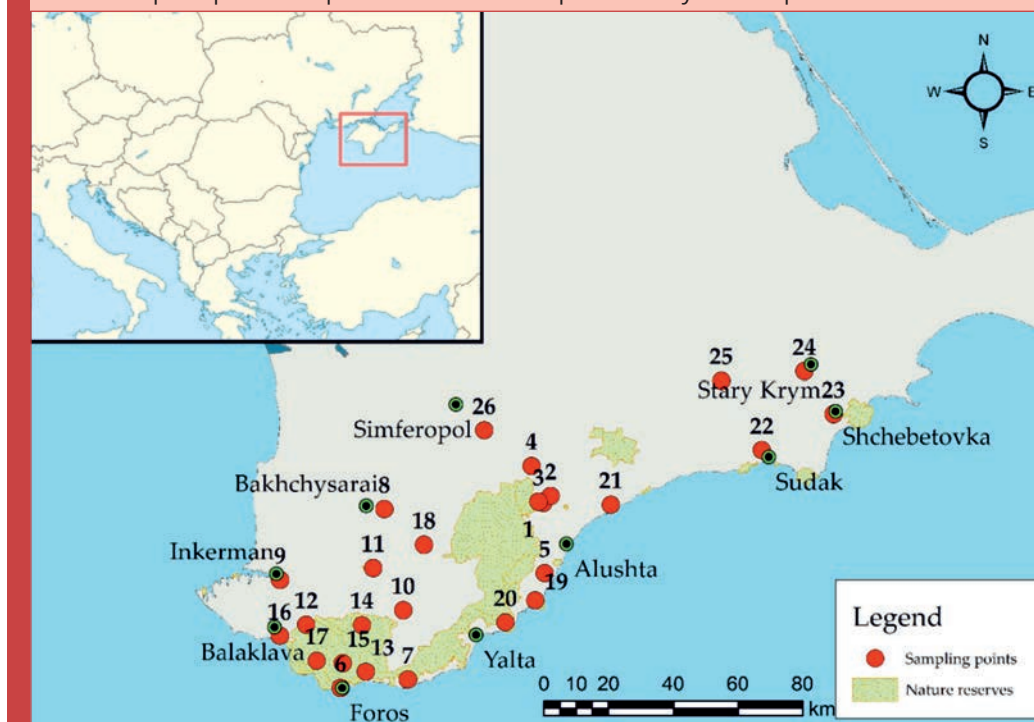
В рамках международной программы «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе — оценки на основе анализа мхов-биомониторов» была подготовлена сравнительная работа по результатам двух биомониторинговых исследований, проведенных в Республике Молдова в 2015 и 2020 гг. Сравнение результатов показало, что содержание большей части элементов во мхах, собранных в 2020 г., снизилось по сравнению с 2015 г. Наиболее значительное снижение наблюдалось для Pb и Cd, среднее содержание которых снизилось на 75 и 66 % соответственно. Концентрации Cu уменьшились на 43 %, а V и Cr — на 31 % для обоих элементов. Содержание Al, Fe, Ni, As и Sb уменьшилось менее чем на 30 %, а содержание Zn увеличилось на 8,9 %. Основными источниками загрязнения воздуха в стране являются транспорт, энергетический сектор, промышленность и сельское хозяйство [11].

Пассивный биомониторинг был проведен в северной и южной частях Вьетнама. Методом НАА было определено содержание 39 элементов в 45 пробах мха. Факторный анализ позволил выделить пять основных компонентов. Фактор 1 включил в себя элементы почвенного происхождения: Ce, La, U, Al, Fe, Ti и Zr. Фактор 2 представлен Ni, Sb, Cr, Ba, Co, V, Zr и Zn, повышенное содержание которых связано с сжиганием топлива и трансграничным переносом. Элементы третьего фактора, Cl, K и Na, указывают на воздействие сельскохозяйственной деятельности на качество воздуха. Фактор 4 включает элементы (Th, Zn, As и Al), которые считаются индикаторами добычи полезных ископаемых. Фактор 5 (Sr, Ca, Mg и Ba) может быть связан с химическим составом воды в исследуемом регионе [12].

Были завершены работы по оценке атмосферных выпадений тяжелых металлов с помощью мхов-биомониторов на Крымском полуострове (рис. 5) [13].

Из пяти факторов, определенных методом главных компонент, фактор 1 представляет собой комбинацию элементов Na, Mg, Al, Sc, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Se, Rb, Sb, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Ta, Th и U, поступающих в процессе выветривания поверхностного слоя земной коры. Фактор 2 включает Br и I, накопление которых связано с переносом ионов металлов с поверхности Черного моря. Фактор 4 является антропогенным и включает в себя элементы Cl и K, в то время как факторы 3 и 5 включают элементы природного происхождения.

Рис. 5. Карта пробоотбора мхов-биомониторов в Республике Крым



Активный биомониторинг (техника «мох в мешках») был применен для оценки качества воздуха в г. Туле вблизи Косогорского металлургического завода. В качестве биоиндикаторов были выбраны мхи *Pleurozium schreberi*, *Sphagnum*

fallax и *Dicranum polysetum*. Значения коэффициента накопления (RAF) свидетельствовали о высокой степени загрязнения изучаемой территории в результате производственной деятельности, в основном Mn и Fe [14].

БАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ ЛНФ

Реактор ИБР-2

В 2022 г. реактор ИБР-2 не работал на физические эксперименты.

Был подготовлен комплект документов на получение новой лицензии (старая действовала до 30.09.2022 г.). Документы направлены в Ростехнадзор в ноябре 2022 г. и находятся на рассмотрении.

Начаты работы по изготовлению новых воздушных теплообменников. Проводились работы по продлению ресурса систем и оборудования, плано-предупредительный ремонт.

Установка ИРЕН

На установке ИРЕН проведены эксперименты по оптимизации рабочей частоты ускоряющей системы и согласованию рабочих частот ускоряющих структур с собственными частотами резонаторов систем компрессии СВЧ-мощности SLED. После согласования (возможно, еще не полного) частоты задающего генератора, рабочей частоты секции и собственных частот резонаторов SLED удалось добиться повышения выхода нейтронов из неразмножающей мишени установки ИРЕН, а измерение спектров энергии частиц пучка уско-

рителя подтвердило повышение энергии на выходе ускорителя до 115 МэВ. Полученные результаты дают основания надеяться на увеличение интенсивности нейтронных пучков при работе на частоте циклов 50–100 Гц.

В 2022 г. установка ИРЕН отработала на эксперимент более 1000 ч, из них на частоте циклов 50 Гц — 450 ч, на частоте циклов 25 Гц — 390 ч, на частоте 2 Гц — 192 ч.

Ускоритель ЭГ-5

На установке ЭГ-5 начаты работы по модернизации ускорителя. При помощи коллег из ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН и НГУ (Новосибирск) проведены расчеты новой ускоряющей трубки. Намечены шаги по ее изготовлению и созданию нового источника ионов на базе ИЯФ. Выполнен косметический ремонт одного из двух экспериментальных залов.

Новое оборудование комплекса спектрометров на реакторе ИБР-2

В основном выполнены подготовительные работы по созданию на спектрометре РЕМУР



криостата с холодной вертикальной загрузкой, охлаждением криокулером замкнутого цикла с откачкой жидкого ^3He для получения температуры 0,5 K.

В связи с наличием на данном спектрометре оборудования для детектирования вторичного излучения, в низкотемпературной части криостата планируется к реализации широкоапертур-

ная геометрия, обеспечивающая размещение гамма-детектора. Криостат будет создан на основе встроенного ожижителя ^4He . Конструкция криостата позволит разместить ядерно-ориентационный термометр, осмотический термометр (^3He в ^4He), а также термометр, основанный на измерении давления насыщенных паров над жидким ^3He .

НОВЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ

В течение 2022 г. продолжались работы над проектом высокоинтенсивного импульсного источника нейтронов. В процессе исследования вопросов стабильности и устойчивости работы реактора «Нептун» был сделан вывод о том, что главным фактором негативного влияния на стабильность и устойчивость работы реактора на всех режимах является динамический изгиб тепловыделяющих элементов и тепловыделяющих сборок твэлов. Явление динамического изгиба характерно только для пульсирующих реакторов; остальные факторы, в соответствии с проведенными расчетами, существенного влияния на динамику реактора «Нептун» не оказывают и полностью компенсируются отрицательной обратной связью от аксиального расширения ядерного топлива — сердечника твэла.

Начата работа по выходу за рамки осцилляторного приближения для динамического изгиба. Прямой подход приводит к построению системы дифференциальных уравнений в частных производных, включающей уравнения до четвертого порядка. Разработана методика по реше-

нию таких уравнений комбинированным численно-аналитическим методом с использованием балочных функций. Получены первые результаты решения таких уравнений.

На основе полученных результатов уже можно сформулировать требования к оптимальной конструкции твэлов и композиции активной зоны реактора «Нептун», обеспечивающей устойчивую работу реактора на установленной мощности 10–15 МВт. Предпочтительным вариантом компоновки активной зоны является вариант с жестким креплением одного из концевиков твэлов, не собранных в ТВС (потвэльная сборка), и крепление, обеспечивающее ограниченные малые поперечные и неограниченные продольные смещения, для другого концевика. Предварительно, жесткое крепление должно быть у верхнего концевика.

Одновременно с поиском наилучшей компоновки активной зоны реактора ведется работа по поиску оптимального варианта конфигурации замедлителей. Выполнена оптимизация теплового (водяного) замедлителя реактора «Нептун».

Расчеты, проведенные при помощи программы SERPENT, показали, что толщины водяного замедлителя 4 см достаточно для конвертации большей части быстрых нейтронов в тепловые. Максимальный поток тепловых нейтронов достигается при толщине водяного замедлителя 5,5 см.

Совместно с РФЯЦ-ВНИИТФ (Росатом) начата подготовка к выполнению прецизионных расчетов нестационарного изгиба твэла в условиях, характерных для реактора «Нептун», с целью верификации созданной в СНИКЗ ЛНФ расчетной методики. Проводится изучение возможности

проведения исследований на имеющихся во ВНИИТФ экспериментальных реакторах с целью верификации расчетов в обоснование нейтронно-физических и динамических характеристик реактора «Нептун».

Совместно с АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» (Росатом) ведется обсуждение возможности выполнения следующих работ по реализации проекта «Нептун»: моделирование активной зоны реактора на быстром физическом стенде, проведение расчетов и моделирование модулятора реактивности, проведение исследования УХН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kozlenko D. P., Dang N. T., Kichanov S. E., Thao L. T. P., Rutkavkas A. V., Lukin E. V., Savenko B. N., Tran N., Khan D. T., Truong-Son L. V., Khiem L. H., Lee B. W., Phan T. L., Phan N. L., Truong-Tho N., Hieu N. N., Tran T. A., Phan M. H. High Pressure Enhanced Magnetic Ordering and Magnetostructural Coupling in the Geometrically Frustrated Spinel Mn_3O_4 // *Phys. Rev. B*. 2022. V. 105. 094430.
2. Karpets M., Rajnak M., Petrenko V., Gapon I. V., Avdeev M. V., Bulavin L. A., Timko M., Kopcanský P. Electric Field-Induced Assembly of Magnetic Nanoparticles from Dielectric Ferrofluids on Planar Interface // *J. Molecul. Liquids*. 2022. V. 362. 119773.
3. Murugova T. N., Ivankov O. I., Ryzhykau Y. L., Soloviov D. V., Kovalev K. V., Skachkova D. V., Round A., Baeken C., Ishchenko A. V., Volkov O. A., Rogachev A. V., Vlasov A. V., Kuklin A. I., Gordeliy V. I. Mechanisms of Membrane Protein Crystallization in “Bicelles” // *Sci. Rep.* 2022. V. 12, Iss. 1. P. 1–17.
4. Krakovsky I., Tropin T. V., Ivankov O. I., Artikulniy O. P., Petrenko V. I. Interaction of Ionic Surfactants with Epoxy-Based Hydrogel Investigated by SANS // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Engin. Aspects*. 2022 (submitted).
5. Сури́н В. И., Бо́кучава Г. Д., Папушкин И. В. // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2022. № 1(185). С. 34–44.
6. Zel I., Kenessarin M., Kichanov S., Nazarov K., Bălășoiu M., Kozlenko D. Pore Segmentation Techniques for Low-Resolution Data: Application to the Neutron Tomography Data of Cement Materials // *J. Imaging*. 2022. V. 8. P. 242.
7. Zhang G., Sansarbayer E., Gledenov Yu. M., Khuukhenkhuu G., Krupa L., Gustova N. S., Voronyuk M. G., Chuprakov I., Battsooj N., Wilhelm I., Solar M., Sykora R., Kohout Z., Liu J., Hu Y., Cui Z. Cross Sections of the $^{91}\text{Zr}(n, \alpha)^{88}\text{Sr}$ Reaction in the 3.9–5.3 MeV Neutron Energy Region // *Phys. Rev. C*. 2022. V. 106. 064602.
8. Jie Liu, Haoyu Jiang, Zengqi Cui, Yiwei Hu, Haofan Bai, Jinxiang Chen, Guohui Zhang, Gledenov Yu. M., Sansarbayer E., Khuukhenkhuu G., Krupa L., Chuprakov I., Xichao Ruan, Hanxiong Huang, Jie Ren, Qiwen Fan. Cross Sections of the $^{40}\text{Ca}(n, \alpha)^{37}\text{Ar}$ and $^{40}\text{Ca}(n, \alpha)^{37}\text{Ar}$ Reactions in the 8.50–9.50 MeV Neutron Energy Region // *Phys. Rev. C*. 2022. V. 106. 054610.
9. Gledenov Yu. M., Zengqi Cui, Jie Liu, Haoyu Jiang, Yiwei Hu, Haofan Bai, Jinxiang Chen, Guohui Zhang, Khuukhenkhuu G., Sansarbayer E., Krupa L., Chuprakov I., Yinlu Han, Xichao Ruan, Hanxiong Huang, Jie Ren. Cross Section of the $^{232}\text{Th}(n, f)$ Reaction in the MeV Neutron Energy Region // *Eur. Phys. J. A*. 2022. V. 58. P. 86.
10. Philippova O. S., Dmitriev A. Yu., Tsarevskaya T. J., Dmitrieva S. O. Comprehensive Study of 12th Century Wall Painting Fragments from the St. George Cathedral of the Yuryev Monastery in Veliky Novgorod (Russia) Using Complementary Physico-Chemical Methods // *Heritage Science*. 2022. V. 10. P. 49; <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00680-y>; <https://rdcu.be/cKYDp>.
11. Zinicovscaia I., Chalgava O., Yushin N., Grozdov D., Vergel K., Hramco C. Moss Biomonitoring of Atmospheric Trace Element Pollution in the Republic of Moldova // *Archives of Environ. Contamination and Toxicol.* 2022. V. 82. P. 355–366; <https://doi.org/10.1007/s00244-022-00918-7>.
12. Tien D. P. T., My T. T. T., Khiem L. H., Frontasyeva M., Zinicovscaia I., Son N. A., Do V. D. Studying Airborne Trace Elements in Featured Areas in Red River Delta and South Central Vietnam Using Moss Technique and Neutron Activation // *J. Rad. Nucl. Chem.* 2022. V. 331. P. 2743–2750; <https://doi.org/10.1007/s10967-022-08331-z>.
13. Nekhoroshkov P., Peshkova A., Zinicovscaia I., Vergel K. Assessment of the Atmospheric Deposition of Heavy Metals and Other Elements in the Mountain Crimea Using Moss Biomonitoring Technique // *Atmosphere*. 2022. V. 13. P. 573; <https://doi.org/10.3390/atmos13040573>.
14. Świśłowski P., Vergel K., Zinicovscaia I., Rajfur M., Wacławek M. Mosses as a Biomonitor to Identify Elements Released into the Air as a Result of Car Workshop Activities // *Ecol. Indicators*. 2022. V. 138. 108849; <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108849>.

ЛАБОРАТОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ им. М. Г. МЕЩЕРЯКОВА

Мемориальный кабинет М. Г. Мещерякова



Деятельность Лаборатории информационных технологий им. М. Г. Мещерякова в 2022 г. была сосредоточена на обеспечении надежного функционирования и развитии сетевой и информационно-вычислительной инфраструктуры, а также развитии математического и программного обеспечения научно-производственной деятельности Института и научных центров государств-членов ОИЯИ на базе Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК) ОИЯИ. Исследования проводились по двум темам: «Информационно-вычислительная инфраструктура ОИЯИ» и «Методы, алгоритмы и программное обеспечение для моделирования физических систем, математической обра-

ботки и анализа экспериментальных данных». Отличительной особенностью направлений проводимых исследований является тесное сотрудничество со всеми лабораториями Института, институтами государств-членов ОИЯИ и других стран.

Состоялся очередной этап модернизации суперкомпьютера «Говорун». Производительность этой высокопроизводительной системы выросла на 23,5 % и достигла уровня 1,1 Пфлопс.

В 2022 г. сотрудниками Лаборатории информационных технологий им. М. Г. Мещерякова опубликовано свыше 250 научных работ, 5 монографий, представлено более 100 докладов на международных и российских конференциях.

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ОИЯИ

Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс, как крупный стратегический инфраструктурный проект ОИЯИ, успешно продолжил свое функционирование в 2022 г. и обеспечил решающую роль в исследованиях,

требующих современных вычислительных мощностей и систем хранения данных. Использование в архитектуре МИВК надежной инженерной инфраструктуры и современных информационных технологий: сетей с пропускной способ-

ностью до 4×100 Гбит/с, распределенных вычислений и систем хранения данных на основе грид-технологий и облачных вычислений, гиперконвергентного суперкомпьютера «Говорун» — позволяет говорить об уникальности проекта. Многофункциональность, доступность для расчетов в режиме 24×7, масштабируемость и высокая производительность, надежная система хранения данных, информационная безопасность и развитая программная среда — основные требования, которым удовлетворяет МИВК.

Продолжилось активное использование ресурсов МИВК для научно-исследовательских и прикладных задач ОИЯИ. Благодаря использованию грид-технологий (DIRAC Interware), объединивших выделенные вычислительные ресурсы всех компонентов МИВК, успешно проходили сеансы моделирования для эксперимента MPD комплекса NICA. Грид-сайт Tier-1 для эксперимента CMS на LHC продолжил занимать лидирующее место среди аналогичных мировых сайтов. Tier-2/ЦИВК обеспечивал обработку данных всех экспериментов на LHC, NICA, FAIR и других крупномасштабных экспериментов, а также поддержку пользователей из лабораторий ОИЯИ и стран-участниц. Облачная среда ОИЯИ и стран-участниц использовалась главным образом для вычислений по Нейтринной программе ОИЯИ. Платформа HybridIT, в состав которой входит основной ресурс для высокопроизводительных вычислений — суперкомпьютер «Говорун» и учебно-тестовый полигон, активно использовалась зарегистрированными пользователями.

Сетевая инфраструктура ОИЯИ

Сетевая инфраструктура ОИЯИ является важнейшим компонентом ИТ-инфраструктуры ОИЯИ и МИВК. Это сложный комплекс многофункционального сетевого оборудования и специализированного программного обеспечения (ПО). Она является фундаментом для созданной и продолжающей постоянно развиваться информационно-вычислительной инфраструктуры ОИЯИ, обеспечивая доступ в Интернет, к вычислительным ресурсам, системам хранения данных как внутри ОИЯИ, так и во внешних научных организациях, сотрудничающих с ОИЯИ. Сетевая инфраструктура ОИЯИ состоит из следующих функциональных частей: внешнего оптического телекоммуникационного канала передачи данных ОИЯИ–Москва, опорной магистрали локальной компьютерной сети ОИЯИ, локальных компьютерных сетей подразделений Института.

В 2022 г. надежно функционировали телекоммуникационные каналы связи ОИЯИ: резервированный канал до Москвы с пропускной способностью 4×100 Гбит/с, прямой канал связи ОИЯИ–ЦЕРН с пропускной способностью 100 Гбит/с и резервный канал 100 Гбит/с, проходящий через Москву и Амстердам, обеспечивающие функционирование сети LHCOPN для связи

центров Tier-0 (ЦЕРН) и Tier-1 (ОИЯИ) и внешней наложенной сети LHCONE, предназначенной для центра Tier-2 ОИЯИ, для связи с использованием технологии RU-VRF в сотрудничестве с RUHEP, сетями Национальной исследовательской компьютерной сети России и RetN [1]. Для передачи данных по внешнему оптическому телекоммуникационному каналу используется технология DWDM (Dense Wave Division Multiplexing).

Распределение входящего и исходящего трафика по подразделениям ОИЯИ в 2022 г. (превышающего по входящему трафику 25 ТБ) приведено в таблице. Значительно увеличился трафик гостинично-ресторанного комплекса (ГРК), что связано с вводом в строй после ремонта корпуса на Московской, 2, который был оснащен сетевой инфраструктурой и выделением 512 IP-адресов.

Подразделение	Входящий трафик, ТБ	Исходящий трафик, ТБ
ЛФВЭ	430,2	209,23
ГРК	413,24	60,25
ЛИТ	330,76	204,99
ЛЯП	229,59	113,38
Университет «Дубна»	139,03	39,38
ЛЯР	137,7	32,69
ЛНФ	137,05	42,05
Управление	96,16	53
Узел удаленного доступа	84,88	11,84
УНЦ	52,97	11,51
ЛТФ	35,57	15,96
ЛРБ	29,49	4,53
УСИ	27,63	2,94

Общий входящий трафик ОИЯИ, включая сервера общего назначения, Tier-1, Tier-2, СК «Говорун» и облачные вычисления, составил в 2022 г. 29,56 ПБ, общий исходящий — 34,19 ПБ. Трафик с научно-образовательными сетями является основным и составляет 94,5 % от общего.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) базируется на магистральной опорной сети ОИЯИ с пропускной способностью 2×100 Гбит/с и распределенной многоузловой кластерной сетью между площадками ЛЯП и ЛФВЭ (4×100 Гбит/с).

В 2022 г. продолжалась модернизация центрального сетевого виртуального кластера сетевой службы ОИЯИ (NOC — Network Operation Center), который построен на базе открытого ПО Proxmox VE под лицензией GNU. Кластер NOC обеспечивает работу служб NOC и ОИЯИ, таких как dns, dhcp, proxy, mail, webmail, maillist, ssl, сервера БД, виртуальный хостинг, мониторинг nmis, sshgate, централизованный сбор логов, телефония sip и др.

Сетевая служба регулярно обновляет ПО на 15–20 серверах (webmail.jinr.ru, indico.jinr.ru, mail.jinr.ru, maillist.jinr.ru, mx1.jinr.ru, mx2.jinr.ru, auth1.jinr.ru (login.jinr.ru), auth-2.jinr.ru и т. д.), что позволяет системам быть в актуальном состоянии.

В 2022 г. зарегистрирована зона jinr.int, почтовый сервер mail.jinr.ru адаптирован для работы с зоной jinr.int.

Планомерно осуществлялись работы по усовершенствованию почтового сервиса mail.jinr.ru: подготовлен и введен в эксплуатацию новый гипервизор, разработаны скрипты, создан новый сервер adm-mail.jinr.ru для «холодной» копии mail.jinr.ru. Осуществлялась поддержка сервисов почтовых рассылок (maillist.jinr.ru), «личный кабинет», News, VPN, eduroam, Elibs, IPDB.

За год отработано около 1300 пользовательских заявок. С марта обеспечивается усиленный режим защиты сети. Выявлено и отработано более 80 инцидентов, связанных со взломами ресурсов сети ОИЯИ, нарушениями авторских прав и т. д. В рамках сотрудничества со сторонними научными организациями обеспечен VPN доступ в сеть более чем для 110 пользователей вычислительных ресурсов. Обеспечена система мониторинга и отслеживания состояния более чем 770 элементов сети. Введен в эксплуатацию сервис удаленного доступа sshgate. Для веб-сайтов, открываемых на доступ извне, выполняется обязательная проверка на уязвимости.

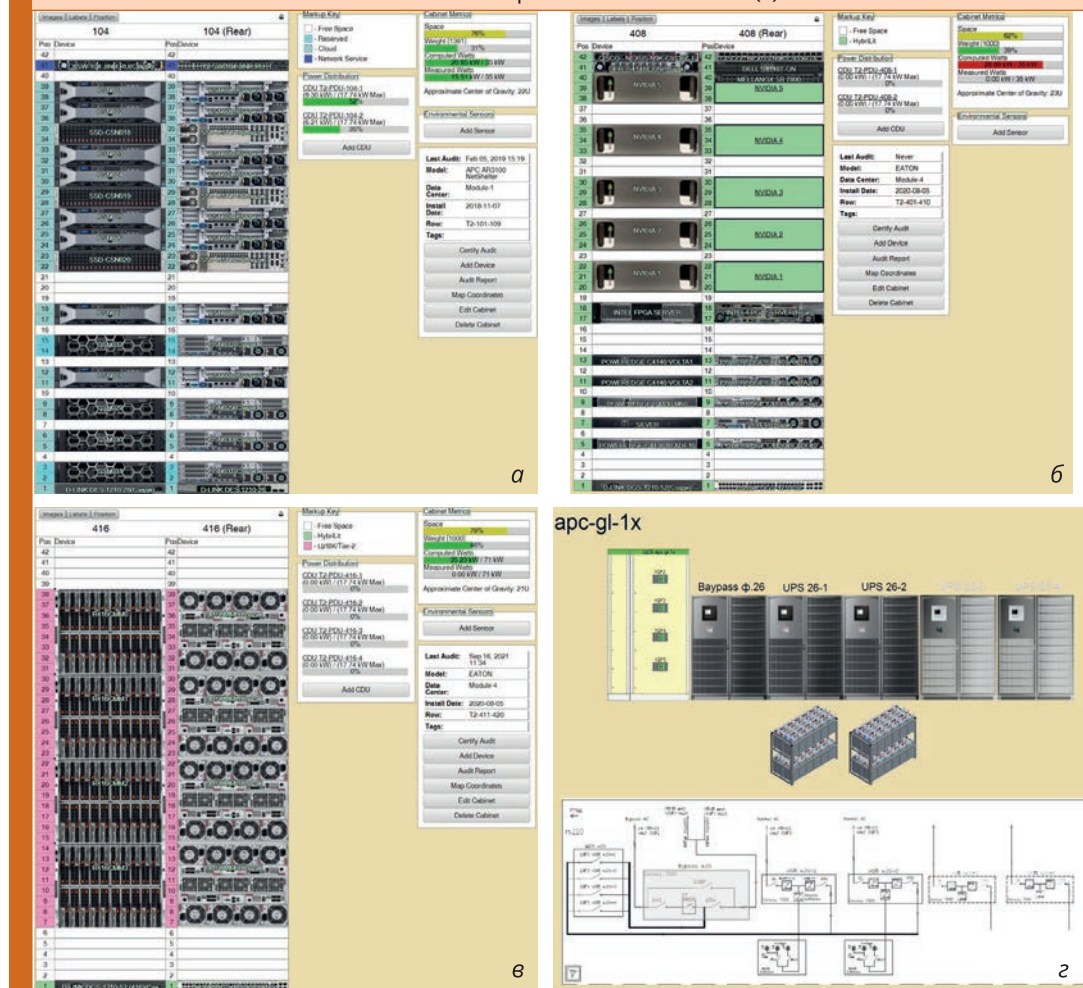
ЛВС ОИЯИ содержит 9291 сетевой элемент и 18044 IP-адреса, 6355 пользователей, 4477 адресов электронной почты @jinr.ru, 1455 пользователей электронных библиотек, 837 пользователей сервиса удаленного доступа и 111 пользователей сервиса EDUROAM.

Инженерная инфраструктура МИВК

В 2022 г. продолжены работы по замене и усовершенствованию инженерной инфраструктуры МИВК, предназначенной для обеспечения надежной, бесперебойной и отказоустойчивой работы информационно-вычислительных систем и ресурсов хранения данных.

Вычислительные мощности МИВК размещены в одном вычислительном зале площадью 800 м² на 2-м этаже корпуса ЛИТ. В настоящее время он состоит из восьми отдельных модулей с вычислительным оборудованием общей допустимой мощностью 2 МВт. Все стойки обеспечены питанием от источников бесперебойного питания с автономностью 10–15 мин. Стойки оснащены интеллектуальными (переключаемыми и дозируемыми) устройствами распределения электроэнергии, которые позволяют осуществ-

Рис. 1. Примеры системы визуализации оборудования в стойках 104 (а), 408 (б) и 416 (в) зала МИВК и системы источников бесперебойного питания (г)



влять детальный мониторинг потребления электроэнергии. В эксплуатации находятся два резервных дизельных генератора для обеспечения вычислительного центра электроэнергией в случае отключения от внешних электросетей. Все модули, кроме СК «Говорун», имеют воздушное охлаждение. Суперкомпьютер «Говорун» полностью охлаждается «горячей» водой, что обеспечивает плотность мощности 100 кВт на стойку и PUE = 1,06.

Все технологическое оборудование, обеспечивающее как гарантированное энергоснабжение МИВК, так и системы охлаждения, расположено на первом и цокольном этажах здания. Чиллеры, сухие градирни и дизель-генераторы расположены на прилегающей к зданию ЛИТ территории.

Для контроля и учета оборудования МИВК эксплуатируется система DCIM (Data Center Infrastructure Management). Это программное обеспечение позволяет визуализировать и управлять физической инфраструктурой МИВК на основе данных об оборудовании и его расположении, занесенных в базу данных DCIM, предоставлять сервисы управления и мониторинга. На рис. 1 приведены примеры визуализации оборудования.

Грид-среда ОИЯИ (сайты Tier-1 и Tier-2)

В 2022 г. продолжалось успешное функционирование грид-сайтов ОИЯИ, была обеспечена их практически 100 %-я надежность и доступность.

На протяжении многих лет ресурсный центр первого уровня Tier-1 использовался только для выполнения заданий по эксперименту CMS на LHC в рамках участия ОИЯИ и стран-участниц в этом эксперименте. С 2021 г. внедрение платформы DIRAC позволило использовать выделенные ресурсы этого центра для задач моделирования эксперимента MPD проекта NICA. Количество выделенных ресурсов регулируется запросами от коллаборации MPD. В настоящее время Tier-1 содержит 18656 ядер с общей производительностью 297 135,18 НЕР-SPEC06. Используемое ПО и компиляторы: CentOS Scientific Linux версии 7.9, gcc (GCC) 4.8.5, gcc-11.2.1, gcc-c++-11.2.1, gcc-gfortran-11.2.1, C++ (g++ (GCC)) 4.8.5, GNU Fortran (GCC) 4.8.5, DCACHE-6.2 для хранения данных, Enstore 6.3 для ленточных библиотек и FTS. Общая полезная емкость дисковых серверов — 14 ПБ, ленточных библиотек — 50,6 ПБ. Система долговременного хранения данных на библиотеке IBM TS4500 ориентирована на обслуживание экспериментов комплекса NICA и CMS. ПО для

Рис. 2. Вклад мировых центров Tier-1 в обработку экспериментальных данных CMS за 2022 г.: а) распределение по нормированному времени ЦПУ в НЕР-SPEC06 часах; б) количество обработанных событий; в) статистика использования центра Tier-1 ОИЯИ коллаборацией CMS по разным типам потоковой обработки данных. г) Распределение по числу задач, выполненных на Tier-1 коллаборациями CMS, BM@N, MPD и SPD в 2022 г.

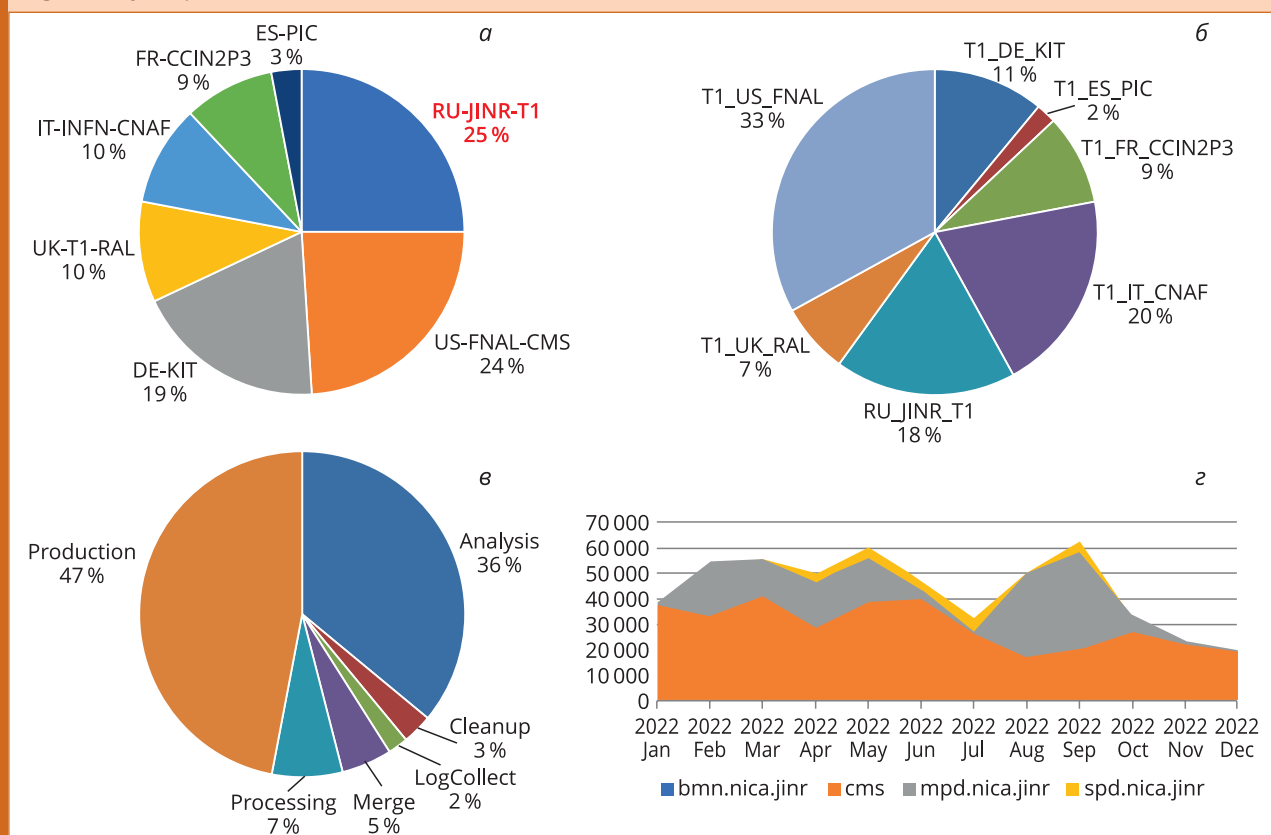
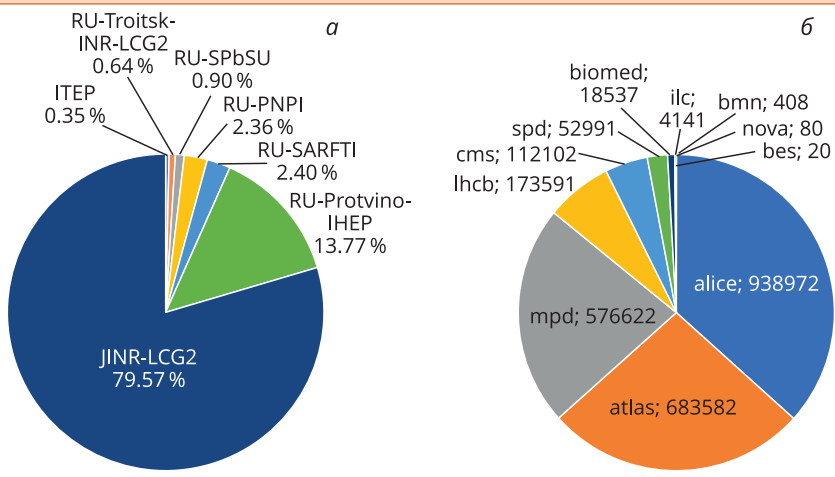


Рис. 3. а) Распределение выполненных на грид-сайтах RDIG задач; б) использование сайта Tier-2 ОИЯИ (JINR-LCG2) виртуальными организациями в рамках грид-проектов



коллективами CMS, BM@N, MPD и SPD в 2022 г.

Сайт Tier-2 ОИЯИ является наиболее производительным в российском консорциуме RDIG (Russian Data Intensive Grid). 80 % общего процессорного времени в RDIG используется для вычислений на этом сайте. Вычислительные ресурсы центра Tier-2 в 2022 г. составили 9244 ядра, что в настоящее время обеспечивает производительность 149 938,7 HEP-SPEC06. Общая полезная емкость дисковых серверов составляет 4763 ТБ для ATLAS, CMS и ALICE и 140 ТБ для других виртуальных организаций.

NICA устанавливается в CVMFS с помощью GitLab самими пользователями/разработчиками ПО.

По производительности Tier-1 (RU_JINR_T1) занимает первое место среди других центров Tier-1 для эксперимента CMS в мире (рис. 2, а). В 2022 г. обработано более 275 миллионов событий, что составляет 18 % от общего числа обработанных событий (рис. 2, б) и 25 % от общей загрузки ЦПУ всех центров Tier-1 для эксперимента CMS.

На рис. 2, в приведена статистика использования Tier-1 ОИЯИ в эксперименте CMS по разным типам потоковой обработки данных (реконструкция, моделирование, повторная обработка, анализ и т. д.). На рис. 2, г представлено распределение по числу задач, выполненных на Tier-1

делением выполненных на грид-сайтах RDIG задач. На рис. 3, б приведены данные по использованию сайта ОИЯИ Tier-2 (JINR-LCG2) виртуальными организациями в рамках грид-проектов в 2022 г.

В 2022 г. продолжилось использование пользователями подразделений ОИЯИ системы хранения данных на базе ПО EOS емкостью 17 ПБ. На рис. 4 представлена статистика использования системы EOS.

Облачная инфраструктура

На рис. 5 приведена информация о потреблении ресурсов облачной инфраструктуры в 2022 г.: основными пользователями являются коллаборации нейтринных экспериментов и ЛИТ.

Рис. 4. Статистика использования системы EOS группами пользователей и коллаборациями

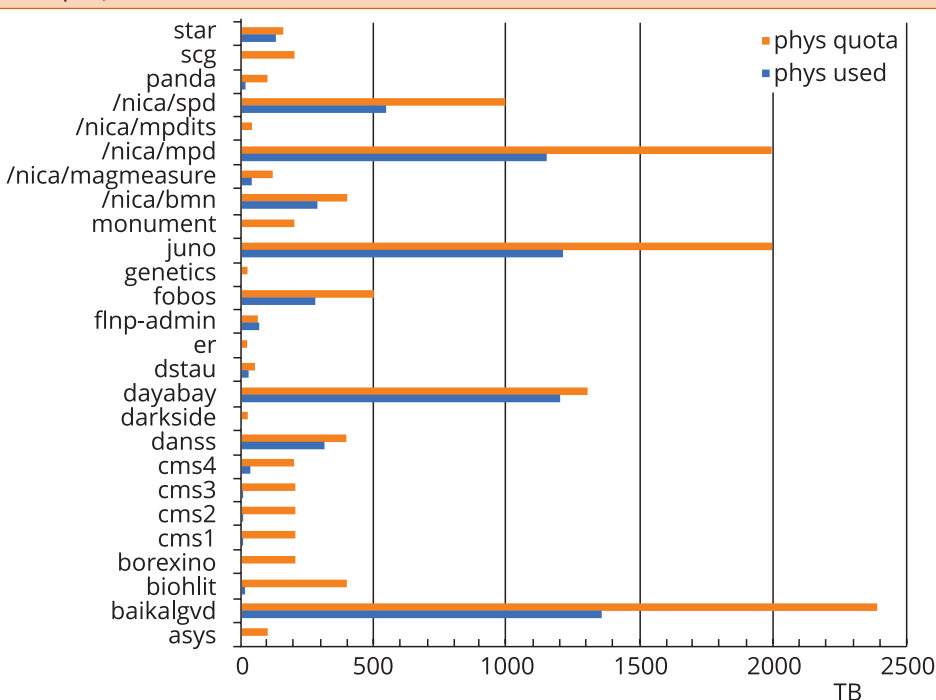
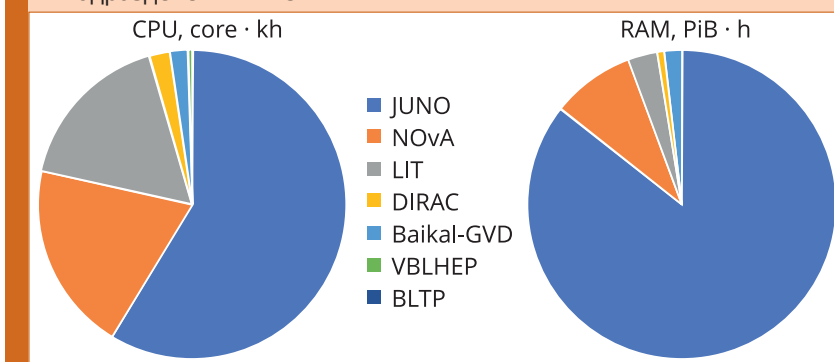


Рис. 5. Использование облачных вычислений коллаборациями и подразделениями ОИЯИ



В 2022 г. продолжились работы в рамках развития и поддержки вычислительной платформы для нейтринных экспериментов. В связи с прекращением поддержки GSI-аутентификации и переходом экспериментов DUNE и NOvA на систему аутентификации с использованием токенов, кластер HTCondor облачной нейтринной платформы был обновлен до версии 9.0, в которой была реализована поддержка аутентификации по JSON web-токенам (так называемым JWT). Для эксперимента DUNE было развернуто и подключено к Open Science Data Federation (OSDF) кэширующее хранилище данных StashCache общим объемом 1 ТБ. По запросу коллаборации JUNO разработан экспортер данных как о текущей нагрузке в батч-кластере нейтринной платформы для использования этих данных коллаборацией с целью оптимизации распределения вычислительных задач в глобальной грид-инфраструктуре JUNO, так и об используемом хранилище EOS и загрузке сетевых каналов ОИЯИ.

В сервисе интерактивных вычислений jupyter.jinr.ru, по запросу пользователей, вместо набора разных образов с различным ПО для анализа данных был подготовлен один универсальный образ на базе DataScience Notebook из набора Jupyter Docker Stacks, включающий все базовое ПО и модифицированное окружение, необходимое для корректной работы ПО ROOT.

Введен в эксплуатацию сервер с графической картой NVIDIA A100 Ampere 40 GB для пользователей нейтринной вычислительной платформы, занимающихся разработкой алгоритмов машин-

ного обучения, а также использующих соответствующее прикладное ПО.

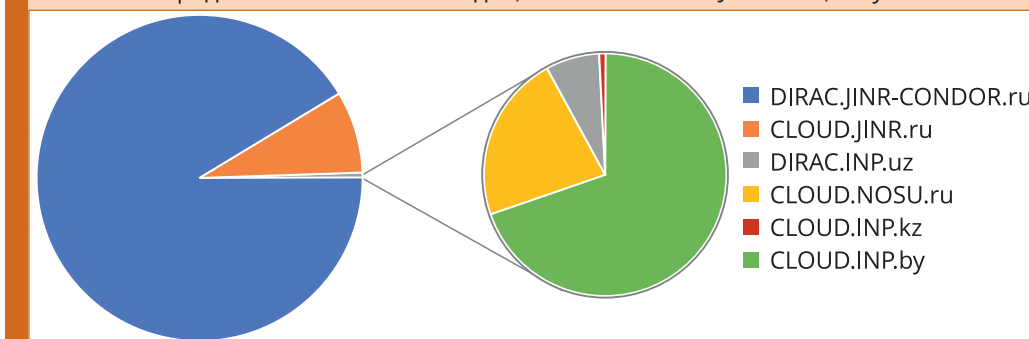
В облачном хранилище ОИЯИ создана дополнительная локальная реплика наборов смоделированных и реальных данных в ближнем и дальнем детекторах эксперимента NOvA для проведения осцилляционного анализа экспериментальных данных полностью независимо от инфраструктурных инструментов FermiLab.

Произведено копирование порядка 60 ТБ данных экспериментаorexino из дата-центра CNAF (Италия) на EOS-хранилище в ОИЯИ. Для аутентификации и авторизации пользователя, под которым копировались данные, использовался достаточно новый подход — с помощью сервиса IAM (Identity & Access Management).

Запущен в эксплуатацию веб-портал <http://dice.jinr.ru> с информацией об участниках распределенной информационно-вычислительной среды (JINR Distributed Information and Computing Environment — JINR DICE), объединяющей облако ОИЯИ и облачные инфраструктуры стран-участниц ОИЯИ, и о проведенных обучающих мероприятиях по работе в JINR DICE. Больше всего задач в среде JINR DICE в 2022 г. было выполнено на нейтринной вычислительной платформе (рис. 6, DIRAC.JINR-CONDOR.ru). Основным потребителем ресурсов JINR DICE в 2022 г. являлась коллаборация Baikal-GVD (96 %).

Кроме того, на базе облака ОИЯИ развернут ряд вспомогательных облачных сервисов для различных научных экспериментов ОИЯИ: несколько систем хранения документации для экспериментов и групп пользователей (ad-docs.jinr.ru для ускорительного отделения ЛФВЭ, spd-docs.jinr.ru и bmn-docs.jinr.ru для экспериментов SPD и VM@N соответственно, baikal-docs.jinr.ru для эксперимента Baikal-GVD, а также neutrino-docsdb.jinr.ru для совместного использования участниками Нейтринной программы ОИЯИ); для ускорительного отделения ЛФВЭ реализована и внедрена первая версия системы ведения электронных журналов ad-operations.jinr.ru.

Рис. 6. Распределение количества задач, выполненных в JINR DICE, по участникам



Гетерогенная инфраструктура

Проведение ресурсоемких массивно-параллельных расчетов и работа с большими данными обеспечивается гетерогенной инфраструктурой МИВК ОИЯИ, представленной платформой HUBRIIT. В состав платформы входят: учебно-тестовый полигон, экосистема ML/DL/HPC [2] и суперкомпьютер «Говорун», объединенные единой программно-информационной средой. СК «Говорун» является основной вычислительной частью платформы HUBRIIT и обладает инновационной гиперконвергентной программно-определяемой архитектурой с уникальными свойствами по гибкости настройки под задачу пользователя. В состав СК «Говорун» входят GPU- и CPU-компоненты, а также иерархическая система обработки и хранения данных.

В ноябре 2022 г. был осуществлен очередной этап модернизации СК «Говорун», связанный с расширением CPU-компонента, реализованный в рамках гиперконвергентного подхода к построению вычислительного комплекса, положенного в основу СК «Говорун». В результате модернизации CPU-компонент был расширен на 32 гиперконвергентных вычислительных узла. Каждый узел содержит два процессора Intel Xeon Platinum 8368Q (частота 2,6 ГГц, 38 ядер, кэш 57 Мбайт, тепловыделение 270 Вт), 8 модулей оперативной памяти DDR4 — 256 ГБ, 8 модулей энергонезависимой памяти Intel Optane DC Persistent Memory — 2 ТБ, 4 твердотельных SSD диска в форм-факторе EDSFF E1.S (рулер) с интерфейсом NVMe общей емкостью 16 ТБ, а также твердотельный диск SSD NVMe в формате M.2 емкостью 128 ГБ. Кроме того, каждый узел снабжен двумя адаптерами Intel Omni-Path с пропускной способностью 100 Гбит/с (см. рис. 7).

В результате модернизации CPU-компонента производительность СК «Говорун» возросла на 239 ТФлопс, а объем иерархической системы обработки и хранения данных СК «Говорун» вырос для слоя «очень горячих данных» DAOS на 1,6 ПБ и для слоя «теплых данных» на 8 ПБ. В итоге, производительность СК «Говорун» выросла на 23,5 % и достигла уровня 1,1 ПФлопс, а общая емкость иерархического хранилища выросла до 8,6 ПБ.

Гиперконвергентность новых вычислительных узлов уже позволила задействовать их для задач массовой генерации и реконструкции данных эксперимента MPD NICA. Следует отметить, что для ряда задач MPD возникла потребность в большом объеме оперативной памяти, которому удовлетворяют новые узлы. Вычислительные ресурсы и иерархическая система обработки и хранения данных СК «Говорун» были интегрированы на базе платформы DIRAC в распределенную гетерогенную среду, включающую в себя ресурсы ОИЯИ и стран-участниц. Практика использования различных вычислительных ресурсов ОИЯИ и других институтов коллаборации MPD показала, что к настоящему времени наиболее эффективным является использование ресурсов именно СК «Говорун» (см. рис. 8).

На рис. 8, а представлена диаграмма использования различных компонентов МИВК в распределенной гетерогенной среде на базе платформы DIRAC для задач MPD. При этом доля тех задач, которые могут быть посчитаны только на СК «Говорун», составила в 2022 г. порядка 44 %, а полный вклад ресурсов СК «Говорун» в массовую генерацию и реконструкцию событий для эксперимента MPD составил порядка 56%. Рис. 8, б иллюстрирует увеличение доли вычислительных ресурсов МИВК в гетерогенной среде для задач MPD. Резкое увеличение доли СК «Говорун» свя-

Рис. 7. Расположение новых узлов СК «Говорун»

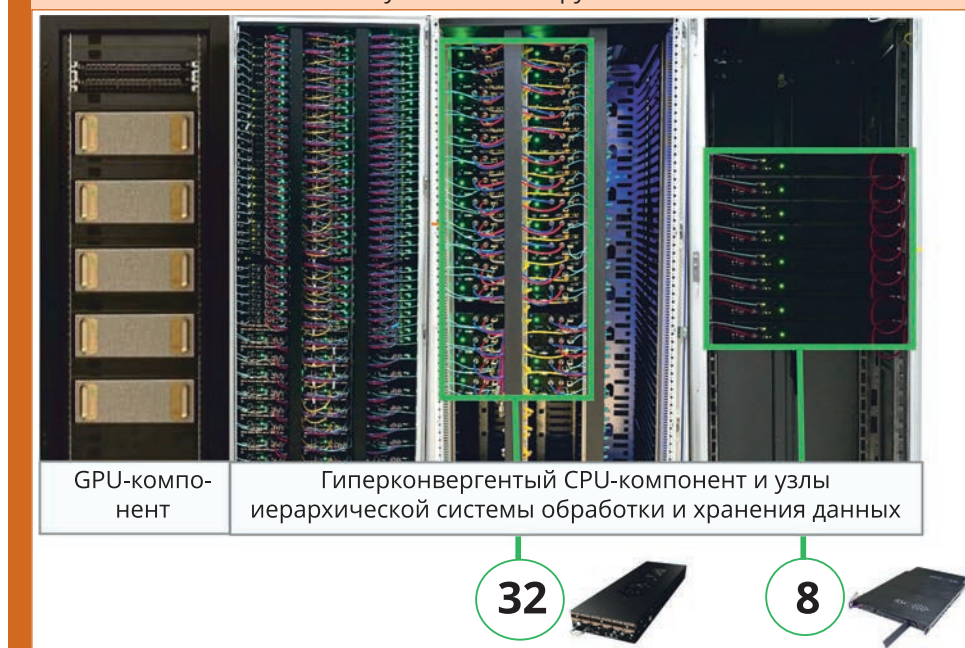
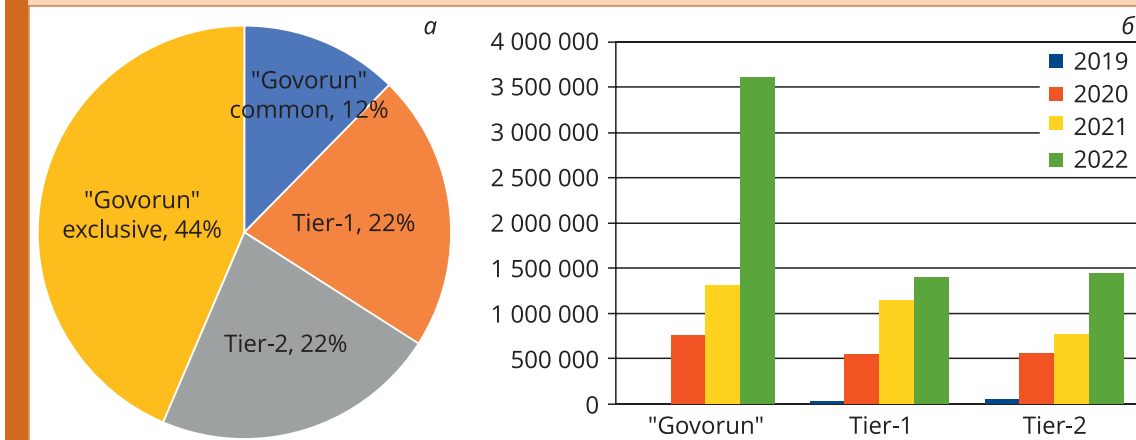


Рис. 8. Распределенная гетерогенная среда на базе платформы DIRAC для задач MPD: а) доля использования в 2022 г. различных компонентов МИВК; б) увеличение доли вычислительных ресурсов МИВК в нормализованных CPU NEP-SPEC06 днях



зано с проведенной в 2022 г. модернизацией, так, на новых узлах было сгенерировано более 50 млн событий.

Проведенная модернизация СК «Говорун» позволит ускорить исследования в области решеточной квантовой хромодинамики, качественно повысить эффективность моделирования динамики столкновений релятивистских тяжелых ионов, провести расчеты радиационной безопасности экспериментальных установок ОИЯИ и повысить эффективность решения прикладных задач. Обновленный СК «Говорун» даст возможность не только проводить расчеты, но и использовать суперкомпьютер как научно-

следовательский полигон для выработки программно-аппаратных и ИТ-решений для задач, решаемых в ОИЯИ.

Общее число пользователей СК «Говорун» к настоящему времени составляет 323 человека, из них 242 являются сотрудниками ОИЯИ, 81 — из стран-участниц.

В течение 2022 г. всеми группами пользователей ресурсов СК «Говорун» было выполнено 555 079 задач, что соответствует 40 миллионам ядро-часов, а на GPU-компоненте — 455 задач, что соответствует 32 890 GPU-часам. Средняя загрузка CPU-компонента составила 96,2 %, а загрузка GPU — 91,4 %.

Сотрудник ЗАО «РСК Технологии» Ю. Н. Мигаль рассказывает о текущем этапе модернизации суперкомпьютера «Говорун»



Система мониторинга

В рамках развития системы мониторинга ресурсов грид-сайтов Tier-1 и Tier-2 в ОИЯИ была создана новая система аккаунтинга [3], которая позволила значительно расширить функционал оригинальной системы, а также сократить время получения статистических данных за счет создания автоматической обработки данных системой визуализации. Реализованный подход обеспечивает отображение статистических данных напрямую из SLURM (Simple Linux Utility for Resource Management) и позволяет осуществлять учет ресурсов и их использование как в рамках распределенной системы обработки данных, так и локально. Система визуализации предоставила мощный инструмент для анализа и составления различных отчетов, докладов и презентаций. Система аккаунтинга интегрирована в общую систему мониторинга МИВК LITMon, что позволило организовать единую точку входа и объединить разрозненные аккаунтинги в единую структуру.

Информационные сервисы

В 2022 г. выполнен ряд работ по развитию и текущему сопровождению системы электронного документооборота (СЭД) «Дубна». Для дальнейшего развития и оптимизации электронного документооборота программное обеспечение СЭД было настроено для процесса согласования технических заданий и заданий на проектирование для разработки проектной и/или рабочей документации по всем объектам капитальных вложений Института, для документооборота счетов и актов выполненных работ по статьям бюджета 18 («Проектные работы») и 19 («Сооружение зданий и технологических систем»), для документооборота счетов и актов выполненных работ КС-2, КС-3 по статье бюджета 14 пп. а, б и т. д. Выполнен ряд работ по адаптации СЭД «Дубна» к изменениям в организации закупочных процедур в ОИЯИ.

Осуществлялось текущее сопровождение и развитие по запросам пользователей информационных систем APT EVM для NICA, CERND, B,

ISNA, HR LHEP, ADB2, PIN, ИСС, «База документов», INDICO, «Электронный фотоархив».

Продолжено сопровождение ряда сайтов Управления ОИЯИ, программ учета международного научно-технического сотрудничества (МНТС) и т. п. По ряду программ получены свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

В 2022 г. начаты работы по созданию платформы Digital JINR, основной целью которой является предоставление единой среды для создания и развития цифровых сервисов, их интеграции между собой, анализа информации о всех аспектах деятельности ОИЯИ. В цифровую экосистему будет входить широкий спектр сервисов — от ресурсов для пользователей базовых установок до оформления командировок, путевок, заказа справок и т. д. Основные группы сервисов — административные (зона ответственности Департамента развития цифровых сервисов (ДРЦС) ОИЯИ) и научные. В настоящее время реализован прототип единой точки доступа Digital Eco System (<https://eco.jinr.ru>), а также ряд сетевых сервисов, телефонный справочник и некоторые другие. Доступ к системе реализован на базе службы аутентификации JINR Single Sign-On (SSO).

Продолжены работы по сопровождению и модернизации центральных информационных серверов, порталов и баз данных для информационного и программного обеспечения деятельности ЛИТ (lit.jinr.ru) и ОИЯИ (wwwinfo.jinr.ru, dissertations.jinr.ru, pepan.jinr.ru и др.).

В опытную эксплуатацию введена информационно-аналитическая система сопровождения лицензий (LMS, soft-lit.jinr.ru). Основной целью создания LMS является автоматизация управления, приобретения, обслуживания и использования лицензионных программных продуктов. LMS состоит из системы сетевого лицензирования (NLS), баз данных и веб-интерфейса. NLS, как один из основных компонентов, реализует автоматическое предоставление и выпуск сетевых лицензий. Веб-интерфейс LMS реализован в среде разработки «СЭД Дубна» с использованием веб-приложения LegoToolkit.

МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ, МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Обеспечение математической, алгоритмической и программной поддержки экспериментальных и теоретических исследований, проводимых в ОИЯИ, является одним из основных направлений деятельности ЛИТ. Ниже приведена краткая информация о некоторых из полученных результатов.

Для оптимизации характеристик магнитной системы эксперимента CBM (FAIR) проведено

трехмерное моделирование защитного экрана фотодетекторов RICH [4]. Для магнитной системы BM@N проанализировано распределение поля в рабочей области магнита.

Проведено численное моделирование гладко-нерегулярных жидкокристаллических волноводных структур (4-суано-40-пентилбипhenyl или 5cb) под действием внешнего поля [5], что позволило изучить возникающие при этом неоднород-

ные нестационарные области. Показано, что при включении внешнего импульсно-периодического электрического поля затухание и размеры неоднородностей уменьшаются.

Предложено использовать при численных расчетах вольт-амперных характеристик длинных джозефсоновских переходов вместо схемы Рунге-Кутты «явную» схему второго порядка точности [6]. Разработан численно-аналитический алгоритм оценки ошибок округления. Установлена их ограниченность на всем интервале вычисления при применении предлагаемой схемы. Расчеты проводились на СК «Говорун» с использованием системы REDUCE.

Проведен анализ данных пион-ядерного рассеяния для ряда ядер-мишеней на основе микроскопической модели пион-ядерного потенциала [7]. Полученные численные результаты по сечению упругого рассеяния $\pi^\pm + {}^{40}\text{Ca}$ при энергиях 116, 163 и 241 МэВ подтверждают ранее сделанные выводы о влиянии ядерной среды на параметры амплитуды пион-нуклонного рассеяния.

С целью изучения ширины распада (времени жизни) элементарных частиц создан алгоритм вычисления многомерных интегралов столкновения, основанный на методе Монте-Карло [8]. Алгоритм применен для расчета ширины распада пиона в горячей среде, характерной для процессов столкновения тяжелых ядер. Расчеты производились на гетерогенном кластере HybriLIT. Для оптимизации времени расчетов использованы параллельные вычисления на основе технологий OpenMP и CUDA.

Реализована автоматизация сборки, настройки и установки программного обеспечения (DevOps) для разработки и использования MPDRoot [9]. Типичные операции MPDRoot DevOps, которые ранее были громоздкими и трудоемкими, сокращены до выполнения нескольких команд, сопровождаемых кратким руководством по развертыванию, что значительно снижает вероятность ошибок на стороне конечного пользователя и разработчика. Основным преимуществом текущей реализации является ее широкая совместимость и полная модульность, упрощающая обслуживание, обновление и выявление источника потенциальных проблем в будущем.

Проведена модернизация и последующая оптимизация программных моделей трековых детекторов эксперимента BM@N для актуальной конфигурации экспериментальной установки (осенний сеанс 2022 г.) [10]. Произведен расчет карты электростатического поля для актуальной конфигурации детектора GEM с целью повышения качества детального моделирования процессов внутри трехкаскадных газовых электронных умножителей.

Выполнена настройка алгоритмов реконструкции данных для конфигурации SRC на установке BM@N во время весеннего сеанса 2022 г.

Развиты алгоритмы на основе глубоких нейронных сетей для реконструкции событий на временном отрезке установки SPD в условиях высокой светимости. Усовершенствована рекуррентная нейронная сеть TrackNET, оптимизированная для работы на СК «Говорун» [11]. Достигнута производительность обработки данных до 2000 событий в секунду с эффективностью до 97 % и долей ложных треков 5 %.

В рамках работ по созданию конфигурационной информационной системы [12] для экспериментов проекта NICA разработан менеджер конфигураций: библиотека C++ классов для работы с API DDS, обмена данных с базой данных и обработки REST запросов. Ведутся работы по передаче конфигурационной информационной системы в опытную эксплуатацию.

Начата разработка алгоритмов реконструкции треков и методов оценки параметров работы новых кассет-детекторов HGCal эксперимента CMS в тестовом модуле на космических мюонах [13]. Проведено детальное моделирование тестовой установки с определением оптимальных размеров триггера и чувствительных плоскостей для последующего тестирования новых детекторов.

Рассмотрено применение моделей HIJING, EPOS 1.99, UrQMD и Geant4 FTF для анализа экспериментальных данных коллаборации NA61/SHINE. Показано, что Geant4 FTF хорошо описывает данные о быстротных распределениях π -мезонов во взаимодействиях ${}^{40}\text{Ar} + {}^{45}\text{Sc}$ при $\sqrt{s_{NN}} = 5,2$ и 6,1 ГэВ [14].

На суперкомпьютере «Говорун» проведена серия вычислительных экспериментов с использованием целого ряда квантовых симуляторов, таких как QuEST, Qiskit, CuQuantum, и генератора квантовых схем Circ, способных работать на различных вычислительных архитектурах [15]. Показано, что размерность вектора состояния экспоненциально растет с увеличением числа кубитов, а возможности моделирования квантовых алгоритмов на СК «Говорун» (конфигурация до модификации) ограничены 38 кубитами на CPU, 31 кубитом на одном GPU и 34 кубитами на восьми GPU [16].

В 2022 г. библиотека JINRLIB (<http://www.info.jinr.ru/programs/jinrlib/>) пополнилась следующими программами, разработанными сотрудниками ЛИТ: INQSIM — программой преобразования полностью симметричных квадратурных правил типа PI на 2-,..., 6-симплексах из компактного вида в развернутый; FITTER_WEB — программой для фитирования экспериментальных данных, полученных на спектрометре малоуглового рассеяния нейтронов, реализованной в виде Web-приложения.

Разработана и опубликована в библиотеке программ CPC программа KANTBP 3.1 для расчета значений энергии, матриц отражения и прохождения и соответствующих волновых функций в подходе адиабатических связанных каналов [17]. Теоретические сечения, полученные с помощью

программы KANTBP 3.1, хорошо описывают экспериментальные данные для различных реакций слияния и деления тяжелых ионов.

Исследованы импульсные распределения ядра и электронов в случае двукратной комптоновской ионизации атома гелия при энергии фотонов 40 кэВ [18]. Установлено, что импульсное распределение двухзарядного иона очень близко к комптоновскому профилю ядра в основном состоянии атома гелия, а импульсное распределение однозарядного иона совпадает с комптоновским профилем электрона. Теоретическое обоснование нового метода дано в [19].

Байесовская автоматическая адаптивная квадратура одномерных интегралов Римана с двумя правилами (B2AAQ) критически управляется априорной информацией, предоставленной пользователем. Определены условия, обеспечивающие прямой элементарный ввод параметров задачи, которые приводят либо к одному дереву, либо к лесу деревьев решений на подынтервалах. Это обеспечивает повышение устойчивости, надежности и эффективности B2AAQ, а также значительное расширение его области применения по сравнению с пакетом QUADPACK, который является ядром разделов вычислительной интеграции основных компьютерных библиотек по всему миру [20].

Проведено численное исследование быстрого регулирования направлением намагниченности в магнитных наноматериалах, таких как магнитные наномолекулы и нанокластеры [21]. Метод может найти применение при создании запоминающих устройств и других устройств спинтроники.

Для описания пандемии COVID-19 предложена математическая модель мультифрактальной динамики. Рассчитанные параметры модели точно определяют параметры тренда и большого скачка суточных заболеваний. Вычислены фрактальные размерности различных сегментов суточной заболеваемости в мире и вариации основного репродукционного числа COVID-19 [22].

Проанализирован Q_3 -индикатор классичности квантовых состояний с различными симметриями трехуровневой квантовой системы [23], определяемый как вероятность нахождения состояния с положительной функцией Вигнера в унитарно-инвариантном ансамбле случайных состояний, в метриках Гильберта-Шмидта, Буреша и Боголюбова-Кубо-Мори. В результате расчетов Q_3 -индикаторов во всех метриках была выявлена закономерность: состояния с «большой» симметрией являются более классическими.

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

Разработана программно-аппаратная платформа на основе встраиваемых в контур управления квантовых нечетких регуляторов для решения задачи управления давлением и расходом жидкого азота сверхпроводящих магнитов криогенной системы ускорительного комплекса NICA [24]. Квантовый регулятор показал наиболее высокое быстродействие в достижении целевого значения, низкое перерегулирование и точность достижения цели управления в срав-

нении с остальными типами регуляторов (синяя кривая, рис. 9). Проектирование квантовых нечетких регуляторов основано на квантовых информационных технологиях и осуществляется с помощью разработанного сотрудниками ЛИТ программного инструментария QSCIT (Quantum Soft Computational Intelligence Toolkit).

В рамках экосистемы ML/DL/HPC [2] на примере решения конкретной задачи по изучению динамики намагниченности в джозефсоновском φ_0 -переходе представлена методика разработки программных модулей на базе JupyterHub, позволяющих не только проводить расчеты, но и визуализировать результаты исследования и сопровождать их необходимыми формулами и пояснениями (рис. 10). Разработана параллельная реализация алгоритма для проведения расчетов при различных значениях параметров модели на основе Python-библиотеки Joblib, а также модули с интеграцией Matlab-кода в Jupyter Notebook, позволяющие эффективно проводить прикладные расчеты для анализа изображений.

Продолжено развитие информационной системы для задач радиационной биологии в рамках совместного проекта ЛИТ и ЛРБ на базе экосистемы ML/DL/HPC: разработан модуль для изучения поведенческих паттернов мелких лабораторных животных, подверженных радиационному воздействию. Модуль позволяет автоматизировать анализ видеоданных, получаемых при

Рис. 9. Управление процессом достижения заданного уровня давления азота разными типами регуляторов в режиме охлаждения (синяя кривая — квантовый регулятор, зеленая — нечеткий регулятор, красная — PID-регулятор)

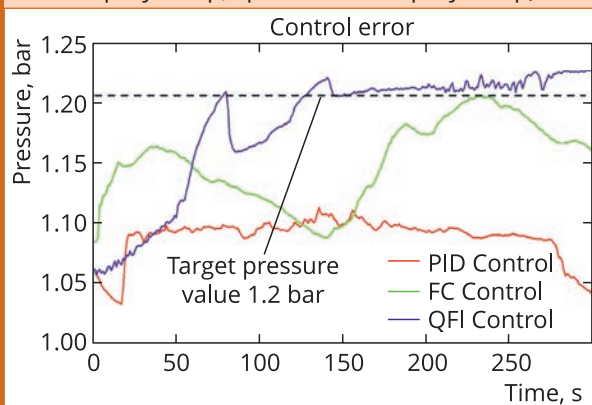
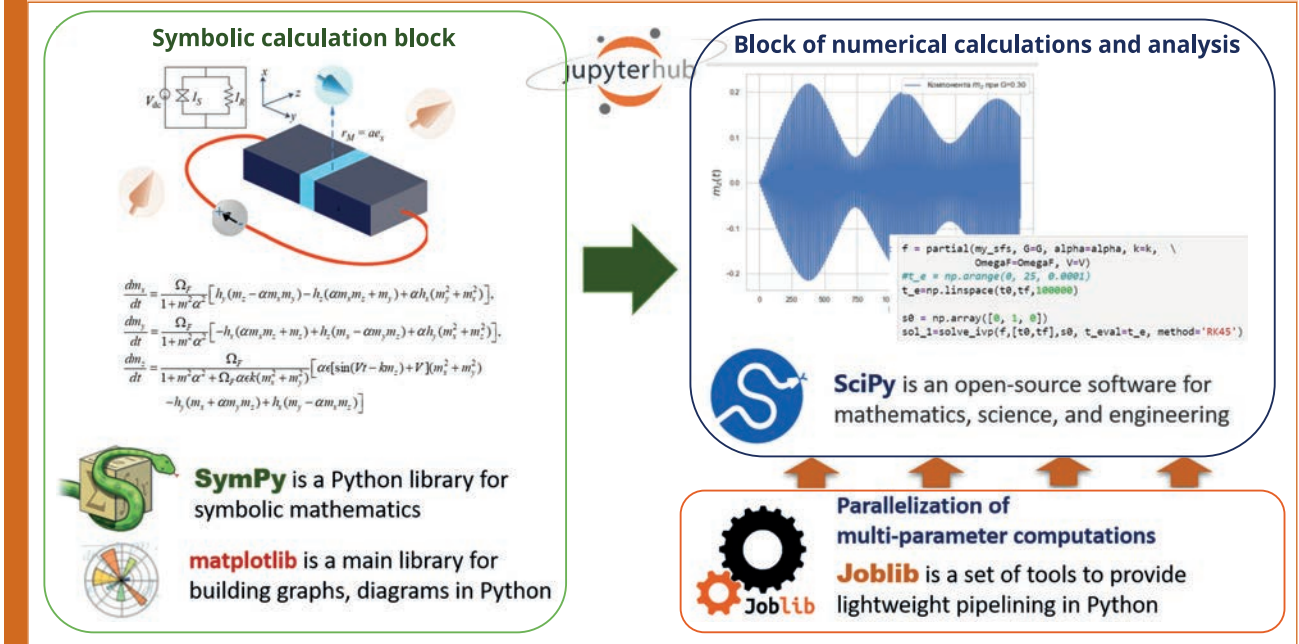


Рис. 10. Схема программных модулей для исследования систем с джоуфсоновскими переходами



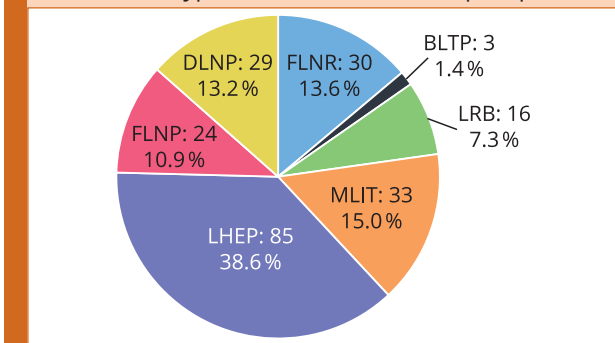
тестировании грызунов в различных тест-системах, одной из которой является «Открытое поле». Установка представляет собой круглую арену с расчерченными секторами и отверстиями. Предложен подход разметки арены на основе определения ключевых точек на базе нейросетевого подхода [25]. Рассмотрено три нейросетевых модели: простая сверточная модель и две модели на базе архитектур VGG16 и Xception, обученные с использованием методики переноса обучения. Рассмотренные нейросетевые архитектуры показали сравнимые результаты, однако лучшую точ-

ность обеспечил подход, основанный на простой сверточной модели. В дальнейшем предполагается расширение набора данных для обучения и расширение набора ключевых точек для повышения точности определения разметки.

Продолжены исследования, проводимые совместно с ЛНФ в рамках международной программы UNECE ICP Vegetation по мониторингу и прогнозированию процессов загрязнения воздуха в странах Европы и Азии. Исследована возможность использования данных дистанционного зондирования Земли совместно с методами машинного обучения для прогнозирования загрязнения воздуха тяжелыми металлами [26]. Средняя точность моделей превысила 89%. Построены модели загрязнения алюминием, железом и сурьмой в Центральном регионе России.

Совместно с УНЦ разработан сервис планирования и учета экскурсий в ОИЯИ — <https://jinrex.jinr.ru>. Основные функции сервиса: информация обо всех текущих, запланированных и завершенных экскурсиях, координация экскурсий, демонстрация загруженности точек посещения, сбор аналитики и демонстрация статистики. На сегодня в системе зарегистрировано более 100 человек, связанных с проведением экскурсий. За год в ОИЯИ было проведено 220 экскурсий (рис. 11).

Рис. 11. Распределение числа проведенных в ОИЯИ экскурсий за 2022 г. по лабораториям



МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

В 2022 г. облако Института ядерной физики Академии наук Узбекистана было запущено в эксплуатацию и интегрировано в JINR DICE. Приобретено и поставлено дополнительное серверное и сетевое оборудование для облачной инфраструктуры Института ядерной физики (Алма-Ата, Казахстан). Идут работы по вводу данного оборудова-

ния в эксплуатацию и расширению мощностей облака данной организации. В настоящее время полностью интегрированы в JINR DICE Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова (Россия), Северо-Осетинский государственный университет (Россия), Институт ядерной физики (Казахстан), Институт физики Националь-

Ташкент, 8 октября. Запуск кластера облачных вычислений, созданного при содействии ОИЯИ в Институте ядерной физики АН Узбекистана



ной академии наук Азербайджана, Институт ядерных исследований и ядерной энергетики (Болгария), Софийский университет им. Св. Климента Охридского, Научно-исследовательский институт ядерных проблем Белорусского государственного университета, Институт ядерной физики АН РУз (Узбекистан), Египетская национальная сеть научно-технической информации Академии научных исследований и технологий (Египет), в процессе интеграции — Грузинский технический университет.

Вычислительный кластер Института математики и цифровой технологии Монгольской академии наук (IMDT MAS) был интегрирован в гетерогенную распределенную среду на базе платформы DIRAC. Это дает возможность использовать свободные ресурсы кластера в вычислениях для мегасайнс-проекта NICA.

В 2022 г. началась реализация совместного проекта ЛРБ, ЛИТ и исследовательских центров Белградского университета «Компьютерная идентификация, характеристика и моделирование гистологических данных» в рамках Соглашения о сотрудничестве между ОИЯИ и Министерством образования и науки Республики Сербии. В апреле 2022 г. состоялось рабочее совещание «Вычислительная биология и физика» (<https://indico-hlit.jinr.ru/event/310/>). Участники обсудили ряд актуальных проблем в области нейрорадиобиологии и радиологии, а также технологические и информационные средства автоматизации соответствующих исследований и обработки данных. Для реализации проекта был развернут портал BIOHLIT-Serbia: <https://it4bio.jinr.ru/>. Для решения вычислительных задач проекта активно используются ресурсы гетерогенной платформы HybriLIT.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА НА УЧЕБНО-ТЕСТОВОМ ПОЛИГОНЕ

В 2022 г. ресурсы платформы HybriLIT активно использовались в образовательных целях. Данное направление связано как с проведением учебных курсов для сотрудников ОИЯИ, так и для проведения практических занятий для студентов университета «Дубна», ТвГУ и др.

В 2022 г. для более чем 800 студентов проведены практические занятия по курсам «Архитектуры вычислительных систем», «Технологии высокопроизводительных вычислений», «Современные методы анализа сложных систем», «Ма-

шинное обучение и интеллектуальный анализ данных», «Языки и технологии анализа данных», «Математический аппарат и инструментарий анализа данных» с задействованием ресурсов учебно-тестового полигона и экосистемы для ML/DL/HPC, позволяющих студентам осваивать самые современные технологии разработки параллельных алгоритмов на новейших вычислительных гибридных архитектурах и инструментарий (библиотеки и фреймворки) для задач машинного и глубокого обучения [27].

Также ресурсы платформы активно использовались во время первой Осенней школы по информационным технологиям ОИЯИ, проходившей с 14 по 19 ноября в ЛИТ.

С использованием ресурсов платформы HybriLIT за 2022 г. подготовлены одна кандидатская диссертация, 8 магистерских и 4 бакалаврские работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Velikhov V. E. et al. // 2022 Intern. Sci. and Techn. Conf. "Modern Network Technologies" (MoNeTec). M., 2022. P. 1–4.
2. Zuev M. I. et al. // PoS (DLCP2022). 2022. V. 429. P. 027.
3. Kashunin I. A., Mitsyn V. V., Strizh T. A. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 19, No. 6. P. 820–825.
4. Akishin P. G., Ladygyn V. P. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 19, No. 6. P. 792–796.
5. Ayriyan A. S. et al. // Soft Matter. 2022. V. 38, No. 18. P. 7441–7451.
6. Zuev M. I., Serdyukova S. I. // Comput. Math. Math. Phys. 2022. V. 62, No. 1. P. 1–9.
7. Lukyanov V. K. et al. // AIP Proc. (in press).
8. Friesen A. V., Goderidze D., Kalinovsky Yu. L. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 19, No. 4. P. 412–421.
9. Buša Jr. J. et al. // Mod. Inform. Technol. & IT-Education. 2022. V. 18, No. 1. P. 176–182.
10. Baranov D. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 19, No. 5. P. 550–553.
11. Rusov D. I. et al. // PoS (DLCP2022). 2022. V. 429. P. 005.
12. Alexandrov E. et al. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2022. V. 19, No. 5. P. 543–546.
13. Palichik V. V., Voitishin N. N. // Phys. Part. Nucl. (in press).
14. Galoyan A., Ribon A., Uzhinsky V. // Eur. Phys. J. C. 2022. V. 82, No. 181.
15. Ivancova O. V. et al. // Quantum Soft Engineering Toolkit. Pt I: Quantum Fast Search Algorithms. Quantum Simulators on Classical Computers. Quantum Control Information Models. M.: Kurs, 2022.
16. Зрелов П. В. и др. // Программные продукты и системы. 2022. Т. 35, № 4. С. 618–630.
17. Chuluunbaatar O. et al. // Comput. Phys. Commun. 2022. V. 278. P. 108397(1–14).
18. Kircher M. et al. // Phys. Rev. Lett. 2022. V. 128. P. 053001(1–6).
19. Chuluunbaatar O. et al. // J. Quant. Spectr. Rad. Trans. 2022. V. 278. 108020(1–9).
20. Adam Gh., Adam S. // AIP Conf. Proc. (in press).
21. Yukalov V. I., Yukalova E. P. // Laser Phys. Lett. 2022. V. 19. 116001.
22. Tsvetkov V. P. et al. // Chaos, Solitons and Fractals. 2022. V. 161. 112301.
23. Khvedelidze A., Torosyan A. // Zap. Nauchn. Sem. POMI. 2022. V. 517. P. 250–267.
24. Butenko A. V. et al. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2023. V. 20, No. 2. P. 183–199.
25. Anikina A. I. et al. // PoS (DLCP2022). 2022. V. 429. P. 017.
26. Uzhinsky A., Vergel K. // Comput. Optics. 2023. V. 47. No. 1. P. 137–151.
27. Сборник отчетов о научно-проектной деятельности выпускников Международной школы по информационным технологиям «Аналитика больших данных». Вып. 3. Дубна: ОИЯИ, 2022.

ЛАБОРАТОРИЯ РАДИАЦИОННОЙ БИОЛОГИИ

В 2022 г. в лаборатории продолжались исследования по темам 04-9-1077-2009/2023 «Исследования биологического действия тяжелых заряженных частиц различных энергий» и

04-9-1112-2013/2022 «Исследование космического вещества на Земле и в ближайшем космосе; исследование биологических и геохимических особенностей ранней Земли».

МОЛЕКУЛЯРНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННАЯ ЦИТОГЕНЕТИКА

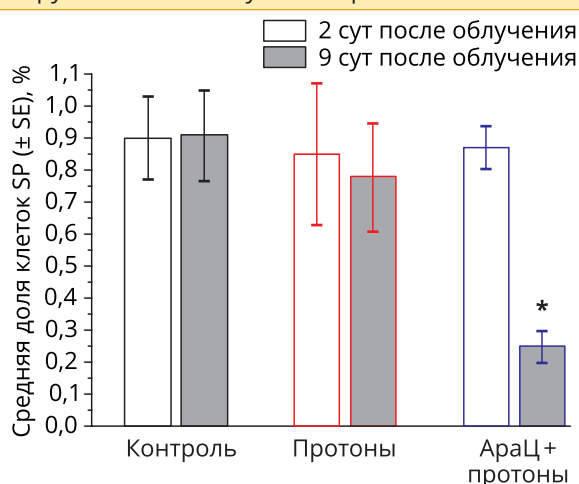
Исследования молекулярных механизмов действия ингибиторов репарации ДНК

Проведена оценка эффективности комбинированного действия 1- β -D-арабинофуранозилцитозина (АраЦ) и протонного излучения в очаговой дозе 10 Гр на рост меланомы линии В16 и ряд процессов, связанных с радиационным ответом опухоли *in vivo*. Определена доля опухолевых стволовых клеток (ОСК, клеток SP) через 2 и 9 сут после облучения протонами и комбинированного воздействия АраЦ и протонов. Через 2 сут после облучения этот показатель не отличался в исследованных группах и соответствовал уровню

необлученного контроля, что свидетельствует об отсутствии более высокой резистентности этой популяции опухолевых клеток к протонному излучению по сравнению с остальными клетками.

Важно заметить, что через 9 сут после облучения протонами доля ОСК по-прежнему сохраняется на контрольном уровне, но при комбинированном воздействии уменьшается в 3,1 раза по сравнению с одиночным действием протонного излучения (рис. 1). В связи с описанным механизмом действия АраЦ можно было предположить, что радиосенсибилизирующий эффект этого соединения будет выражен сильнее в клетках с более эффективной репарацией радиационных повреждений ДНК, т. е. в ОСК. Полученные результаты свидетельствуют в пользу этого предположения [1, 2]. Получен патент на изобретение № 2774032.

Рис. 1. Доля ОСК (клеток SP) в первичном очаге меланомы В16 через 2 и 9 сут после облучения протонами и комбинированного воздействия АраЦ и протонов. * — $p=0,003$ по сравнению с группой после облучения протонами



Продолжено изучение модифицирующего влияния АраЦ и гидроксимочевины (ГМ) на частоту образования двуниевых разрывов (ДР) ДНК в различных типах опухолевых клеток: глиобластомы человека U87 и меланомы мышей В16 при действии протонов и ускоренных ионов азота (^{15}N) [3–6]. Определены зависимости частоты образования ДР ДНК и кинетика их репарации в опухолевых клетках при облучении частицами широкого диапазона линейных передач энергии в присутствии модификаторов (рис. 2). Наибольшее модифицирующее влияние на выход ДР ДНК оказывает комбинация агентов АраЦ+ГМ. Величина фактора изменения дозы в условиях влияния радиомодификаторов составляет ~2. Исследования механизмов радиорезистентности опухолевых клеток и, в том числе, клеток глиобластомы позволяют сделать вывод о том, что их радиорезистентность обусловлена адаптацией к выживанию с частично отрепарированной

Рис. 2. Дозовые зависимости (слева) и кинетика репарации (справа) ДР ДНК в клетках меланомы В16 при облучении протонами в нормальных условиях и под влиянием модифицирующих агентов

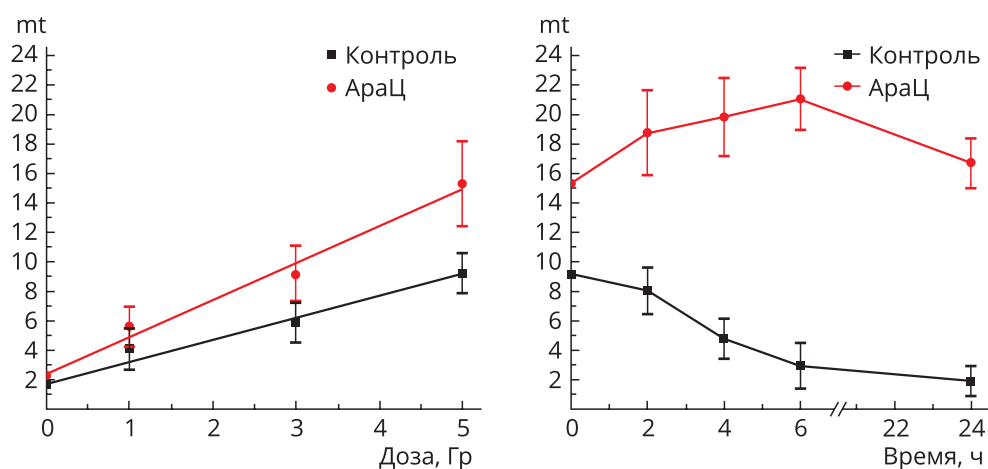


Рис. 3. Кинетика формирования и элиминации γ H2AX/53BP1 фокусов в клетках меланомы В16 после облучения протонами в пике Брэгга в дозе 1,25 Гр в условиях влияния ингибитора АраЦ и без него

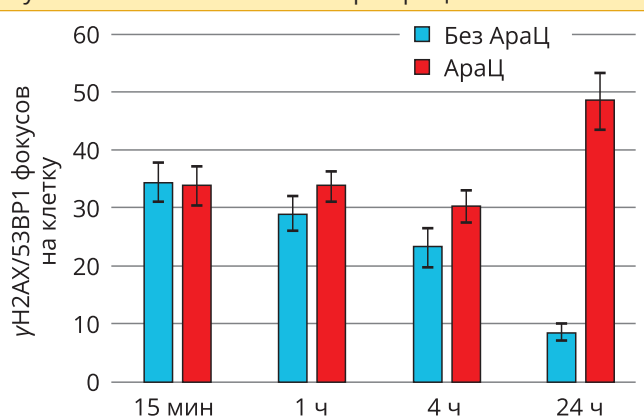
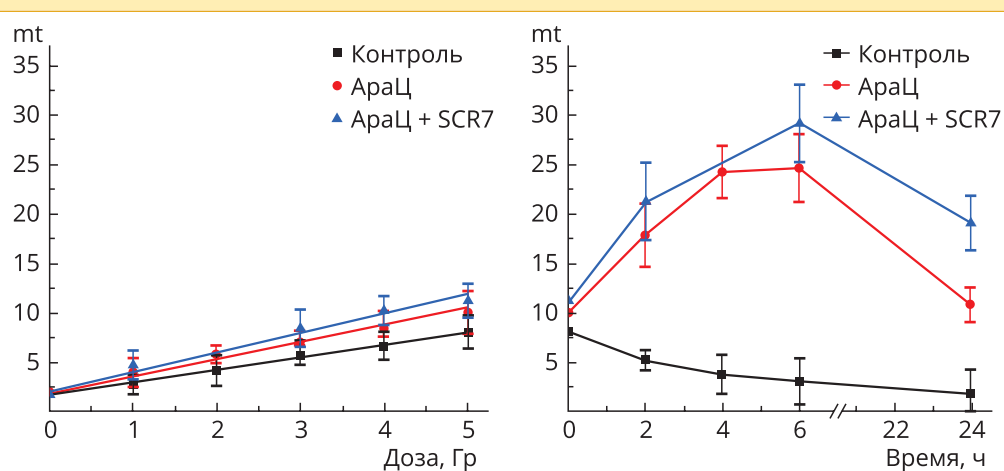


Рис. 4. Индукция и репарация ДР ДНК в клетках меланомы мышей линии В16 при облучении рентгеновскими лучами *in vitro* в обычных условиях и в присутствии АраЦ и SCR7



ДНК. Это может быть результатом выпадения важных функций в ходе репарационного процесса — медленной репарации при сохранении путей, идущих с участием белков Rad51 и DNA-PK, на протяжении клеточного цикла. Замедленная кинетика репарации повреждений в клетках U87 также может отражать это обстоятельство [3].

Изучена кинетика формирования и элиминации γ H2AX/53BP1 фокусов в клетках меланомы мыши B16 при действии протонов в расширенном пике Брэгга в дозе 1,25 Гр в условиях влияния АраЦ. Полученные данные свидетельствуют о повышенном уровне радиационно-индуцированных фокусов в условиях влияния АраЦ. Наиболее значимые различия в уровне фокусов в присутствии АраЦ и без него наблюдаются через 24 ч пострадиационной инкубации (рис. 3) [4].

Исследована индукция и репарация ДР ДНК в клетках меланомы мышей линии B16 при действии рентгеновского излучения в условиях влияния АраЦ и SCR7 — ингибитора лигазы IV, являющейся ключевым ферментом негомологичного воссоединения ДР ДНК. Отмечено увеличение количества ДР ДНК в условиях комбинированного действия АраЦ и SCR7 по сравнению с применением только АраЦ (рис. 4) [5, 6].

Исследования цитогенетических нарушений клеток высших и низших эукариот

Завершен цикл работ по исследованию радиочувствительности нормальных и опухолевых клеток человека к действию фотонного (γ -кванты ^{60}Co) и протонного (150 МэВ и в расширенном

пике Брэгга) излучения. Изучены индукция и репарация разрывов хроматина методом химически индуцированной преждевременной конденсации хроматина (ПКХ) и индукция хромосомных aberrаций классическим метафазным методом в лимфоцитах периферической крови и клетках карциномы молочной железы Cal 51 человека (рис. 5). Aberрации, регистрируемые стандартным метафазным методом, представляют собой конечный итог полностью завершившейся репарации. ПКХ — метод визуализации начального уровня повреждений и кинетики репарации. Оба метода подтвердили более высокую биоло-

Рис. 5. Эффективность репарации ПКХ-разрывов, оцениваемая как соотношение начального выхода разрывов (t_0) к таковому после завершения репарации (t_{12}), при действии фотонного и протонных излучений в лимфоцитах и клетках Cal 51

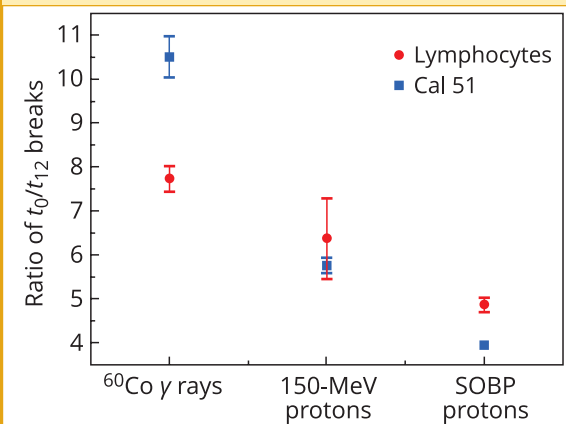
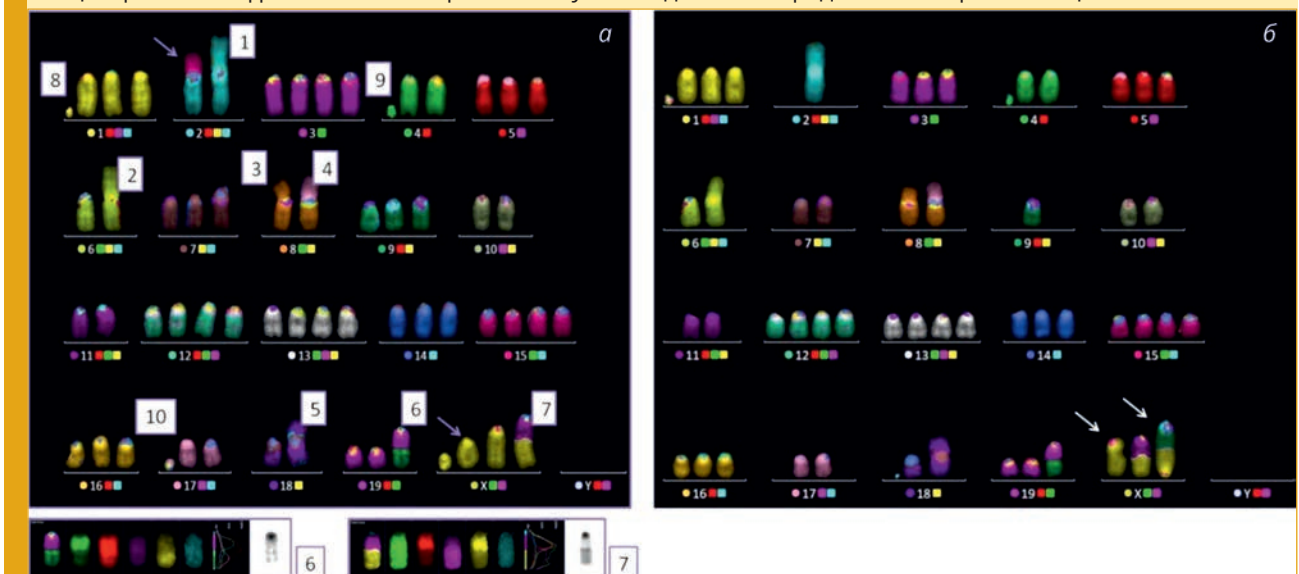


Рис. 6. а) Кариотип 21XY нормальных клеток костного мозга мыши линии C57BL/6. **б)** Типичная кариограмма клеток SIM-A9, содержащая 60 хромосом. Цифрами отмечены маркерные хромосомы: 1, 2, 3, 4, 5 — результат слияния по центромере двух хромосом номер 2, 6, 8, хромосом 8 и 17 и двух хромосом 18 соответственно; 6 и 7 — транслокации 19* \cdot 4-9 и 11* \cdot X (* означает часть хромосомы, несущую центромеру); 8 и 9 — сильно укороченные хромосомы 1 и 4; 10 — отдельная центромера; стрелками показаны дополнительные спонтанные хромосомные aberrации: слияние по центромере хромосом 2 и 15 и укороченная X-хромосома с ацентрическим фрагментом. На врезке внизу более детально представлены транслокации 6 и 7



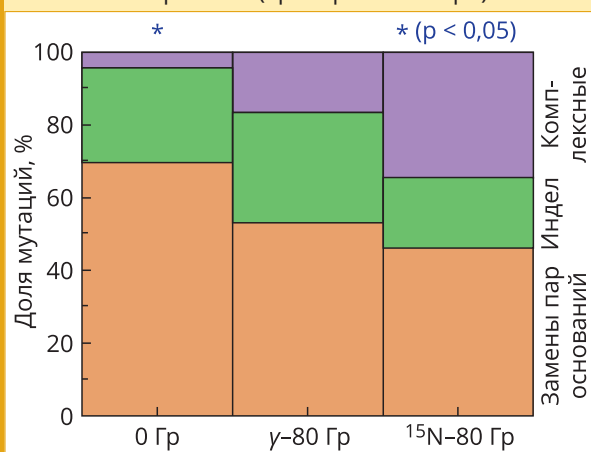
гическую эффективность протонов в опухолевых клетках по сравнению с лимфоцитами.

Проведено исследование характеристик спонтанно-иммortalизованных клеток микроглии мыши линии SIM-A9, полученных из головного мозга новорожденных мышат линии C57BL/6. Впервые показано, что клетки линии SIM-A9 экспрессируют высокий уровень белка TSPO, мар-

керов CD68, CD11b и CD45^{high} на поверхностной мембране клеток, что соответствует фенотипу активированной микроглии. Проведен mFISH анализ кариотипа линии SIM-A9. Установлен относительно стабильный гипотетраплоидный женский мышинный кариотип: число хромосом на метафазу варьировалось от 50 до 61, при этом число копий хромосом варьировалось от 2 до 5, выявлено около 12 постоянных маркерных аномалий хромосом (рис. 6), а также неклональные структурные aberrации хромосом. Выявлена высокая хромосомная нестабильность линии, свойственная всем immortalизованным и опухолевым линиям. Полученные данные позволяют рассматривать линию SIM-A9 в качестве альтернативы первичной микроглии при исследовании механизмов развития нейродегенеративных заболеваний, нейровоспаления и изучения эффективности потенциальных терапевтических препаратов, способных регулировать про- и противовоспалительную активность микроглии [7].

Продолжены исследования закономерностей индукции хромосомных перестроек и протяженных делеций у дрожжей, индуцированных тяжелыми ионами. Проведен анализ спектра мутаций, индуцированных γ -квантами ^{60}Co и ускоренными ионами азота (ЛПЭ 67 кэВ/мкм). Показано, что наиболее эффективно ионизирующая радиация индуцирует замены пар оснований и менее эффективно — небольшие делеции и комплексные мутации (рис. 7).

Рис. 7. Спектры спонтанных и индуцированных γ -квантами ^{60}Co и ускоренными ионами ^{15}N мутаций (замены пар оснований, делеции/инсерции и комплексные мутации). Индукция комплексных мутаций ионами азота статистически значимо возрастает (критерий Фишера)

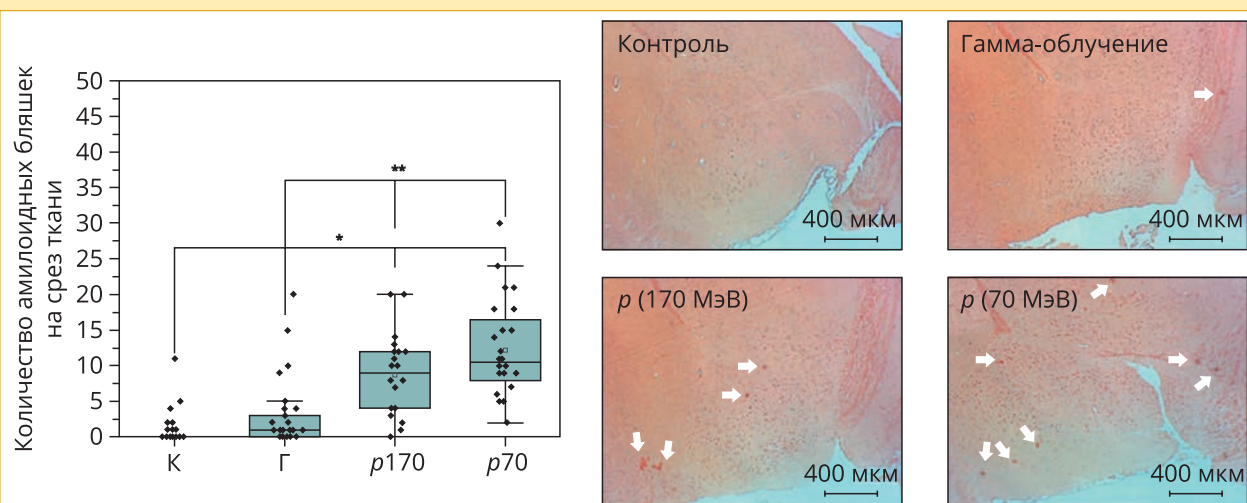


РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИОЛОГИЯ И НЕЙРОХИМИЯ

Проведено исследование морфологических изменений в головном мозге взрослых самок крыс после облучения γ -квантами ^{60}Co и протонами различных энергий в дозе 1 Гр. Патомор-

фологический анализ выявил ранний амилоидоз (рис. 8), аутолиз эндимального слоя, нейродегенеративные изменения в различных структурах головного мозга и развитие гипертрофии нейро-

Рис. 8. Амилоидные бляшки в переднем мозге крыс через 30 сут после облучения (отмечены белыми стрелками на срезах). К — контрольная группа; Г — гамма-облучение; p170, p70 — протоны с энергией 170 и 70 МэВ





нов. Показано, что наблюдавшиеся деструктивные изменения возрастают с ростом ЛПЭ [8].

Исследовано действие протонов с энергией 170 МэВ и γ -квантов ^{60}Co на органы зрения мышей в дозах от 1 до 4 Гр. Показано, что облучение вызывает в сетчатке и ретинальном пигментном эпителии окисление ретиноидов, которое регистрировалось по изменению спектров их флуоресценции. Явление, обнаруженное с использованием неинвазивного диагностического метода регистрации аутофлуоресценции глазного дна, может позволить оценить уровень радиационного воздействия как на ткани глаза, так и на весь организм [9].

Проанализирован биологический эффект длительного фракционированного γ -облучения низкой суммарной дозы радиации на самках мышей ICR (CD-1). Фракционированное облучение

животных γ -квантами ^{60}Co проводили в течение 33 недель в суммарной дозе 1,65 Гр. Установлено сокращение средней продолжительности жизни мышей-самок ICR более чем на 150 сут по сравнению с контрольными животными [10].

Проведено аналитическое исследование по подбору новых нейропротекторных средств, эффективных при радиационном повреждении ЦНС [11]. Используемые в настоящее время препараты нацелены на биохимические процессы клеточного апоптоза, радиационной токсичности, нейровоспаление, когнитивно-поведенческие расстройства или другие, возникающие в результате радиационного поражения. В качестве перспективных для исследований препаратов определены: миноциклин, финголимод, рамиприл, мемантин или мелатонин.

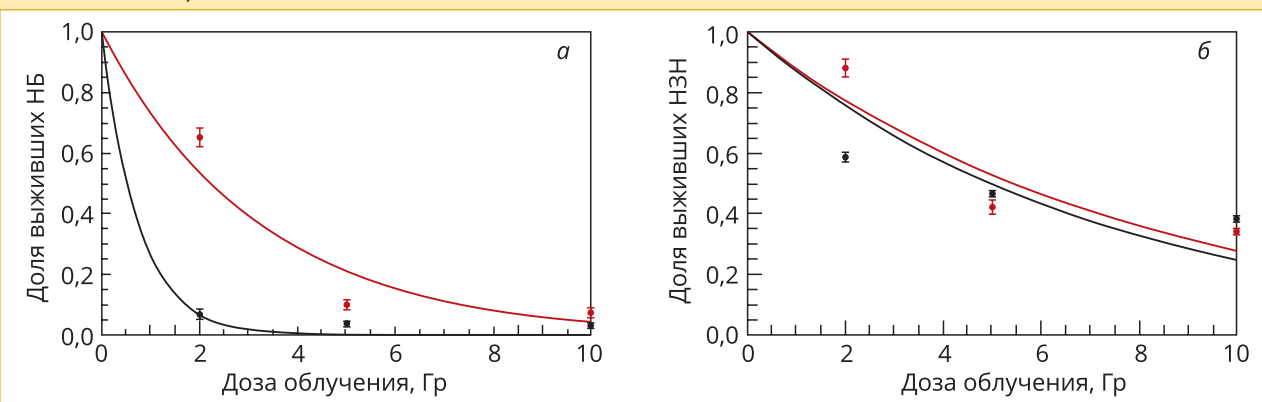
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ

Разработана математическая модель радиационно-индуцированного нарушения нейрогенеза у взрослых мышей C57BL/6J [12]. Модель воспроизводит экспериментальные данные возрастного изменения численности нервных стволовых клеток, амплифицирующих нейрональных предшественников, нейробластов, незрелых нейронов, а также (впервые) зрелых нейронов, астроцитов и олигодендроцитов. Учет гибели клеток-предшественников и незрелых нейронов позволил оценить дефицит новообразованных

нейронов, астроцитов и олигодендроцитов после облучения рентгеновскими лучами (рис. 9).

Предложено математическое описание основных путей репарации одностранных разрывов (ОР) ДНК, повреждений оснований (ПО), двустранных разрывов (ДР) ДНК в клетках млекопитающих и человека [13]. Модельный подход отражает ключевые молекулярные механизмы восстановления ДНК путем репарации одностранных разрывов ДНК, эксцизионной репарации оснований, негомологичного воссоединения концов. В ходе

Рис. 9. Сравнение доли выживших нейробластов (НБ) (а) и незрелых нейронов (НЗН) (б) на 21-е сутки (красная линия) и 60-е сутки (черная линия) жизни мыши после острого рентгеновского облучения. Расчетные данные — линии, экспериментальные — точки: 21-е сутки (Rola R. et al. 2004), 60-е сутки (Mizumatsu S. et al. 2003)



работы рассчитана временная динамика формирования и репарации ключевых типов поврежденных ДНК (ПО, ОР, ДР) в клетках человека при действии ускоренных тяжелых ионов с различными физическими характеристиками.

Предложен модельный подход для анализа свойств нейронных сетей гиппокампа с различными типами NMDA-рецепторов: GluN1/GluN2A, GluN1/GluN2B, GluN1/GluN2A/GluN2B. Проведено молекулярно-динамическое моделирование активации ионного канала рецепторов NMDA, модифицированного действием аллостерических модуляторов. Изучение электрофизиологической активности нейронов с измененной структурой NMDA-рецепторов проводилось в моделях нейронных сетей CA1 и CA3 областей гиппокампа.

Выявлены незначительные изменения проводимости ионного канала и локального потенциала в зависимости от субъединиц, входящих в состав рецептора, и типа модулятора [14].

Проведен анализ структур фермента пермеазы, определены позиции аминокислотных остатков, мутации в которых инактивируют транспортер аргинина. Показано, что большая часть исследуемых аминокислот локализована в консервативных участках белка [15].

В издательстве Springer вышла книга «Non-linear Dynamics of Nanobiophysics» («Нелинейная динамика нанобиофизики»), в которую вошли обзоры сотрудников ЛРБ по солитонным возбуждениям и квантовым корреляционным эффектам в нелинейных моделях ДНК [16, 17].

АСТРОБИОЛОГИЯ

Продолжены работы по исследованию механизмов формирования пребиотических соединений при действии тяжелых заряженных частиц в присутствии земных горных пород в роли катализаторов. Данные исследования формируют модель событий, связанных с химическими и биологическими процессами, происходивших на ранней Земле.

Продолжено микропалеонтологическое исследование углистых хондритов Мурчисон, Агуас

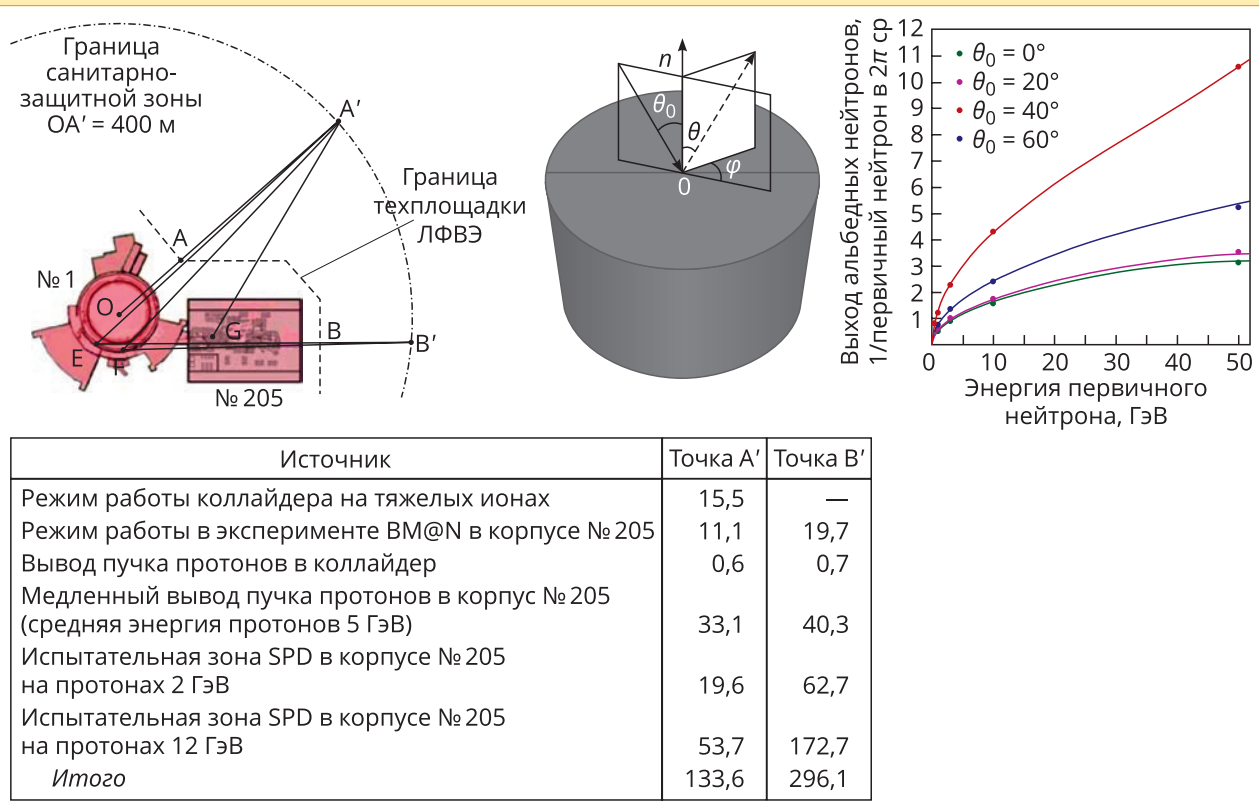
Заркас, Саттерз-Милл, Тагиш-Лейк, Татуин и др. при помощи сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 с рентгеновским микроанализатором. В ходе изучения в образцах метеоритов обнаружены остатки прокариотических и эукариотических микроорганизмов в форме фрамбоидов. Обнаружены и описаны новые виды микрофоссилий из метеорита Оргей. Данные микрофоссилии отнесены к прازیнофитам, акритархам и формам, схожим со спорами грибов.

ФИЗИКА ЗАЩИТЫ И РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В течение 2022 г. проводились совместные работы с ЛЯП по обеспечению экспериментов на ускорителе фазотрон, в том числе в рамках сотрудничества с Институтом космических исследований по инструментам для ядерной планетологии.

Для ускорительного комплекса NICA определены границы санитарно-защитных зон при работе коллайдера в режиме столкновения тяжелых ионов и для дополнительного режима взаимодействия протонов высокой энергии [18]. Выполнены расчеты по дифференциальному и полному

Рис. 10. Слева: расположение корпусов 1 и 205 ЛФВЭ с критическими точками А' и В' на границе санитарно-защитной зоны. В таблице указаны вклады различных источников излучения в годовые дозы нейтронов и гамма-лучей (в мкЗв) в точках А' и В' при работе комплекса NICA. Справа: схематическое представление геометрии расчета альbedo нейтронов и выход полного альbedo нейтронов в зависимости от угла и энергии



выходу альbedo нейтронов релятивистских энергий, падающих на бетон (рис. 10). На основании расчетных данных предложена аппроксимация энергетической зависимости полного альbedo нейтронов при энергии до 50 ГэВ [19].

В 2022 г. исполнилось 25 лет сотрудничеству Института космических исследований РАН и Объединенного института ядерных исследований в области ядерной планетологии [20]. Со стороны ОИЯИ участие в работах принимают сотрудники ЛНФ и ЛРБ. За это время был разработан ряд космических приборов с использованием методов гамма- и нейтронной спектроскопии. Проведены детальные наземные калибровки на различных источниках излучения и моделях планетарного грунта [21, 22]. Большая часть этой научной ап-

паратуры уже успешно работает на борту орбитальных и посадочных космических аппаратов, предоставляя уникальные научные данные о наличии и распределении воды (льда) на поверхности Луны и Марса и об элементном составе грунта.

Издана монография Г. Н. Тимошенко «Радиационная защита высокоэнергетических ускорителей» [23], в которой рассмотрены основные вопросы, касающиеся специфики формирования полей ионизирующих излучений на высокоэнергетических ускорителях протонов и тяжелых ионов, активации оборудования, хладагентов, воздуха и защиты, разработки средств радиационного контроля.

НОВЫЕ УСТАНОВКИ

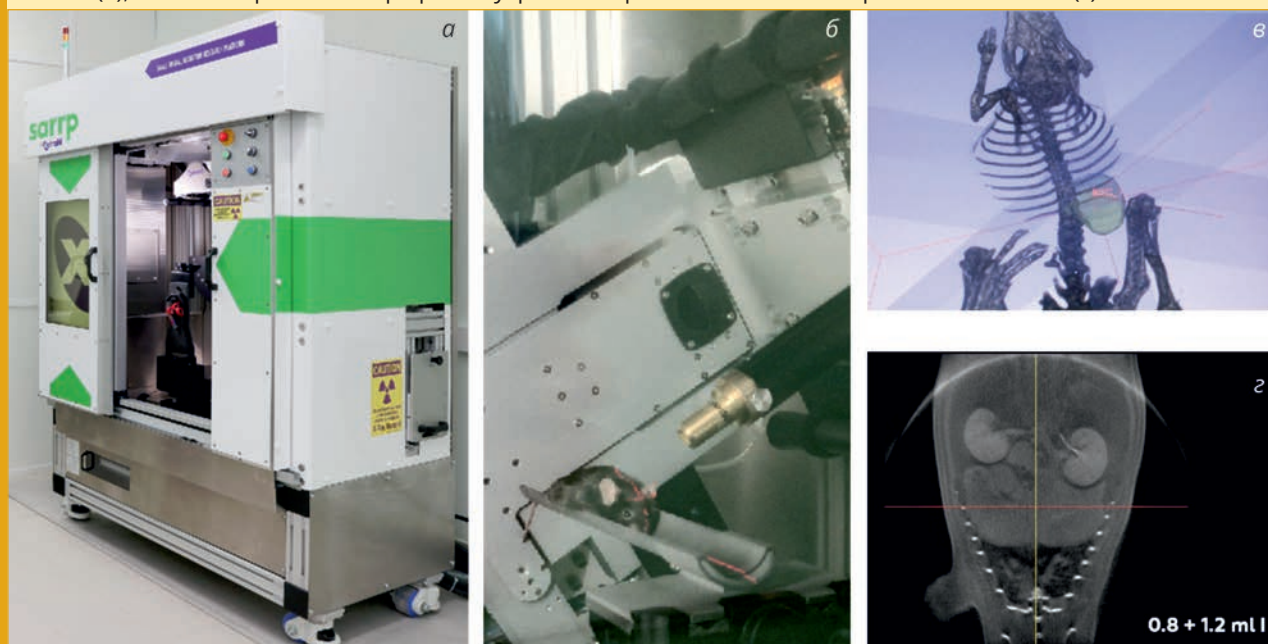
В 2022 г. введены в эксплуатацию два источника рентгеновского излучения для задач радиационной биологии. Компактный облучатель CellRad производства Precision X-ray Inc. (США) предназначен для работы с клеточными культурами. Многофункциональный исследовательский ком-

плекс SARRP (Small Animal Radiation Research Platform) производства Xstrahl Ltd (Великобритания) предназначен для радиобиологических исследований на мелких лабораторных животных с возможностью рентгеновской томографии и высококонформного облучения.

24 марта. Торжественный ввод в эксплуатацию новой рентгеновской установки SARRP для радиобиологических исследований



Установка SARRP. Общий вид (а), облучение мыши в ходе эксперимента (б), система планирования облучения (в), компьютерная томография внутренних органов мыши с контрастным агентом (г)



КОНФЕРЕНЦИИ И ОБРАЗОВАНИЕ

В течение 2022 г. сотрудники лаборатории приняли участие в 30 научных конференциях, проходивших в смешанном формате.

25–27 октября в ОИЯИ состоялась юбилейная конференция «Актуальные проблемы радиационной биологии. К 60-летию создания Научного совета РАН по радиобиологии». К началу конференции опубликован сборник тезисов докладов (Дубна: ОИЯИ, 2022. 91 с.). Было заслушано

18 пленарных докладов и рассмотрено 12 стендовых сообщений, представленных молодыми учеными.

Продолжался учебный процесс на кафедре «Биофизика» университета «Дубна». В настоящее время на кафедре обучается 34 студента и 7 аспирантов. 6 студентов успешно закончили обучение и получили диплом магистра по направлению «Физика».

Дубна–Москва, 25–27 октября. Юбилейная конференция «Актуальные проблемы радиационной биологии. К 60-летию создания Научного совета РАН по радиобиологии»



Москва, 6 декабря. На совместном заседании бюро секции профилактической медицины Отделения медицинских наук и Радиобиологического общества РАН состоялась торжественная церемония награждения почетными грамотами РАН. На фото: академики И. Б. Ушаков, В. В. Зверев, член-корр. РАН Е. А. Красавин



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ повышения эффективности действия ионизирующих излучений на меланому / Замулаева И. А., Борейко А. В., Бугай А. Н., Каприн А. Д., Корякин С. Н., Красавин Е. А., Матчук О. Н., Мосина В. А., Селиванова Е. И., Чаусов В. Н. Патент 2774032 РФ. Оpubл. 14.06.2022. Бюл. № 17.
2. *Zamulaeva I. A., Matchuk O. N., Selivanova E. I., Yakimova A. O., Mosina V. A., Koryakin S. N., Kaprin A. D., Boreyko A. V., Bugay A. N., Chausov V. N., Krasavin E. A.* Radiobiological Effects the Combined Action of 1- β -D-arabinofuranosylcytosine and Proton Radiation on B16 Melanoma *in vivo* // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2023. V. 20, No. 1.
3. *Борейко А. В., Заднепрянец М. Г., Чаусов В. Н., Храмов Т. С., Кожина Р. А., Кузьмина Е. А., Тиунчик С. И., Красавин Е. А.* Комбинированное действие ингибиторов синтеза ДНК и ускоренных протонов на клетки злокачественных опухолей // *Письма в ЭЧАЯ.* 2023.
4. *Zadnepryanets M., Boreyko A., Jezkova L., Falk M., Ryabchenko A., Hramco T., Krupnova M., Kulikova E., Pavlova A., Shamina D., Smirnova E., Krasavin E.* Clustered DNA Damage Formation in Human Cells after Exposure to Low- and Intermediate-Energy Accelerated Heavy Ions // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2022. V. 19, No. 4. P. 440–450.
5. *Kozhina R. A., Boreyko A. V., Chausov V. N., Erhan S. E., Ilyina E. V., Koryakin S. N., Kuzmina E. A., Matchuk O. N., Selivanova E. I., Tiounchik S. I.* The Effect of DNA Synthesis Inhibitor on DNA Damage Induction in Melanoma Cells after Exposure to Protons // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2022. V. 19, No. 5. P. 590–593.
6. *Erhan S.-E., Boreyko A. V., Kozhina R. A., Kuzmina E. A., Ilyina E. V., Tiounchik S. I., Chausov V. N.* Induction of DNA Damage in Neuronal Cells of Mice under the Influence of Repair Inhibitors under the Action of Gamma-Rays *in vivo* // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2022. V. 19, No. 5. P. 586–589.
7. *Шапошникова Д. А., Москалева Е. Ю., Сёмочкина Ю. П., Высоцкая О. В., Комова О. В., Насонова Е. А., Кошлань И. В.* Характеристика клеток микроглии линии SIM-A9 — новые данные // *Цитология.* 2023. Т. 65 (в печати).
8. *Severyukhin Yu. S., Lalkovičová M., Utina D. M., Lyakhova K. N., Kolesnikova I. A., Ermolaeva M. E., Molokanov A. G., Gaevsky V. N., Komarov D. A., Krasavin E. A.* Comparative Analysis of Behavioral Reactions and Morphological Changes in the Rat Brain After Exposure to Ionizing Radiation with Different Physical Characteristics // *Cell. Mol. Neurobiol.* 2022; <https://doi.org/10.1007/s10571-021-01187-z>.
9. *Yakovleva M. A., Feldman T. B., Lyakhova K. N., Utina D. M., Kolesnikova I. A., Vinogradova Y. V., Molokanov A. G., Ostrovsky M. A.* Ionized Radiation-Mediated Retinoid Oxidation in the Retina and Retinal Pigment Epithelium of the Murine Eye // *Radiat. Res.* 2022. V. 197. P. 270–279.
10. *Бычкова Т. М., Никитенко О. В., Утина Д. М., Иванов А. А.* Влияние длительного фракционированного у-облучения на продолжительность жизни мышей // *Авиакосм. и экол. медицина.* 2022. Т. 56, № 4. С. 77–82.
11. *Lalkovičová M.* Neuroprotective Agents Effective Against Radiation Damage of Central Nervous System // *Neural. Regen. Res.* 2022. V. 17, No. 9. P. 1885–1892.
12. *Глебов А. А., Колесникова Е. А., Бугай А. Н.* Математическая модель радиационно-индуцированного нарушения нейрогенеза // *Письма в ЭЧАЯ.* 2022. Т. 19, № 4. С. 338–354.
13. *Васильева М. А., Бугай А. Н., Душанов Э. Б.* Моделирование репарации поврежденных ДНК, индуцированных тяжелыми ионами в клетках млекопитающих // *Актуальные вопр. биол. физики и химии.* 2022. Т. 7, № 4. С. 557–564.
14. *Аксенова С. В., Батова А. С., Бугай А. Н., Душанов Э. Б.* Влияние модуляторов на активацию рецептора NMDA // *Актуальные вопр. биол. физики и химии.* 2022. Т. 7, № 3. С. 418–422.
15. *Колтовая Н. А., Душанов Э. Б.* Мутационный анализ структуры дрожжевой аргинин пермеазы CAN1 // *Актуальные вопр. биол. физики и химии.* 2022. Т. 7, № 4. С. 565–569.
16. *Bugay A.* Soliton Excitations in a Twist-Opening Nonlinear DNA // *Nonlinear Dynamics of Nanobiophysics* / Eds. S. Zdravković, D. Chevizovich. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2022. Ch. 7. P. 141–172.
17. *Chizhov A. V.* Quantum Correlation Effects in Biopolymer Structures // *Nonlinear Dynamics of Nanobiophysics* / Eds. S. Zdravković, D. Chevizovich. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2022. Ch. 9. P. 233–262.
18. *Butenko A. V., Gordeev I. S., Kovalenko A. D., Paraipan M., Syresin E. M., Timoshenko G. N.* Prediction of Radiation Environment around NICA Complex // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2022. V. 19, No. 2. P. 123–128.
19. *Гордеев И. С., Тимошенко Г. Н.* Альbedo нейтронов релятивистских энергий // *Письма в ЭЧАЯ.* 2022. Т. 19, № 4. С. 402–407.
20. *Тимошенко Г. Н., Литвак М. Л., Митрофанов И. Г., Швецов В. Н.* Сотрудничеству ИКИ–ОИЯИ 25 лет // *Письма в ЭЧАЯ.* 2022. Т. 19, № 5. С. 465–483.
21. *Mitrofanov I. G., Litvak M. L., Sanin A. B., Anikin A. A., Mokrousov M. I., Golovin D. V., Nikiforov S. Y., Timoshenko G. N., Shvetsov V. N.* Laboratory Demonstration of Space gamma-Ray Spectroscopy Experiment with Tags of Galactic Cosmic Rays for Testing Different Types of Martian Regolith // *Nucl. Instr. Meth. A.* 2022. V. 1028. P. 166364.
22. *Malakhov A. V., Mitrofanov I. G., Litvak M. L., Sanin A. B., Golovin D. V., Djachkova M. V., Nikiforov S. Yu., Anikin A. A., Lisov D. I., Lukyanov N. V., Mokrousov M. I., Shvetsov V. N., Timoshenko G. N.* Physical Calibrations of the FRIEND Instrument Installed Onboard TGO Martian Orbiter // *Cosmic Res.* 2022. V. 60, No. 1. P. 23–37.
23. *Тимошенко Г. Н.* Радиационная защита высокоэнергетических ускорителей. Дубна: ОИЯИ, 2022. 111 с.

УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС

В 2022 г. учебный процесс студентов на базовых кафедрах МГУ, МИФИ, МФТИ, государственного университета «Дубна», СПбГУ и К(П)ФУ был организован в очном режиме.

В 2022/2023 учебном году для студентов базовых кафедр МФТИ, МГУ и государственного университета «Дубна» подготовлены 52 лекционных образовательных курса, программы представлены на сайте УНЦ (uc.jinr.ru).

Стажировки и практики в ОИЯИ прошли 342 студента из ВГУ, ГУ «Дубна», МГУ, НИЯУ МИФИ, МФТИ, ОмГТУ, СГТУ, СОГУ, ТПУ, УрФУ, ЮРГПУ и других университетов государств-членов ОИЯИ.

Для подготовки диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук без освоения программ подготовки в аспирантуре к ОИЯИ прикреплены 6 человек.

УНЦ организует процесс сдачи кандидатских экзаменов по специальности для сотрудников ОИЯИ, прикрепленных к базовой кафедре МФТИ «Фундаментальные и прикладные проблемы физики микромира». С 2018 г. кандидатские экзамены на кафедре сдали 35 человек.

Программа INTEREST

Онлайн-программа INTEREST (INTERNational REMote Student Training at JINR) для студентов и аспирантов научно-технических специальностей была запущена в 2020 г. На текущий момент в ней приняло участие 260 человек. В 2022 г. были проведены две волны, в которых приняло участие 80 студентов и аспирантов из Азербайджана, Белоруссии, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Германии, Греции, Египта, Индии, Ирана, Кубы,

2 марта. Участники студенческой программы УНЦ ОИЯИ на экскурсии в Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина



Кувейта, Мексики, Нигерии, Польши, Румынии, России, Сербии, США, Турции, ЮАР. Программа включает в себя выполнение научных проектов, лекции и экскурсии в онлайн-формате.

Программа START

В 2022 г. летняя студенческая программа ОИЯИ продолжила работу под новым названием START (STudent Advanced Research Training at JINR). Программа очной стажировки в Институте будет проходить дважды в год. К участию в START допускаются студенты со всего мира, изучающие естественно-научные направления, инженерное дело и IT, закончившие 3-й курс бакалавриата, учащиеся магистратуры, а также аспиранты 1-го года обучения. В сессии с июля по ноябрь 2022 г. участвовали 47 представителей Азербайджана, Армении, Белоруссии, Болгарии, Египта, Индии, России, Сербии, Узбекистана. Руководителями научных проектов стали 57 сотрудников ОИЯИ.

Программа предоставляет сотрудникам ОИЯИ возможность отобрать учащихся вузов, пригласить их в Институт для прохождения очной стажировки на срок 6–8 недель. В ходе стажировки студенты знакомятся с предметной областью, оборудованием, посещают с экскурсиями лаборатории Института и выполняют исследовательские проекты.

Международная студенческая практика

В марте 2022 г., после длительного перерыва в связи с эпидемиологической обстановкой в мире, была проведена международная студенческая практика по направлениям исследований ОИЯИ. На практику приехали 24 студента магистратуры и аспирантуры, а также молодые исследователи из Арабской Республики Египет, вступившей в ряды полноправных членов ОИЯИ

в ноябре 2021 г. В программе трехнедельной практики — работа над учебно-исследовательскими проектами, лекции о научной деятельности лабораторий и экскурсии на базовые установки ОИЯИ.

Летняя школа ЮАР–ОИЯИ

3-я Летняя школа ЮАР–ОИЯИ по физике, организованная Южно-Африканским институтом ядерных технологий и наук (SAINTS) в iThemba LABS, прошла с 21 января по 4 февраля в онлайн-формате. Тематика школы включала ускорительные технологии и исследования на ускорителях, теоретическую и вычислительную физику. В школе участвовали 18 студентов из различных университетов ЮАР.

В течение двух недель студенты и аспиранты направлений STEMI (Science, Technology, Engineering, Mathematics, IT — наука, технологии, инженерия, математика, IT) слушали лекции по разнообразным направлениям физических исследований, а также выполняли ряд задач по обработке и анализу экспериментальных данных.

ОИЯИ на 2-м Конгрессе молодых ученых

1–3 декабря делегация ОИЯИ участвовала во 2-м Конгрессе молодых ученых в парке науки и искусства «Сириус» в Сочи.

На дискуссии «Перспективы и вызовы международной интеграции инфраструктурных и кадровых потенциалов» ОИЯИ был представлен в качестве одного из самых успешных примеров такой интеграции. Как пример кооперации между учеными и интеграции инфраструктурных, кадровых потенциалов была названа программа УНЦ INTEREST. Важность работы с научной молодежью в целях развития научного диалога стала одной из ключевых тем дискуссии.

Дубна, 1 марта. Организаторы и участники 1-го этапа международной студенческой практики по направлениям исследований ОИЯИ для студентов из Египта



Сочи, 1–3 декабря. Делегация ОИЯИ на 2-м Конгрессе молодых ученых в парке науки и искусства «Сириус» (фото: РИА Новости)



2 декабря в работе дискуссионной сессии «Развитие научно-популярного туризма: первые результаты и перспективы» принимал участие и. о. директора УНЦ ОИЯИ А. Ю. Верхеев, рассказавший об опыте Института в популяризации науки.

Конгресс молодых ученых в Сочи — ключевое мероприятие 2022 г. в рамках десятилетия науки и технологий в России. Его посетили представители порядка 40 стран, в том числе из России, Белоруссии, Казахстана, Китая, Индии, Египта, Мьянмы, Сирии, Узбекистана. Для участников конгресса была подготовлена насыщенная и разнообразная программа: круглые столы, экспертные сессии, панельные дискуссии, новые неформальные и оригинальные форматы мероприятий.

Работа с информационными центрами ОИЯИ

Активное взаимодействие налажено у УНЦ с инфоцентрами ОИЯИ на базе Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга (КамГУ, Петропавловск-Камчатский), Дальневосточного федерального университета (ДВФУ, Владивосток), Северо-Осетинского государственного университета им. К. Л. Хетагурова (СОГУ, Владикавказ). Начата работа и проведены онлайн-включения из ОИЯИ для Северного (Арктического) федерального университета им. М. В. Ломоносова (САФУ, Архангельск), Ереванского государственного университета и Национальной научной лаборатории им. А. Алиханяна (Армения). Совместно с инфоцентрами ОИЯИ в 2022 г. было проведено 35 мероприятий (онлайн-лекции и экскурсии) с охватом более 4000 человек.

9 ноября в рамках стажировки JEMS-21 состоялся круглый стол «Взаимодействие ОИЯИ с уни-

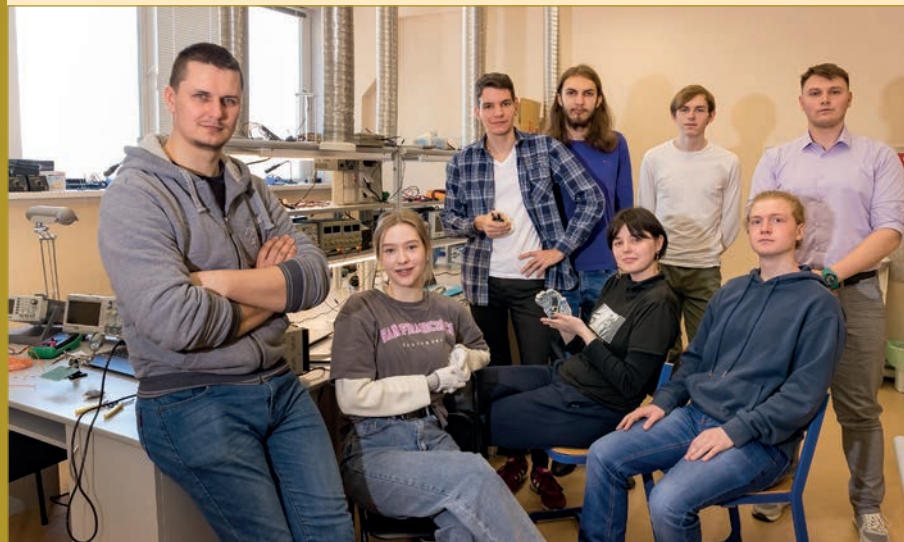
верситетами. Информационные центры ОИЯИ, образовательные программы УНЦ». Руководители инфоцентров ОИЯИ в СОГУ, ДВФУ, КамГУ и САФУ поделились опытом работы инфоцентров ОИЯИ в своих вузах, рассказали о достигнутых результатах, новых задачах и инструментах, предлагаемых ОИЯИ для их решения. Среди форматов взаимодействия вузов с ОИЯИ руководители инфоцентров и представители университетов, участвовавшие в круглом столе, отметили онлайн-лекции сотрудников Института и экскурсии на базовые установки ОИЯИ, студенческие практики, обмен визитами, образовательный портал ОИЯИ edu.jinr.ru. Представители инфоцентров отметили, что, помимо студенческой аудитории, важным направлением деятельности ИЦ является профориентационная работа со школьниками, повышение квалификации учителей. Участники стажировки также познакомились с инженерным практикумом УНЦ ОИЯИ.

Мероприятия

Сотрудники УНЦ совместно с представителями лабораторий Института в 2022 г. участвовали в организации выставок, лекций, экскурсий, мастер-классов и физических демонстраций на различных мероприятиях. Среди них:

- Всероссийский фестиваль науки «Наука 0+» в Москве на площадках ЦВК «Экспоцентр» и МГУ (7–9 октября), в Архангельске на базе САФУ (25–29 октября) и во Владивостоке на базе ДВФУ (6–7 декабря);
- фестиваль науки, технологий и искусства «Geek Picnic» в парке искусств «Музеон» в Москве, 30 июля;
- мастерская физики «105-й элемент», Летняя школа, июль;
- день базовых кафедр ОИЯИ в университете «Дубна», 31 января – 4 февраля;

Дубна, апрель. Студенты-физики 2-го и 3-го курса Института наукоемких технологий и передовых материалов Дальневосточного федерального университета (Владивосток) на практике в ОИЯИ



- MegaScience фестиваль, приуроченный к 115-летию академика В. И. Векслера (онлайн в VK, МИФИ), 4 марта;
- карьерный форум «Старт карьеры: весна 2022 г.» (онлайн, НИЯУ МИФИ), 12–16 апреля;
- «Карьерный форсаж» (очно, МФТИ), 22 апреля;
- презентация базовой кафедры МФТИ (онлайн, МФТИ), 28 июня;
- день карьеры МФТИ (очно, МФТИ), 28 октября.

РАБОТА СО ШКОЛЬНИКАМИ И УЧИТЕЛЯМИ

Школы для учителей в ОИЯИ

С 26 июня по 2 июля в ОИЯИ проводилась Научная школа для учителей физики. В ее работе принимали участие преподаватели из Архангельска, Балашихи, Брянска, с. Джраовит (Армения), Дубны, Ижевска, Иркутска, Ишимбая, Калининграда, Королева, Лыткарино, Масиса (Армения), Москвы, Нового Уренгоя, Ноябрьска, Петропавловска-Камчатского, Саратова, Северодвинска, Тулы. В программе школы были научно-популярные лекции ученых и инженеров о последних достижениях в области ядерной физики, физики частиц, ускорительной техники, а также экскурсии на базовые установки ОИЯИ.

С 3 по 7 октября в ОИЯИ проходила Научная школа для учителей из Приморского края. 10 преподавателей физики, математики, информатики и астрономии из Владивостока, Находки, Уссурийска, Большого Камня и Советской Гавани принимали в ней участие. В программу школы входили ознакомительные экскурсии в ЛРБ, ЛЯР, ЛФВЭ, ЛИТ, на выставку «Базовые установки ОИЯИ», в Универсальную библиотеку ОИЯИ им. Д. И. Блохинцева, государственный университет «Дубна». Много времени было уделено знакомству с образовательным курсом «Инженеры будущего», практическим занятиям в «Виртуальной лаборатории» и «Hands-on» практикуме, разработанным сотрудниками УНЦ. В университете «Дубна» педагоги познакомились с направлени-

ями подготовки студентов и посетили лаборатории, в которых проходят занятия преподавателей с будущими физиками и инженерами. В завершение школы для учителей были проведены лекции о возможностях, которые УНЦ и ОИЯИ предлагают школьникам и студентам.

Научная школа для учащихся из Египта

12–16 сентября проходила научная школа для слушателей детского университета при Академии научных исследований и технологий Египта. Школа познакомила юных гостей с ОИЯИ, его исследованиями и современным состоянием физики. В мероприятии приняли участие 12 школьников, которые были отобраны на конкурсной основе.

В программу школы входили экскурсии в ЛЯР, ЛФВЭ и ЛРБ, а также экскурсия в г. Москву. Участники посетили Физико-математический лицей им. В. Г. Кадышевского с целью выполнения лабораторных работ и знакомства со своими сверстниками.

Сотрудничество с Образовательным центром «Сириус»

В 2022 г. продолжено сотрудничество с Образовательным центром «Сириус». В рамках подписанного соглашения стороны объединили усилия в организации проектной исследовательской



деятельности для одаренных школьников, победителей региональных и всероссийских олимпиад по естественно-научным предметам.

В январе сотрудники ОИЯИ провели пятый цикл проекта «Уроки настоящего» — «Уроки настоящей ядерной физики», в котором участвовало более 600 школьников 7–11-х классов, объединенных в 90 научно-технологических студий из образовательных организаций 41 региона России.

В качестве задания школьникам необходимо было собрать модель детектора заряженных ча-

стиц — камеры Вильсона и с ее помощью пронаблюдать и зафиксировать треки частиц в камере, а также снять фото- или видеорепортаж о проделанной работе. Вводную лекцию по физике частиц и видеоинструктаж по сборке камеры провели ведущий научный сотрудник ЛФВЭ С. П. Мерц и старший инженер ЛФВЭ Д. И. Климанский.

В ноябре 2022 г. ОИЯИ во второй раз стал организатором одного из циклов проекта «Уроки настоящего» — «Уроки настоящих экологических исследований». Проект был представлен



начальником сектора нейтронно-активационного анализа и прикладных исследований ЛНФ И. В. Зиньковской. Участники проекта ознакомились с существующими способами мониторинга содержания тяжелых металлов в объектах окружающей среды, а также предложили собственные методы мониторинга и снижения нагрузки на окружающую среду в своих регионах. В ноябрьской программе участвовали школьники, объединенные в 73 студии из 37 регионов России.

Лучшие решения студий были отмечены призами с символикой ОИЯИ, а также сертификатами и фирменными сувенирами от проекта «Уроков настоящего».

ОИЯИ на форуме «Наноград»

ОИЯИ выступил партнером программы «Школьная лига» в июньской смене 2022 г., целью которой является ранняя профориентация школьников, развитие навыков исследовательской и инженерно-конструкторской деятельности, популяризация науки и технологий среди молодежи. В рамках этой программы с 2010 г. организуется форум «Наноград», основная задача которого — развитие проектной и исследовательской культуры школьников в условиях высокотехнологического общества. В 2022 г. форум проводился 16–26 июня в Санкт-Петербурге.

Представители УНЦ и ЛФВЭ выступили в качестве экспертов на стендовой защите проектов участников, в рамках которой была поставлена задача сделать презентацию проекта о решении возможной научно-технологической проблемы и разработать коммуникационную стратегию ее продвижения на рынке определенной индустрии. Участники программы познакомились с фундаментальными и прикладными исследованиями лабораторий ОИЯИ, совершили онлайн-экскурсию на ускорительный комплекс NICA. Аналогичное мероприятие с лекцией и онлайн-экскурсией было проведено в декабре.

ОИЯИ для «Virtual Science Camp»

С целью популяризации науки и знакомства школьников с достижениями и проектами ОИЯИ УНЦ принимает участие в международном лектории «Virtual Science Camp». В рамках этого проекта сотрудники Института в феврале провели лекционную сессию. Н. Анфимов (ЛЯП) выступил с лекцией «Что такое ОИЯИ?» перед школьниками из Бразилии, Германии, Ирландии, Испании, Португалии, Румынии, Сербии, Словакии, Турции, Франции.

Дни физики

1–3 июня УНЦ ОИЯИ в сотрудничестве с преподавателями межшкольного физико-математического факультета, Физико-математического лицея им. В. Г. Кадышевского и государственного университета «Дубна» провели традиционный фестиваль науки «Дни физики» в Дубне. Более

150 школьников из Дубны, Москвы, Запрудни принимали участие как в командных научно-популярных мероприятиях, так и в мастер-классах по математике, физике, химии и биологии.

Впервые в рамках фестиваля была проведена Открытая экспериментальная олимпиада по физике для учащихся 7-х и 8-х классов. Победителями и призерами олимпиады стали учащиеся лицея им. В. Г. Кадышевского и московской школы № 1514. Преподаватели государственного университета «Дубна» провели увлекательную командную игру на логику, сообразительность и нестандартное видение — квиз «PRO химия». Волонтеры и гости фестиваля посетили выставку «Базовые установки ОИЯИ» и познакомились с комплексом NICA.

Турнир по робототехнике CyberDubna-2022

С 24 по 26 февраля в онлайн-режиме проходил 11-й турнир по робототехнике CyberDubna-2022 Открытой Верхневолжской образовательной кибернетической сети для команд учащихся 7–11-х классов, а также студентов 1–2-х курсов колледжей и студентов 1-го курса вузов Московской обл. и других регионов России.

Хакатон «Дубна-2022»

Международная компьютерная школа (МКШ) и ОИЯИ совместно с АНОО «Физмат лицей им. В. Г. Кадышевского» с 5 по 7 апреля проводили отборочный этап пятого технического хакатона «Дубна-2022» для учащихся средних школ. В соревнованиях по конструированию и программированию роботов приняли участие 17 команд Севера Подмосковья и Тверской обл. Лучшие результаты показали школьники из Кимр, Талдома и Дубны. 24 апреля они боролись за главный приз в финале соревнований. В отборочном этапе приняли участие 45 ребят 5–10-х классов, преимущественно учащиеся 9-х классов.

МКШ-2022

3–18 июля в доме отдыха «Ратмино» проходила 34-я Международная компьютерная школа (МКШ). Участниками МКШ-2022 стали победители региональных конкурсных программ, организованных ОИЯИ (технического учебно-соревновательного хакатона по основам инженерной деятельности и ежегодного открытого регионального турнира по робототехнике CyberDubna), а также школьники — победители заочного конкурса. 41 слушатель — учащиеся 5–11-х классов из Москвы и Московской обл. (Долгопрудный, Дубна, Лобня, Талдом), городов Кимры, Саратов, Ставрополь и Усть-Лабинск — выполняли проекты по физике, биологии, математике, информационной безопасности, прикладной информатике и программированию, основам инженерного дела.



Межшкольный физико-математический факультатив

С 9 сентября проходили занятия для школьников в межшкольном физико-математическом факультативе по физике, экспериментальной физике, подготовке к ЕГЭ по физике, математике и олимпиадной математике. Также приступили к занятиям учащиеся 1-го и 2-го курсов Яндекс. Лицея.

Победителями и призерами регионального этапа Всероссийской олимпиады школьников в Московской обл. в 2021/2022 учебном году и Олимпиады им. Дж. К. Максвелла стали учащиеся 7-х, 9-х и 11-х классов лицея № 6, школы № 9 и лицея им. В. Г. Кадышевского.

14 июня в Черноголовке проходила командная олимпиада «Математическая карусель-2022», в которой принимали участие 74 школьника 5–8-х классов из Черноголовки, Дубны и Фрязино. В лигах 5–6-х и 7–8-х классов команды учащихся физико-математического факультатива Дубны завоевали вторые места.

23 сентября состоялась XXXII Открытая олимпиада по физике и математике среди учащихся 6–8-х классов.

Лекторий

В рамках постоянно действующего лектория УНЦ в 2022 г. были организованы 60 лекций сотрудников ОИЯИ для 3500 учащихся. Для 160 младших школьников во время летних каникул в четырех оздоровительных лагерях города были организованы демонстрации физических опытов.

Визиты

В рамках профориентационной работы со школьниками, студентами и учителями УНЦ организует ознакомительные экскурсии на территорию Института. Еженедельно группы учащихся и преподавателей посещают лаборатории и базовые установки ОИЯИ, общаются с сотрудниками, узнают о последних научных достижениях. Всего в 2022 г. организовано 85 экскурсий. На площадках ОИЯИ побывали 1400 человек в составе 66 групп. Благодаря использованию онлайн-формата и трансляции экскурсий, охват зрителей, посмотревших 19 экскурсий в лаборатории ОИЯИ, составил почти 19 000 человек.

В августе сотрудниками УНЦ была организована экскурсия для учителей физики из Нижнего Новгорода. Двухдневная программа включала в себя визит в пять лабораторий и знакомство с основными проектами и исследовательскими установками.

22 августа в ОИЯИ побывали вьетнамские школьники и студенты, обучающиеся в образовательных учреждениях Москвы.

Стажировка школьников из ЯНАО в ОИЯИ

20 школьников 8–11-х классов из Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) — победителей муниципального тура Всероссийской олимпиады школьников — проходили в декабре недельную стажировку в ОИЯИ.

Ребята посетили интерактивную выставку «Базовые установки ОИЯИ», прослушали лекцию в Музее истории науки и техники ОИЯИ, совершили экскурсию по городу. Программа пребывания школьников включала лекции, экскурсии и

практикумы в ЛЯП, ЛФВЭ, ЛНФ, ЛИТ, УНЦ. Также школьники посетили государственный университет «Дубна» и Московский областной физико-математический лицей им. В. Г. Кадышевского для выполнения физического практикума.

Школьники Камчатского края в ОИЯИ

В последние дни ноября 12 школьников из Камчатского края, победители комплексной краевой олимпиады «Витус Беринг-2022» по естественно-научным предметам, посетили ОИЯИ. За три дня, проведенных в Дубне, они побывали в лабораториях ОИЯИ, познакомились с реализуемыми там научными проектами, поучаствовали в мастер-классе по программированию, прослушали лекции сотрудников Института. Приезд

школьников состоялся в рамках работы открытого в мае 2022 г. Информационного центра ОИЯИ на базе КамГУ им. Витуса Беринга.

Комплексная краевая олимпиада «Витус Беринг-2022» по естественно-научным предметам (физике, химии, биологии, информатике, математике) организована КамГУ совместно с Камчатским институтом развития образования, МФТИ и ОИЯИ. По результатам двух туров среди учеников 8–10-х классов было отобрано 12 абсолютных победителей. Поездка победителей олимпиады в Дубну состоялась при поддержке ОИЯИ, Управления образования администрации Петропавловск-Камчатского городского округа и Информационного центра ОИЯИ при КамГУ им. Витуса Беринга.

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ И ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ

В 2022/23 учебном году 114 сотрудников ОИЯИ занимаются в группах английского языка, 23 иностранных специалиста — в группах русского языка.

Для 162 сотрудников ОИЯИ рабочих специальностей организованы курсы по подготовке персонала, обслуживающего объекты, подведомственные Ростехнадзору.

35 студентов колледжа университета «Дубна» и Дмитровского техникума прошли практику в ОИЯИ.

Инженерные практикумы УНЦ

Инженерные практикумы УНЦ по вакуумной технике и автоматизации, электронике и СВЧ-технике в 2022 г. прошли более 40 человек из России (ГУ «Дубна», ДВФУ, МИФИ), Египта, Польши и Узбекистана. Совместно с ОРБ и ЛЯР ведется работа над новым практикумом — по дозиметрии. Проработана новая конфигурация учебного участка ускорителя Линак-200, начаты монтажные работы и первые тесты с пучком. Помимо учебного участка научно-инженерная группа УНЦ активно участвует в развитии самого ускорителя (управление и диагностика, ввод в эксплуатацию, подготовка к измерениям эммитанса).

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОИЯИ

В 2022 г. было разработано более 10 новых выставочных стендов для участия в научно-популярных мероприятиях, проведено 2 фотосессии с последующей разработкой новогоднего календаря для сотрудников ОИЯИ и его распространением среди целевой аудитории. Обновлены печатные информационные материалы (брошюры и буклеты) об ОИЯИ, о проектах-флагманах ОИЯИ (на русском и английском языках), о программах УНЦ для студентов и аспирантов, о программах УНЦ для школьников и учителей. Обновлены баннеры с информацией об ОИЯИ и карьерных перспективах для студентов. Разработан дизайн для производства сувенирной продукции с символикой УНЦ ОИЯИ.

Производство и демонстрация видеоматериалов

За прошедший год сотрудниками ОИЯИ (при участии УНЦ) подготовлено 53 выпуска видеоконтента об ОИЯИ и городском округе Дубна для трансляции на экране у Дома ученых ОИЯИ.

Для актуализации и наполнения библиотеки видеоэкскурсий по лабораториям Института проведены съемки в ЛЯР, ЛИТ и ЛЯП. Для удобства выбора конкретной экскурсии создана первая серия трейлеров уже имеющихся видеоэкскурсий. Обновлены презентационные видеоматериалы об ОИЯИ на русском и английском языках. Всего за 2022 г. выпущено 54 видеоролика.



МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ
И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Основные итоги 2022 г. по международному научно-техническому сотрудничеству Объединенного института ядерных исследований отражают следующие данные:

— проведены совместные исследования с научными центрами стран-участниц, а также международными и национальными организациями других стран по 42 темам первого приоритета;

— для решения вопросов сотрудничества и участия в научных совещаниях и конференциях Объединенный институт командировал 1194 специалиста;

— для совместных работ и консультаций, а также для участия в совещаниях, конференциях, школах в ОИЯИ были приняты 380 специалистов;

— организованы и проведены 24 международные научные конференции и школы, 19 рабочих и 13 организационных совещаний.

Международное сотрудничество ОИЯИ оформлено соответствующими соглашениями и до-

говорами. Его развитие предусматривает проведение совместных экспериментов на базовых установках физических центров, получение научных результатов, подготовку общих публикаций участников сотрудничества, поставку оборудования и технологий для заинтересованных сторон и многое другое.

13 января Институт посетил полномочный представитель Правительства Республики Узбекистан в ОИЯИ, президент Академии наук Республики Узбекистан Б. Юлдашев. Во встрече с директором ОИЯИ академиком Г. В. Трубниковым приняли участие научный руководитель Института академик В. А. Матвеев, вице-директор ОИЯИ Л. Костов и руководитель Департамента международного сотрудничества ОИЯИ Д. В. Каманин.

На сегодня Объединенный институт сотрудничает с 9 узбекскими исследовательскими институтами и университетами по 14 темам Проблемно-тематического плана ОИЯИ. Национальные

Дубна, 13 января. Визит в ОИЯИ полномочного представителя Правительства Республики Узбекистан в ОИЯИ, президента Академии наук Республики Узбекистан Б. Юлдашева





научные центры Узбекистана участвуют вместе с ОИЯИ в масштабных международных проектах.

Одна из основных тем обсуждения — возможности углубления сотрудничества в области подготовки кадров: за все время сотрудничества для Республики Узбекистан в ОИЯИ были подготовлены более 300 квалифицированных специалистов, включая более 20 докторов наук и 100 кандидатов наук.

18 января прошел визит в ОИЯИ президента Национальной академии наук (НАН) Республики Армения А. Сагяна. На встрече с руководством Института гость озвучил инициативу о проработке дорожной карты развития сотрудничества институтов НАН с ОИЯИ, а также заинтересованность в проведении практик для молодых ученых из Армении в ОИЯИ и создании сетевой модели обучения студентов.

Ярким примером на фоне многолетнего эффективного сотрудничества Армении и ОИЯИ является создание прецизионных лазерных инклинометров для обсерватории в Гарни (Армения). Ведутся активные работы ученых Армении с ЛИТ ОИЯИ. В числе перспективных областей для развития научного сотрудничества академик А. Сагян назвал селективные мембраны для противовирусных применений, которые разрабатываются в ЛЯР.

Стороны обсудили возможности проведения совместных научных исследований в области наук о жизни и биоинформатики, а также углубления кооперации в области образования, в частности, по направлению организации практик в ОИЯИ для научной молодежи Армении. По ито-

гам встречи будет разработана комплексная дорожная карта развития сотрудничества.

Академик А. Сагян ознакомился с мегасайенс-проектом NICA и посетил фабрику сверхпроводящих магнитов в ЛФВЭ, фабрику сверхтяжелых элементов в ЛЯР, где провел встречу с академиком Ю. Ц. Оганесяном, а также ЛРБ.

14 февраля стартовала 20-я по счету Международная стажировка «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров». Ее участниками стали руководители и специалисты исследовательских и образовательных организаций из Армении, Словакии и Сербии, а также впервые — представитель Северной Македонии.

Руководитель Департамента международного сотрудничества Д. В. Каманин открыл программу стажировки JEMS ознакомительной лекцией об ОИЯИ. Для участников была организована экскурсия на фабрику сверхтяжелых элементов в ЛЯР, ускорительный комплекс NICA и фабрику сверхпроводящих магнитов в ЛФВЭ.

В первый день стажировки участники встретились с вице-директором ОИЯИ Л. Костовым, главным научным секретарем С. Н. Неделько, руководителями департаментов и лабораторий ОИЯИ. Участники поделились своими ожиданиями от предстоящей недели в Дубне и первыми впечатлениями от посещения Института.

Программа JEMS-20 состояла из тематических блоков: «Физика тяжелых ионов и ускорительные технологии», «Исследования с нейтронами и наномир», «Теория, информация, образование», «Науки о жизни на Земле и в космосе» и «Нейтрино». Участники прослушали лекции по направ-

лениям актуальных научных исследований от ведущих специалистов ОИЯИ, а также получили представление о международной, образовательной деятельности, организации социальной инфраструктуры ОИЯИ. 18 февраля стажировку завершил традиционный круглый стол с участием представителей дирекции ОИЯИ.

17 февраля в онлайн-формате под председательством научного руководителя Института академика В. А. Матвеева состоялось очередное заседание НТС ОИЯИ, ключевой темой которого стало первое публичное представление концепции Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг.

Директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников начал свое выступление с обзора предварительных итогов текущей семилетки 2017–2023 гг. Говоря о концепции новой семилетки, докладчик представил дальнейший поэтапный ход ее рассмотрения, в том числе на заседаниях руководящих органов ОИЯИ. Формирование окончательной версии Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. с учетом всех полученных замечаний запланировано на сентябрь 2023 г., а в ноябре 2023 г. состоится ее рассмотрение как в терминах научной программы, так и в бюджетных формулировках.

В концепции новой семилетки предусмотрено развитие шести базовых исследовательских направлений деятельности Объединенного института, среди которых релятивистская физика тяжелых ионов и спиновая физика, ядерная физика низких энергий, конденсированное состояние вещества и нейтронная физика, нейтринная физика и астрофизика частиц, информационные технологии и высокопроизводительный компьютеринг, науки о жизни и прикладные исследования. Докладчик отметил необходимость привлечения талантливых ученых и инженеров в ОИЯИ, а также подчеркнул важность оценки и выбора в течение следующей семилетки новых крупномасштабных проектов для их последующей реализации. Г. В. Трубников обозначил планы, задачи и дальнейший ход работ по проекту NICA, развитию нейтринного телескопа Baikal-GVD, суперкомпьютера «Говорун», реактора ИБР-2, установки ИРЕН и циклотрона У-400М, а также по созданию нового нейтронного источника «Нептун».

Отвечая на прозвучавшие в ходе оживленной дискуссии комментарии по вопросу приоритизации внутренних и внешних экспериментов по физике релятивистских столкновений тяжелых ионов, физике частиц и физике нейтрино, докладчик подчеркнул, что акцент должен быть сделан прежде всего на развитии исследовательской инфраструктуры и реализации современных привлекательных проектов в Дубне.

18 февраля в формате видеоконференции состоялось 32-е заседание совместного комитета по сотрудничеству IN2P3–ОИЯИ. Был рассмотрен прогресс в реализации научных проектов, пер-

спективы сотрудничества, которое в 2022 г. отметит полувек юбилей, а также ряд запланированных совместных мероприятий.

Директор ОИЯИ Г. В. Трубников и директор IN2P3 Р. Пэн проинформировали участников заседания о последних результатах и дальнейших планах организаций. Стороны детально обсудили финансовую поддержку перекрестного участия в проектах, а также возможности по расширению сфер кооперации, в частности, в области квантовых вычислений, радиобиологии, наук о жизни и инновационных исследований. Кроме того, было предложено проработать совместную программу поддержки молодых талантов.

В ознаменование юбилея сотрудничества и для дальнейшего обсуждения развития кооперации была поддержана идея активно использовать площадки больших конференций, проводимых сторонами: конференции в мае, посвященной 65-летию ЛЯР, в Дубне, 10-го симпозиума по экзотическим ядрам EXON в Петергофе в начале июля и др.

24–25 февраля для участия в работе 131-й сессии Ученого совета ОИЯИ в качестве специального гостя Институт посетила президент Мексиканского физического общества д-р А. М. Сетто Крамис. Она ознакомилась с научной инфраструктурой Института, побывав в ЛФВЭ, ЛЯР, ЛНФ и ЛРБ.

25 февраля на встрече в дирекции ОИЯИ обсуждались приоритетные сферы научного сотрудничества Мексики с Объединенным институтом и возможность участия мексиканских ученых в реализации нового Семилетнего плана развития Института. Стороны обсудили перспективы кооперации в области теоретической физики, наук о жизни и прикладных исследований. Было отмечено, что в 2019 г. был подписан меморандум, в рамках которого мексиканские ученые присоединились к реализации проекта NICA.

Стороны договорились о проведении в ближайшем будущем встречи для обсуждения и конкретизации направлений и планов совместных работ, а также о назначении координаторов по сотрудничеству с мексиканской стороны.

24 марта в ЛРБ ОИЯИ состоялся торжественный ввод в эксплуатацию облучательной рентгеновской установки SARRP (Small Animal Radiation Research Platform) производства фирмы Xstrahl (Великобритания), предназначенной для радиобиологических исследований на мелких лабораторных животных.

Директор ЛРБ А. Н. Бугай, выступая на мероприятии с участием представителей дирекции Института и сотрудников лаборатории, отметил, что всего в мире действует сто таких установок, эксплуатируемых ведущими исследовательскими и онкологическими центрами, главным образом в США и в Китае. Однако на территории России и Восточной Европы система SARRP является единственной и станет первой установкой тако-

го масштаба и уровня в ЛРБ ОИЯИ, что позволит Институту внести вклад в развитие медицинской радиологии.

SARRP представляет собой многофункциональное приборное обеспечение для полного моделирования цикла лучевой терапии с помощью рентгеновских лучей, которые используются в большинстве клиник мира при лечении онкологии. Новая установка позволит проводить не только облучение, но и подготовку к нему, планирование терапии с разметкой дозы, делать 3D-компьютерную томографию, анализировать ее по срезам. Прибор дает возможность с высокой точностью создавать радиационное поле требуемой формы и облучать только нужную область тела животного, а также в реальном времени анализировать происходящие процессы и моделировать облучение, регулируя интенсивность, напряжение и коллимацию рентгеновского луча.

Ввод в эксплуатацию системы SARRP позволит ученым ЛРБ и стран-участниц ОИЯИ проводить уникальные исследования в области фундаментальной радиобиологии, нейрорадиобиологии и разработки новых методов лучевой терапии на высоком техническом уровне.

14–16 апреля делегация ОИЯИ во главе с директором академиком Г. В. Трубниковым находилась в Республике Армения по приглашению Национальной академии наук РА. Основной целью визита стало участие в расширенном заседании Президиума НАН РА по вопросам сотрудничества

научных центров Республики Армения с ОИЯИ. Программа пребывания представителей Института в Армении включала также ряд рабочих встреч, посещение Национальной научной лаборатории им. А. Алиханяна и открытие Информационного центра ОИЯИ в Ереванском государственном университете.

На заседании Президиума НАН Армении президент академии А. Сагян представил своим коллегам из научно-образовательных организаций страны ключевые вехи научного сотрудничества ОИЯИ и Армении, отметив, что необходимо проработать механизмы кооперации в сфере подготовки кадров, что станет дополнительным стимулом для дальнейшего развития научно-исследовательских проектов. На заседании также шла речь о совместном проекте в области изучения геодинамических процессов в Армении с использованием разработанных в ОИЯИ прецизионных лазерных инклинометров и создании сети таких установок в стране. Совместным биологическим исследованиям по мембранной тематике в программе заседания был посвящен отдельный семинар.

По случаю дня рождения научного руководителя ЛЯР ОИЯИ академика Ю. Ц. Оганесяна на заседании Президиума НАН Армении прозвучали теплые поздравления от коллег из научных и образовательных центров Армении. В знак признания вклада известного ученого в мировую науку Ю. Ц. Оганесян был награжден почетным орденом Российско-армянского университета.

Ереван (Республика Армения), 14–16 апреля. Расширенное заседание Президиума НАН РА по вопросам сотрудничества научных центров республики с ОИЯИ (фото: пресс-служба Национальной академии наук Республики Армения)



В тот же день, 14 апреля, состоялись рабочие встречи делегации ОИЯИ с председателем Комитета по науке Республики Армении С. Айоцяном и президентом НАН Армении А. Сагяном. Директор ЛИТ ОИЯИ В. В. Кореньков провел встречу с руководством Института проблем информатики и автоматизации НАН РА. Советник директора ОИЯИ М. Г. Иткис, руководитель Департамента международного сотрудничества Д. В. Каманин и старший научный сотрудник ЛЯП ОИЯИ Г. Торосян встретились с представителями МЧС Армении, Института механики НАН РА, Института геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА, а также других учреждений.

15 апреля было подписано трехстороннее соглашение об открытии Информационного центра ОИЯИ на базе Ереванского государственного университета и Национальной научной лаборатории им. А. Алиханяна. Формат информационных центров ОИЯИ, которые уже работают в Петропавловске-Камчатском, Владивостоке, Архангельске, Софии, Владикавказе, Каире, предполагает проведение практикумов, онлайн-экскурсий в лаборатории Института, лекции сотрудников, а также призван способствовать академической мобильности молодежи. Вместе с этим инфоцентры служат повышению информированности об ОИЯИ в регионах.

В торжественной обстановке научному руководителю ЛЯР ОИЯИ академику Ю. Ц. Оганесяну было присвоено звание почетного профессора Ереванского государственного университета.

15 апреля состоялась встреча директора ОИЯИ Г. В. Трубникова и научного руководителя ЛЯР Ю. Ц. Оганесяна с премьер-министром Армении Н. Пашиняном. Гости рассказали премьер-министру о проведенных в ходе визита в Армению встречах делегации ОИЯИ, намеченных направлениях дальнейшего развития сотрудничества и его новых форматах, в том числе по привлечению молодых армянских ученых к новым программам Объединенного института, а также об открытии Инфоцентра ОИЯИ в Ереванском государственном университете. Н. Пашинян, в свою очередь, отметил, что Правительство Армении готово поддерживать дальнейшее развитие научного сотрудничества по совместным темам Проблемно-тематического плана ОИЯИ, а также поздравил Ю. Ц. Оганесяна с днем рождения, пожелав ему крепкого здоровья.

20 апреля в ДМС состоялось очередное заседание НТС ОИЯИ, на котором был представлен обзор событий, связанных с деятельностью Института, со времени предыдущего заседания, а также сообщения руководителей медицинских учреждений Дубны — МСЧ-9 и городской больницы.

Перед тем как озвучить состояние дел, директор ОИЯИ Г. В. Трубников поздравил с 80-летием научного руководителя ЛРБ члена-корреспондента РАН Е. А. Красавина — известного специа-

листа в области фундаментальной, космической и медицинской радиобиологии, пожелав ему крепкого здоровья и новых плодотворных идей.

Директор Института проинформировал об итогах заседания Ученого совета, представленной на нем программе развития ОИЯИ на 2024–2030 гг., новой концепции Проблемно-тематического плана, работе над Положением о грантах и программах полномочных представителей. Докладчик отметил, что ПКК утвердили темы и проекты действующего Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. до конца 2023 г., что обеспечило экспертное сопровождение научной программы Института в полном объеме.

Г. В. Трубников доложил о внеочередном заседании КПП, проходившем 17 и 21 марта, и принятом на нем Заявлении о сохранении единства Института, его научной миссии и международного партнерства в мирной обстановке. Продолжается планомерное выполнение программы исследований, а также активное взаимодействие с полномочными представителями правительств государств-членов ОИЯИ. Говоря о достижениях лабораторий Института в первом квартале 2022 г., докладчик отметил успешный продолжительный сеанс на ускорителях комплекса NICA, установку двух новых кластеров нейтринного телескопа в ходе очередной байкальской экспедиции, слаженную работу ЛИТ по обеспечению бесперебойной работы ИТ-ресурсов Института, ввод в эксплуатацию новой рентгеновской установки SARRP для ЛРБ. В числе важных итогов — плановая модернизация реактора ИБР-2, ускорителя ДЦ-140, подготовка экспериментов на ускорителе ДЦ-280 по изучению свойств 112-го и 114-го элементов, работа по созданию медицинского ускорителя.

Директор привел статистику: бюджет Института наполнен на 84 %, зарплата (окладная часть) в 2022 г. будет повышена на 10 %, а рабочим производственных подразделений — на 20 %. В числе важных событий: открытие филиала МГУ в Дубне, информационных центров в Архангельске и Ереване, начало строительства современной проходной на площадке ЛЯП и др.

Далее с информацией о новых возможностях МСЧ № 9 выступила и. о. начальника ФБУЗ МСЧ № 9 ФМБА России И. И. Ларионова. Говоря о результатах проводимой работы по преобразованию медсанчасти, докладчик, в частности, отметила создание мобильных бригад для выездов на предприятия, ремонт помещений, создание Центра промышленной медицинской помощи, внедрение электронной системы для прохождения медосмотров, открытие паллиативного отделения и отделения реабилитации, проработку вопроса о создании сосудистого центра.

О работе ГАУЗ МО «Дубненская городская больница» подробно рассказал главный врач учреждения А. В. Осипов. Среди прочего докладчик с удовлетворением отметил, что впервые за многие годы Дубненская горбольница развивается



в сотрудничестве с МСЧ-9, что позволяет надеяться на дальнейшее совершенствование работы медицинских учреждений Дубны.

С 25 по 27 апреля в ЛФВЭ в гибридном формате проходило 9-е коллаборационное совещание по эксперименту MPD на установке NICA. В совещании приняли участие более 140 ученых, из них более 60 присутствовали очно. Участники были проинформированы о прогрессе в реализации проекта NICA и детектора MPD, графике строительства комплекса NICA и его ввода в эксплуатацию, а также о планируемых сеансах с пучками частиц на установке. Повестка мероприятия включала в себя доклады, посвященные специфическим величинам, которые планируется измерять в эксперименте, и планам на публикацию полученных результатов.

Открыл работу совещания руководитель проекта NICA, и. о. директора ЛФВЭ В. Д. Кекелидзе, который рассказал о ходе реализации проекта NICA, в частности о двух успешных сеансах на комплексе: в сентябре 2021 г. и трехмесячном цикле пусконаладки в начале 2022 г. Уже подготовлены для дальнейшей работы около 90 % сверхпроводящих магнитов. Продолжается установка готовых магнитных блоков в тоннеле коллайдера. Строительные работы на комплексе NICA будут завершены по плану в 2022 г. Несмотря на незначительное отставание по срокам введения в эксплуатацию криогенных насосных станций, к осени 2022 г. работа по ним будет завершена.

Временно исполняющий обязанности лидера коллаборации MPD В. Г. Рябов (ПИЯФ) доложил о текущем статусе эксперимента. Ведется работа над основными системами детектора: суперкомпактным соленоидом и его ярмом, опорной конструкцией, времяпролетной и времяпроекционной камерами, электромагнитным калори-

метром. Докладчик отметил, что в рамках коллаборации MPD задействованы пять физических рабочих групп, представителями которых также были подготовлены к совещанию доклады о проделанной работе.

Состоялось обсуждение возникших проблем, связанных с недавними событиями в мире, санкциями и ограничениями. Отмечено, что, несмотря на возникшие сложности, основные работы по созданию и запуску экспериментальной установки планируется закончить к концу 2023 г.

Еще одним пунктом в повестке мероприятия стало обсуждение вычислительной и программной инфраструктуры для обработки данных. На совещании в состав коллаборации MPD был принят Институт физики и технологий Монгольской академии наук. В рамках программы совещания участники совершили экскурсию по комплексу NICA.

29 апреля Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова (АО «НИИЭФА») в Санкт-Петербурге посетила делегация ОИЯИ во главе с Г. В. Трубниковым, в состав которой также входили С. Н. Дмитриев, Б. Н. Гикал, Г. Д. Ширков и С. Л. Яковенко. Целью визита стало подписание договора на разработку и изготовление ускорительного комплекса на базе сверхпроводящего циклотрона MSC-230 для протонной лучевой терапии онкологических заболеваний.

Подписи под договором поставили директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников и генеральный директор АО «НИИЭФА» Е. А. Сакадынец. Договор включает четыре этапа и подразумевает разработку технической документации, изготовление узлов и систем ускорителя, его сборку, наладку и пробный запуск в НИИЭФА, а также последую-

щую транспортировку в ОИЯИ, сборку и полномасштабный запуск в Дубне через два года.

В ходе визита делегация ОИЯИ ознакомилась с производственными возможностями АО «НИИЭФА», которое в настоящее время является одним из наиболее технологически развитых и передовых производств электрофизической аппаратуры в России.

4 мая состоялось открытие Информационного центра ОИЯИ на базе Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга в Петропавловске-Камчатском. В преддверии этого в правительстве Камчатского края прошла встреча делегации ОИЯИ во главе с главным ученым секретарем С. Н. Неделько с заместителем председателя правительства Камчатского края А. С. Лебедевой, и. о. ректора КамГУ Е. С. Меркуловым, а также руководством Института космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Камчатского филиала Геофизической службы ДВО РАН и Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Приветствуя участников встречи, А. С. Лебедева, в частности, обозначила исключительно значимую роль Информационного центра ОИЯИ в процессе повышения качества школьного образования в области естественно-научных дисциплин. Стороны обсудили перспективы сотрудничества между ОИЯИ, КамГУ и научно-исследовательскими организациями региона. Руководитель Департамента международного сотрудничества ОИЯИ Д. В. Каманин рассказал о работе, особенностях и общих задачах инфоцентров как в России, так и в других странах-участницах. Участники беседы обсудили ряд конкретных инициатив по совместным проектам и установили новые рабочие контакты.

В торжественной церемонии открытия Информационного центра ОИЯИ приняла участие министр образования Камчатского края А. Ю. Короткова, которая подчеркнула необходимость живого общения школьников и студентов с представителями научного сообщества для выбора будущей профессии.

В этот же день состоялось открытие естественно-научной школы для студентов и школьников, в рамках которой специалисты ОИЯИ прочли лекции для школьников и студентов по различным направлениям исследований, осуществляемых в Институте.

26–27 мая проходил визит в ОИЯИ научных дипломатов из Бразилии, Вьетнама, Южной Кореи и Уганды при участии делегации Аналитического центра международных научно-технологических и образовательных программ (Москва).

Визит продолжил серию мероприятий в рамках реализации положений Софийской декларации ОИЯИ, в частности, об усилении роли ОИЯИ как уникальной интеграционной площадки для развития современных инструментов го-

сударств-членов и партнеров в сфере научной дипломатии, научного просветительства и межкультурного обмена.

Гостей приветствовал директор ОИЯИ Г. В. Трубников. Отметив актуальность проблематики научной дипломатии в свете текущей геополитической обстановки в мире, он рассказал об итогах состоявшейся накануне сессии КПП ОИЯИ, на которой была принята стратегия научного развития Института на следующий семилетний период.

В свою очередь, научные дипломаты подчеркнули особую значимость науки и научной дипломатии в нынешних условиях, а также важную роль ОИЯИ в развитии и расширении международного сотрудничества.

В ходе визита гости также ознакомились с мегасайенс-проектом NICA, побывали на производстве сверхпроводящих магнитов, а также посетили выставку «Базовые установки ОИЯИ».

С 28 мая по 4 июня с рабочим визитом во Владивостоке находилась делегация ОИЯИ, в которую входили представители всех лабораторий и УНЦ. Визит был организован в рамках выполнения договоренностей о развитии двустороннего сотрудничества в соответствии с подписанным 13 мая Соглашением об открытии Информационного центра ОИЯИ на базе Дальневосточного федерального университета. Участники делегации Института прочли цикл лекций для студентов, аспирантов и ученых ДВФУ и институтов ДВО РАН. В рамках визита прошел ряд тематических круглых столов по направлениям ускорительной техники, теоретической физики и ИТ, совещаний и встреч, в том числе с представителями администрации Приморского края.

Встреча делегации с и. о. ректора ДВФУ Б. Н. Коробцом и представителями руководства университета была посвящена обсуждению приоритетных задач информационного центра, общих задач развития партнерской сети ОИЯИ и ДВФУ в Азиатско-Тихоокеанском регионе, а также развития перспективных направлений сотрудничества между университетом и ОИЯИ в области фундаментальных и прикладных исследований и подготовки кадров.

Делегация ОИЯИ приняла участие в совещании с представителями ДВФУ и Дальневосточного отделения РАН, посвященном обмену опытом международного сотрудничества в сфере науки и образования. Направления возможного сотрудничества с точки зрения расширения взаимодействия со странами Азиатско-Тихоокеанского региона обсуждались на встрече с заместителем проректора ДВФУ по международной деятельности Е. Е. Власовым.

31 мая на заседании ученого совета ДВФУ был представлен обзор основных направлений программы исследований и стратегии развития ОИЯИ.

1 июня состоялась встреча делегации ОИЯИ и руководства ДВФУ с представителями администрации Приморского края с участием врио заместителя председателя правительства — министра образования Приморского края Э. В. Шамоновой, заместителя председателя правительства Приморского края Н. И. Стецко, курирующего вопросы экономического развития, промышленности и торговли, профессионального образования и занятости населения, проектного управления и туризма, и министра профессионального образования и занятости населения Приморского края С. В. Дубовицкого. Стороны обсудили опыт ОИЯИ в работе со школьными учителями и школьниками с целью популяризации современной науки, а также роль и потенциал Информационного центра ОИЯИ в ДВФУ в качестве координатора взаимодействия Института с образовательными и научными организациями региона. Были также рассмотрены перспективы взаимодействия организаций региона с Институтом в сфере науки.

В этот же день состоялся круглый стол в Президиуме ДВО РАН, на котором обсуждалось двустороннее сотрудничество с акцентом на междисциплинарные направления и возможности Информационного центра ОИЯИ в ДВФУ. По итогам круглого стола был проведен ряд встреч представителей делегации ОИЯИ с коллегами из Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока, Дальневосточного геологического института, Института прикладной математики и Института автоматизации и процессов управления, с представителями Совета молодых ученых ДВО РАН, а также руководством учебно-научного музея университета.

Заключительным мероприятием в рамках рабочего визита делегации ОИЯИ в ДВФУ стал круглый стол по вопросам интеграции образовательных возможностей ОИЯИ в учебный процесс университета, на котором были определены основной функционал и задачи работы Инфоцентра ОИЯИ в ДВФУ.

7 июня состоялась встреча директора ОИЯИ Г. В. Трубникова с академиком-секретарем Отделения физики, математики и информатики НАН Белоруссии А. Г. Шумилиным и прибывшими в Дубну в составе делегации Союзного Государства руководителями белорусских научных центров: Института физики им. Б. И. Степанова НАН Белоруссии, Минского НИИ радиоматериалов, Центра геофизического мониторинга НАН Белоруссии, Института математики НАН Белоруссии, научно-производственного центра «Технология», центра «Фундаментальные взаимодействия и астрофизика» Института физики им. Б. И. Степанова НАН Белоруссии.

Стороны обсудили возможности расширения сотрудничества, в частности, в сфере производства сверхпроводящих резонаторов. Этот вопрос обсуждался накануне на совместном заседании Комиссии Парламентского Собрания Союза Бе-

лоруссии и России по экономической политике и Комиссии Парламентского Собрания по бюджету и финансам. В ходе беседы были высказаны конкретные предложения по развитию взаимовыгодного сотрудничества между ОИЯИ и белорусскими институтами и обозначены возможные темы совместных исследований, в частности, в области лазерной техники, изучения радиостойкости различных технических компонентов и др. Стороны договорились об организации дальнейших визитов с целью обсуждения деталей сотрудничества по обозначенным темам.

9 июня на площадке Минобрнауки РФ в Москве состоялось 13-е заседание российско-китайской рабочей группы по высоким технологиям и инновациям. В работе секции, посвященной развитию научно-технического сотрудничества между Россией и Китаем в рамках проектов класса мегасайенс, приняла участие делегация ОИЯИ под руководством вице-директора ОИЯИ В. Д. Кекелидзе.

В. Д. Кекелидзе рассказал о физических задачах и направлениях прикладных исследований проекта NICA, дал обзор существующего сотрудничества между ОИЯИ и китайскими научными организациями по этому направлению, а также внес предложение заключить соглашение между ОИЯИ и Министерством науки и технологий КНР о научно-техническом сотрудничестве и использовании установок Объединенного института, которое позволит расширить и мультиплицировать успешные практики кооперации ОИЯИ и китайской стороны в рамках проекта NICA.

20 июня в ДМС ОИЯИ состоялось открытие 15-й Международной стажировки молодых ученых и специалистов стран СНГ, организатором которой выступает Международный инновационный центр нанотехнологий СНГ (МИЦНТ СНГ) при поддержке ОИЯИ и Межгосударственного фонда гуманитарного сотрудничества государств-участников СНГ (МФГС). В течение месяца в стажировке принимали участие молодые ученые и специалисты из Азербайджана, Армении, Белоруссии, Казахстана, Киргизии, России, Таджикистана, Узбекистана.

Стажировки проводятся ежегодно, начиная с 2009 г. За это время в них приняли участие более 300 человек. В течение 2010–2022 гг. гранты МИЦНТ СНГ на разработку научных и инновационных проектов получили более 150 ученых. Участие в стажировках в Дубне дает дополнительные возможности для научного и карьерного роста молодых ученых и специалистов из стран СНГ.

В ходе стажировки участники посетили лаборатории ОИЯИ, университет «Дубна», центр цифрового производства и опытно-конструкторское бюро электрохимической техники, АО «Научно-производственный центр „Аспект“», ряд предприятий-резидентов ОЭЗ «Дубна», а также встре-



тились с представителями национальных групп своих стран в ОИЯИ.

Стажеры работали в интернациональных командах по 4–5 человек над совместными научно-техническими или инновационными проектами. В конце стажировки состоялась защита проектов, по итогам которой в следующем году будут выделены гранты от МИЦНТ СНГ.

8 июля в Париже (Франция) в штаб-квартире ЮНЕСКО прошла торжественная церемония открытия Международного года фундаментальных наук для устойчивого развития (YBSSD-2022). Объединенный институт ядерных исследований — один из организаторов года и член его руководящего комитета. Наряду с ОИЯИ организаторами YBSSD-2022 стали его партнеры, такие ведущие международные научные центры и объединения, как ЦЕРН, Международный союз теоретической и прикладной физики (IUPAP), Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC), Национальный институт ядерной физики (INFN, Италия) и др.

Церемонию в Париже открыл заместитель генерального директора ЮНЕСКО Син Цюй. В приветственной речи он отметил, что наука способна изменить мир, сделав его более устойчивым, и подчеркнул, что ЮНЕСКО, в свою очередь, стремится сделать научную сферу более открытой, равноправной и плодотворной.

На церемонии также выступил президент Международного союза теоретической и прикладной физики (IUPAP) и президент оргкомитета YBSSD-2022 М. Спиро, который является почет-

ным доктором ОИЯИ. Он представил идею о том, что фундаментальные науки, движимые жаждой познания, являясь основой образования и источником открытий, находят практические приложения, служащие инклюзивному устойчивому развитию мира.

Ряд мероприятий ОИЯИ вошли в официальный перечень событий YBSSD-2022: 16-я Международная конференция «Параллельные вычислительные технологии-2022» (PaVT'2022), Международное совещание по исследованию материи с высокой барионной плотностью на комплексе NICA в ОИЯИ, 10-й Международный симпозиум по экзотическим ядрам (EXON).

12–13 июля в Димитровграде Ульяновской области с рабочим визитом находились вице-директор ОИЯИ Л. Костов и директор ЛНФ В. Н. Швецов, которые приняли участие в первом заседании консультативного совета Международного центра исследований на базе реактора МБИР.

В первом заседании совета очно и в онлайн-формате приняли участие более 80 ученых, экспертов и руководителей из более 30 ведущих научных центров России, Китая, Индии, Казахстана, Узбекистана, Вьетнама, Алжира, Армении. Международные организации на встрече представили ОИЯИ и МАГАТЭ.

Были рассмотрены статус сооружения реактора МБИР, вопросы вступления в консорциум «МЦИ МБИР», организации работ в рамках профильных комитетов в составе научного консультативного совета МБИР, а также будущей международной программы экспериментальных

исследований на установке. От ОИЯИ в состав совета вошли Л. Костов и специальный представитель директора ОИЯИ по сотрудничеству с международными и российскими научными организациями Б. Ю. Шарков. Директор ЛНФ В. Н. Швецов вошел в состав комитета по неэнергетическим применениям ядерных технологий, а начальник сектора ЛЯР В. А. Скуратов — в комитет по исследованию материалов и топлива. В. Н. Швецов выступил с презентацией исследований на выведенных пучках нейтронов.

В докладах участников был представлен опыт работы международных центров на базе исследовательских реакторов, а также подходы к развитию национальных атомных проектов и перспективных исследований на установке МБИР в рамках сотрудничества с Росатомом.

В июле исследовательская группа из Египта побывала с рабочим визитом в ЛНФ в рамках реализации совместного проекта Академии научных исследований и технологий Египта (ASRT) и ОИЯИ «Молекулярное моделирование и экспериментальное нейтронное рассеяние процессов взаимодействия биомолекул с графеновыми подложками в конденсированных средах».

В числе визитеров — соруководители проекта с египетской стороны профессор физики Х. Эльхаес, профессор прикладной спектроскопии и молекулярного моделирования в отделе спектроскопии Национального исследовательского центра (NRC) М. Ибрагим, а также группа египетских ученых и специалистов.

От ОИЯИ проект курирует ведущий научный сотрудник ЛНФ профессор Х. Холмуродов. В проекте принимают участие сотрудники сектора отделения нейтронных исследований и разработок в области конденсированных сред ЛНФ и студенты университета «Дубна».

Руководители совместного проекта встретились с директором ЛНФ В. Н. Швецовым для обсуждения текущего статуса сотрудничества и возможностей его дальнейшего развития.

Проект нацелен на создание экономичного и экологически чистого биосенсора. Ранее были получены результаты исследования взаимодействия графеновых квантовых точек (GQDs) с оксидом графена в качестве субстрата и с холестеринном в качестве биологической молекулы с использованием квантово-механических расчетов. Рентгеновский структурный анализ образцов был выполнен египетскими учеными на установке ЛНФ Heuss 3.0, а компьютерное моделирование будет проведено на суперкомпьютере «Говорун». Результаты работы планируются к публикации в одном из высокорейтинговых научных журналов.

Следующий этап проекта предполагает проведение в ОИЯИ компьютерного молекулярно-динамического моделирования на тех же модельных молекулах для подтверждения полученных результатов. Одним из направлений развития работы станет проверка этой модели с использованием исследовательского оборудования ЛНФ. Понимание механизма взаимодействия в выше-названных объектах — важный шаг в разработке и внедрении передовых биосенсоров, которые довольно широко используются в различных областях, таких как сельское хозяйство, медицина, биологическая защита и т. д.

23–24 августа в Новосибирске в рамках проходящего форума «Технопром-2022» состоялась 4-я Международная встреча рабочей группы БРИКС по исследовательским инфраструктурам и проектам класса мегасайенс. ОИЯИ выступил активным участником мероприятия, собравшего

Новосибирск, 23–24 августа. Участники 4-й Международной встречи рабочей группы БРИКС по исследовательским инфраструктурам и проектам класса мегасайенс в рамках форума «Технопром-2022» (фото: ИЯФ СО РАН)



представителей министерств, профильных ведомств и научных организаций стран БРИКС.

Директор ОИЯИ Г. В. Трубников выступил председателем тематической сессии, посвященной обновлению политики стран БРИКС по исследовательской инфраструктуре. Участники обсудили необходимость открытого диалога между странами на благо развития исследовательских инфраструктур.

Ключевой темой сессии стал стратегический план для рабочей группы, проект которого был представлен руководителем Департамента международного сотрудничества ОИЯИ Д. В. Каманиным. В ходе последовавшей за презентацией оживленной дискуссии участники рабочей встречи высказали многочисленные предложения по проработке плана.

Во второй день встречи в продолжение обсуждения проекта стратегического плана рабочая группа обсуждала возможности улучшения веб-платформы BRICS GRAIN. От ОИЯИ по тематике сессии выступил главный ученый секретарь Института С. Н. Неделько, который представил цели платформы, а также вынес на обсуждение участников ряд предложений по ее развитию.

В рамках следующей тематической сессии Д. В. Каманин представил обзор проекта BRICS Task Force, который включен в стратегический план и нацелен на анализ существующих объектов исследовательской инфраструктуры в странах БРИКС.

Также в рамках темы форума «Ядерные технологии и проекты мегасайенс» прошла сессия, посвященная научным установкам класса мегасайенс. На ней академик Г. В. Трубников рассказал об ускорительном комплексе NICA, целях, этапах и сроках его реализации, подробно остановившись на управлении проектом и прикладных исследованиях на комплексе NICA. Докладчик отметил, что большое внимание уделяется подготовке кадров для NICA: идет активное вовлечение в проект стран Латинской Америки, Африки, Южно-Азиатского региона и Средиземноморья.

30 августа делегация ОИЯИ приняла участие в 26-м заседании подкомиссии по научно-техническому сотрудничеству российско-китайской комиссии по подготовке регулярных встреч глав правительств. На мероприятии выступил директор ОИЯИ Г. В. Трубников.

В ходе заседания, в частности, были отмечены высокий уровень и широкий масштаб сотрудничества ОИЯИ и научных организаций КНР, а также целесообразность подписания декларации о намерениях между ОИЯИ и соответствующими ведомствами КНР о реализации совместной деятельности в области фундаментальных научных исследований, в связи с чем была достигнута договоренность о проведении консультаций по согласованию проекта указанного документа.

Академик Г. В. Трубников рассказал о результатах и перспективах сотрудничества в рамках

Дубна, 2 сентября. Торжественное открытие филиала МГУ в Дубне



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 7 сентября. Визит в ОИЯИ делегации Министерства науки и высшего образования РФ во главе с заместителем министра Д. В. Афанасьевым (слева)



мегасайенс-проекта NICA. По этой же тематике со стороны КНР выступила заместитель начальника Управления международного сотрудничества Китайской академии наук У Янь, которая отметила, что ключевые компоненты комплекса NICA, разработанные совместными усилиями ОИЯИ и КНР, запущены в серийное производство.

8 научно-исследовательских институтов и 13 вузов Китая участвуют в исследованиях ОИЯИ по 20 научным темам. В Институте физики плазмы в Хэфее состоялся запуск первого сверхпроводящего циклотрона, который был создан совместными усилиями ученых Китая и Дубны.

В конце августа в ОИЯИ в формате круглого стола прошло совещание представителей ГК «Росатом», АО «РАСУ», АО «Германий», ООО «Германий и приложения», АО «Наука и инновации», АО «Гиредмет» и Тверского государственного университета, организованное в рамках соглашения о сотрудничестве между ОИЯИ и АО «Институт физико-технических проблем» (ИФТП). При активном участии представителей ЛФВЭ ОИЯИ стороны обсудили вопросы развития производства особо чистого германия и сотрудничество в этой сфере.

Германий используется в волоконной и тепловизионной оптике, фотонике, микроэлектронике, химической промышленности. Особо чистый германий необходим в ядерной физике для создания детекторов рентгеновского и гамма-излучения.

Участники уделили особое внимание вопросам восстановления производства монокристаллического германия и ключевым требованиям к исходному сырью. Обсуждались технические условия производства монокристаллов германия детекторного качества в большом объеме.

12 сентября в ходе 28-й Международной конференции по ядерной физике (INPC-2022) в Кейптауне (ЮАР) прошло 21-е заседание объединенного координационного комитета по сотрудничеству Южно-Африканской Республики с ОИЯИ.

Делегацию Института на заседании возглавлял директор ОИЯИ Г. В. Трубников, со стороны ЮАР сопредседателем стал заместитель исполнительного директора Национального фонда исследований (NRF) К. Нксомани.

На заседании комитета был рассмотрен ряд актуальных вопросов сотрудничества: текущая работа по совместным проектам и предстоящий конкурс на новые, студенческие практики в 2023 г. и летняя школа SAINTS, вопросы финансирования и структуры управления совместными проектами.

Центральным вопросом стало обсуждение стратегии развития кооперации и, в частности, проектов по ускорительным технологиям и по радиобиологии, которые были одобрены в ходе данного заседания, а также по участию ЮАР в эксперименте SPD, по информационным технологиям и радиохимической лаборатории. В ходе

Кейптаун (ЮАР), 12 сентября. Участники 21-го заседания объединенного координационного комитета по сотрудничеству Южно-Африканской Республики с ОИЯИ



встречи был затронут вопрос открытия Информационного центра ОИЯИ в национальной циклотронной лаборатории iThemba LABS. Участники заседания наметили программу совместных мероприятий на следующий год.

С 26 по 30 сентября в 35-м заседании совета Международной ассоциации академий наук (МААН), которое проходило в Москве и Санкт-Петербурге, принимала участие делегация Объединенного института под совместным руководством директора ОИЯИ Г. В. Трубникова и научного руководителя ОИЯИ В. А. Матвеева.

Объединенный институт является полноправным членом МААН с 2020 г. В число участ-

ников мероприятия вошли представители руководящих органов национальных академий наук многих стран, в том числе стран-участниц ОИЯИ. Главной темой заседания стало подведение итогов работы МААН за 2017–2022 гг. с ключевым акцентом на теме интеграции науки на евразийском пространстве.

На заседании совета МААН были представлены доклады, посвященные развитию исследований в различных сферах и планам МААН на ближайшие годы. В ходе заседания на должность руководителя ассоциации на 2022–2027 гг. переизбран представитель государства-члена ОИЯИ председатель Президиума НАН Белоруссии В. Г. Гусаков.

Москва, 26–30 сентября. 35-е заседание совета МААН с участием представителей ОИЯИ



Вена (Австрия), 27 сентября.

Подписание обновленного рамочного договора о сотрудничестве между ОИЯИ и МАГАТЭ вице-директором ОИЯИ Л. Костовым (слева) и заместителем генерального директора МАГАТЭ М. В. Чудаковым



26 сентября в заседании совета молодых ученых МААН принял участие заместитель председателя совета ОМУС ОИЯИ А. Ю. Незванов. Участники из разных стран поделились опытом поддержки молодых специалистов, обсудили ряд проблем и будущие проекты.

На заседании совета МААН Г. В. Трубникову, действительному члену МААН, были вручены отличительный знак и диплом академика МААН.

27 сентября в рамках 4-го Международного научного форума «Ядерная наука и технологии» в г. Алма-Ате (Казахстан) прошел круглый стол, приуроченный к 65-летию Института ядерной физики (ИЯФ) Министерства энергетики Республики Казахстан и 30-летию сотрудничества ОИЯИ и Республики Казахстан. Участники мероприятия обсудили текущие вопросы и перспективы развития кооперации по главным направлениям и форматам сотрудничества, прежде всего в области крупной исследовательской инфраструктуры, научной деятельности и подготовки кадров.

Работу круглого стола открыло выступление директора ИЯФ С. К. Сахиева. На круглом столе, в частности, выступили директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников, ознакомивший участников с текущими результатами исследовательской деятельности ОИЯИ, и заместитель научного руководителя ЛЯР ОИЯИ М. Г. Иткис, который представил доклад об истории многолетнего сотрудничества между ОИЯИ и ИЯФ.

Опираясь на масштабный опыт плодотворного взаимовыгодного сотрудничества Казахстана и ОИЯИ, участники круглого стола обсудили целесообразность развития и расширения набора уникальных экспериментальных установок обоих институтов. Было отмечено также, что созда-

ние Информационного центра ОИЯИ в Казахстане могло бы стать дополнительным импульсом развития кооперации ОИЯИ как с научным сообществом Республики Казахстан, так и с ее университетами.

27 сентября в штаб-квартире Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в Вене (Австрия) в ходе работы 66-й ежегодной Генеральной конференции МАГАТЭ состоялось подписание обновленного рамочного договора о сотрудничестве между ОИЯИ и МАГАТЭ. Со стороны ОИЯИ соглашение подписал вице-директор Л. Костов, со стороны МАГАТЭ — заместитель генерального директора МАГАТЭ М. В. Чудаков.

В соответствии с соглашением ОИЯИ и МАГАТЭ планируют активно развивать сотрудничество и проводить совместные мероприятия в интересах своих государств-членов в области подготовки кадров и развития исследовательской инфраструктуры, функционирования и эксплуатации ядерных исследовательских реакторов и ускорителей частиц, включая экспертную поддержку при разработке новых установок. Сотрудничество будет развиваться в ядерной физике и разработке ядерных данных для реакций, вызванных тяжелыми ионами, нейтронами и гамма-излучением. Кроме того, ОИЯИ и МАГАТЭ будут содействовать распространению ядерной информации в промышленном секторе и использованию документальной коллекции INIS.

В 2022 г. Генеральная конференция МАГАТЭ была посвящена теме глобальной кооперации в ядерной сфере. Среди участников мероприятия — представители 175 государств-членов МАГАТЭ. В ходе конференции делегация Института провела ряд рабочих встреч.

Алма-Ата (Казахстан), 30 сентября. Встреча директора ОИЯИ Г. В. Трубникова с Президентом Республики Казахстан К.-Ж. Токаевым (в центре)



30 сентября директор ОИЯИ Г. В. Трубников принял участие во встрече с Президентом Республики Казахстан К.-Ж. Токаевым, посвященной обсуждению перспектив развития ядерной науки.

Беседа на высшем уровне состоялась в рамках визита директора ОИЯИ Г. В. Трубникова в Казахстан на международный научный форум «Ядерная наука и технологии», проходивший с 26 по 30 сентября и приуроченный к 65-летию многолетнего партнера ОИЯИ — Института ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан и 30-летию сотрудничества ОИЯИ и Республики Казахстан.

В ходе встречи с Президентом Казахстана состоялась обмен мнениями по вопросам развития атомной энергетики в Казахстане, использования современных ядерных технологий, подготовки квалифицированных кадров. В беседе также приняли участие президент компании Chioda Technol Corp (Япония) А. Иноуи и ведущий научный сотрудник Института Лауэ–Ланжевена (Франция) В. Несвижевский, которые высказали заинтересованность в тесном сотрудничестве с казахстанской стороной.

В тот же день Г. В. Трубников встретился с министром энергетики Республики Казахстан Б. Акчулаковым и посетил филиал Института ядерной физики в Астане на базе Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева.

4–8 октября в ходе визита делегации Объединенного института в Республику Узбекистан были подписаны соглашения с Национальным университетом Узбекистана, Ташкентским государственным техническим университетом и Наманганским инженерно-технологическим ин-

ститутом, направленные на подготовку кадров и проведение совместных исследований в сфере ядерной энергетики и медицины, экологии, ядерных и нанотехнологий, электроники, компьютерных технологий.

4–5 октября в Намангане делегация ОИЯИ во главе с директором Г. В. Трубниковым приняла участие в научном форуме «Физика-2022», собравшем более 250 участников из 13 стран для обсуждения статуса и перспектив развития физики. В ходе пленарных сессий ученые ОИЯИ представили доклады об исследованиях, проводимых в лабораториях Института. С докладом на форуме выступил вице-директор ОИЯИ Л. Костов. Председателями двух сессий стали заместитель научного руководителя ЛЯР М. Г. Иткис и директор ЛРБ А. Н. Бугай.

7 октября делегация Объединенного института посетила Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН РУз в Паркенте.

В Ташкенте делегация ОИЯИ встретилась с ректорами, представителями профессорско-преподавательского состава и студентами Национального университета Узбекистана, Ташкентского государственного технического университета, Ташкентского университета информационных технологий, Ташкентской медицинской академии. Председателем рабочей встречи выступил полномочный представитель Правительства Республики Узбекистан в ОИЯИ, президент Академии наук Узбекистана Б. Юлдашев. Участники обсудили вопросы студенческого и академического обмена между вузами страны и ОИЯИ, возможности для прохождения практик и защит диссертаций в Дубне. Была высказана заинтересованность в проведении совместных работ в об-

Республика Узбекистан, 4–8 октября.

Участники рабочей встречи в Академии наук Узбекистана (фото: Академия наук Узбекистана)



ласти биогенетических технологий, водородной энергетики, диагностической радиологии, лазерной метрологии и информационных технологий.

Во встрече в Академии наук приняли участие ученые Института ядерной физики, Института материаловедения, Института ионно-плазменных и лазерных технологий, Института механики и сейсмостойкости сооружений, Института энергетических проблем, представители исполнительной власти Узбекистана, заинтересованных министерств, ректоры университетов и руководители Академии наук Узбекистана. Было отмечено давнее научное сотрудничество Узбекистана и ОИЯИ, высокая квалификация дубненских ученых и сильнейшая научная школа Института.

8 октября в Институте ядерной физики Академии наук Узбекистана был запущен кластер облачных вычислений, созданный в сотрудничестве со специалистами ЛИТ ОИЯИ, который позволит интегрировать ИЯФ АН РУз в вычислительную сеть ОИЯИ для проведения вычислений, требующих значительных ресурсов, а также участия в вычислениях для таких мегасайенс-проектов ОИЯИ, как NICA и Baikal-GVD.

В ходе встречи, посвященной открытию кластера облачных вычислений, президент Академии наук Узбекистана Б. Юлдашев вручил директору ОИЯИ Г. В. Трубникову нагрудный знак Института ядерной физики «Самарали фаолияти учун» (за плодотворную деятельность).

10 октября в правительстве Приморского края было подписано четырехстороннее соглашение между правительством Приморского края, Объединенным институтом ядерных исследований, Дальневосточным федеральным университетом

(ДВФУ) и Дальневосточным отделением Российской академии наук (ДВО РАН).

Соглашение предусматривает подготовку кадров для развития в регионе исследований в области ядерной физики: открытие новых кафедр в ДВФУ и обучение специалистов для строящегося синхротрона «Русский источник фотонов», а также включает положения о реализации инновационных проектов в области мегасайенс, материаловедения, информационных технологий, ядерной медицины, радиобиологии, наук о жизни, биомедицины, теоретической физики, экологии и археологии. Стороны также обозначили возможность сотрудничества по направлениям научного туризма, природоподобных технологий и другим проектам, полезным для экономики региона.

В тот же день в Президиуме ДВО РАН представители ОИЯИ и ДВФУ провели круглый стол «Мегасайенс-установки: наука и технологии для развития макрорегиона». В приветственном обращении к участникам научный руководитель ОИЯИ В. А. Матвеев отметил важность развития интереса к науке среди молодежи. Директор ОИЯИ Г. В. Трубников выступил на круглом столе с докладом о научной программе ОИЯИ.

Делегация ОИЯИ посетила Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН и Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г. Б. Елякова ДВО РАН, где в результате обсуждения был намечен целый ряд направлений совместной работы.

В ходе визита во Владивосток представители ОИЯИ приняли участие во 2-м Дальневосточном форуме молодых ученых и инноваторов «Восток. Наука». Научную молодежь Института на

Владивосток, 10 октября. Подписание четырехстороннего соглашения между правительством Приморского края, ОИЯИ, ДВФУ и ДВО РАН в ходе визита делегации ОИЯИ во Владивосток (фото: пресс-служба ДВФУ)



форуме представлял председатель ОМУС ОИЯИ В. А. Рожков. В рамках форума были организованы круглые столы, на которых обсуждались вопросы международного сотрудничества, популяризации науки, а также взаимодействия в сфере образования, науки и технологий. Была развернута интерактивная выставка, посвященная деятельности ОИЯИ и достижениям современной науки. Экспозиция стала одним из мероприятий дополнительной программы ОИЯИ в рамках Международного года фундаментальных наук — IYBSSD-2022, одним из организаторов которого является Институт. В общей сложности мероприятия форума посетили более 200 исследователей Дальнего Востока России.

В рамках встречи состоялось вручение дипломов учителям физики Приморского края — участникам стажировки, проходившей в Учебно-научном центре ОИЯИ.

11 октября в ДВФУ на острове Русском (Владивосток) состоялось официальное открытие Информационного центра ОИЯИ на основе соглашения, подписанного 13 мая 2022 г. в Дубне. Инфоцентр призван создать новые возможности для знакомства студентов, аспирантов и молодых специалистов университета с уникальной научной инфраструктурой и исследовательскими проектами Института.

Открытию нового инфоцентра предшествовала разносторонняя подготовка к выполнению его основной задачи — обучению студентов и привлечению их в науку. Студенты ДВФУ уже побывали в лабораториях ОИЯИ на экскурсиях и практиках, была организована серия онлайн-лекций ученых ОИЯИ, которые посетили около 1000 слушателей.

14 октября состоялась рабочая встреча представителей консорциума «Международный центр исследований на базе реактора МБИР» с дирекцией Объединенного института, в ходе которой стороны обсудили международную составляющую проекта, опыт ОИЯИ в организации научных коллабораций и сферы взаимных научных интересов, в частности, прозвучала идея расширения коллаборации проекта по линии БРИКС.

Проект в Димитровграде находится на стадии разработки научной программы и определения пользовательской политики. В связи с этим представители МБИР выразили серьезную заинтересованность в экспертизе Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ и ее релевантном опыте с исследовательским реактором ИБР-2. Было предложено сформировать единую нейтронную программу, в которой будут задействованы разные типы реакторов: это и будущий ПИК, и импульсный реактор ИБР-2, и реактор МБИР. В каче-

стве сфер взаимного научного интереса стороны обозначили исследования с использованием ультрахолодных нейтронов и нейтронзахватную терапию.

25–28 октября делегация ОИЯИ во главе со специальным представителем директора академиком Б. Ю. Шарковым находилась с рабочим визитом в Социалистической Республике Вьетнам (СРВ). Целью визита стала проработка дальнейших шагов по развитию сотрудничества ОИЯИ и Вьетнама, в частности, в рамках соглашения об участии Института в создании исследовательского реактора в СРВ.

25 октября состоялась встреча представителей ОИЯИ с руководством Вьетнамского института ядерной энергии (Винатом). Участники делегации посетили площадку будущего исследовательского реактора вблизи Хошимина.

26 октября делегация ОИЯИ совместно с коллегами из Вьетнамской академии наук и технологий (ВАНТ) и научных институтов системы Винатома посетила Национальный университет Хошимина. В ходе встречи вьетнамским коллегам были представлены основные направления научной программы ОИЯИ, объекты исследовательской инфраструктуры и соответствующие принципы пользавательской политики, а также реализуемые международные программы подготовки кадров. Представители ОИЯИ рассказали о совместной работе с Винатомом по разработке научной программы и экспериментальных инструментов для будущего вьетнамского исследовательского реактора и о реализуемой в Институте целевой программе подготовки вьетнамских специалистов.

Вьетнамская сторона выразила большой интерес к использованию исследовательской инфраструктуры ОИЯИ в программах подготовки

студентов магистратуры и аспирантуры. В частности, были отмечены такие тематические направления, как биология, материаловедение, геофизика, инженерная физика, информационные технологии и т. д.

Руководитель Департамента международного сотрудничества ВАНТ Ле Куинь Лиен подчеркнула готовность академии, координирующей участие Вьетнама в ОИЯИ, учесть этот интерес при планировании совместной с Институтом работы по программам подготовки кадров и содействовать широкому вовлечению Национального университета Хошимина и его международных партнеров в деятельность ОИЯИ.

В тот же день в Центре НИОКР в области радиационных технологий Vinagamma, входящем в структуру Винатома, состоялась встреча с его президентом проф. Чан Ти Тханем и представителями ряда подразделений Винатома. По итогам встречи вьетнамская сторона определила двух специалистов для работы в ОИЯИ, а именно в ЛНФ, с функциями координаторов.

27 октября работа делегации ОИЯИ продолжилась в Ханое, в Университете науки и технологий (HUST) — высшем учебном заведении, входящем в систему ВАНТ. Представители ОИЯИ приняли участие в работе международного научного симпозиума «Origin of Matter and Evolution of Galaxies» (OMEG-16) и провели ряд рабочих встреч. Группа сотрудников Института во главе с Ю. А. Панебратцевым развернула в университете мультимедийную выставку, посвященную истории развития и базовым установкам ОИЯИ. Экспозицию, подготовленную при активном содействии ВАНТ и HUST, посетили более 300 человек, в основном научная молодежь.

Для студентов и аспирантов HUST была организована презентация научной инфраструктуры ОИЯИ, истории и перспектив сотрудничества

Хошимин (Социалистическая Республика Вьетнам), 26 октября.

Участники встречи в Национальном университете Хошимина в ходе рабочего визита в СРВ делегации ОИЯИ во главе со специальным представителем директора академиком Б. Ю. Шарковым



Вьетнама с Институтом, а также научных направлений совместных исследований с институтами ВАНТ. В режиме телеконференции вьетнамские сотрудники ОИЯИ, находящиеся в Дубне, поделились опытом участия в международных исследовательских проектах Института. Презентации вызвали большой интерес у аудитории и завершились круглым столом, модераторами которого выступили проректор университета Чан Винь Фонг и руководитель Департамента международного сотрудничества ОИЯИ Д. В. Каманин.

В тот же день делегация ОИЯИ посетила Институт геофизики ВАНТ. На встрече в ходе обсуждения перспектив сотрудничества директора института Нгуен Суан Ань выступил с рядом предложений по развитию связей с ОИЯИ. В частности, речь шла о возможности использования ресурсов суперкомпьютера ЛИТ для обработки данных национальной системы мониторинга землетрясений во Вьетнаме, а также о подготовке специалистов в области информационных технологий. Делегация ОИЯИ побывала на одной из станций системы изучения физической природы молний и атмосферных аэрозолей, а также в детской научной школе.

28 октября делегация ОИЯИ посетила Институт ядерных наук и технологий (INST), входящий в структуру Винатома, где встретилась с руководством и научными сотрудниками, а также ознакомилась с основными направлениями научной программы INST, посетила его лаборатории, в том числе циклотронную лабораторию по производству медицинских изотопов. Встречей в формате круглого стола, собравшего руководителей подразделений, руководил заместитель директора INST Нгуен Хуу Квиет. Было предложено организовать рабочий визит представителей института в ОИЯИ для установления прямых контактов в соответствующих научных группах.

Серию рабочих визитов делегации ОИЯИ в университеты и научные организации Винатома и ВАНТ в Ханое и Хошимине завершила встреча с полномочным представителем Правительства Социалистической Республики Вьетнам в ОИЯИ вице-президентом ВАНТ Чан Туан Анем, в которой приняли участие президент Винатома Чан Ти Тхань, а также руководители Института физики, Института геофизики и университета HUST. Участники встречи подтвердили большой взаимный интерес к дальнейшему развитию сотрудничества в научно-технологических вопросах и в программах подготовки кадров.

С 7 по 11 ноября в Дубне проходила очередная стажировка «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-21). В этот раз участниками программы стали представители российских образовательных учреждений и научных организаций из Архангельска, Владивостока, Воронежа, Москвы, Петропавловска-Камчатского, Ростова-на-Дону, Томска, Тулы, Якутска.

Стажировка JEMS началась с ознакомительной лекции об ОИЯИ, представленной руководителем Департамента международного сотрудничества Д. В. Каманиным. В программу JEMS-21 вошли тематические блоки по дням стажировки: «Физика тяжелых ионов и ускорительные технологии», «Исследования с нейтронами и наномир», «Теория, информация, образование», «Науки о жизни на Земле и в космосе» и «Нейтрино». Участники посетили лаборатории и установки Института, прослушали лекции по направлениям актуальных научных исследований от ведущих специалистов ОИЯИ, ознакомились с принципами международного сотрудничества Института и организацией его социальной инфраструктуры.

9 ноября в рамках JEMS-21 был организован круглый стол «Взаимодействие ОИЯИ с универ-

Дубна, 7–11 ноября. Стажировка «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-21)



ситетами. Информационные центры ОИЯИ, образовательные программы УНЦ». Участники стажировки делились собственными задачами и возможностями, что вылилось в живую дискуссию о системных вопросах взаимодействия науки и образования. Активно обсуждался формат информационных центров ОИЯИ. В работе круглого стола принимали участие директора уже действующих инфоцентров, которые рассказали об опыте функционирования инфоцентров ОИЯИ в своих вузах, достигнутых результатах, новых задачах и инструментах, предлагаемых ОИЯИ для их решения. Большой отклик участников вызвало знакомство с инженерным практикумом УНЦ.

Углубленное обсуждение работы информационных центров и перспектив открытия новых продолжилось 10 ноября на 2-м рабочем совещании директоров инфоцентров ОИЯИ «Организационные вопросы и задачи ИЦ: обмен опытом», проходившем в смешанном формате, в ходе которого руководители действующих ИЦ, расположенных как на территории России, так и в странах-участницах — Болгарии, Армении и Египте, представили детальную информацию о своей работе и поделились планами на будущее. На встрече присутствовали представители научных групп Вьетнама, Узбекистана и ЮАР, которые выразили заинтересованность в создании инфоцентров в своих странах.

11 ноября программа JEMS-21 завершилась традиционным круглым столом с участием представителей дирекции ОИЯИ, на котором были подведены итоги стажировки.

14–15 ноября состоялся визит в ОИЯИ ректора Северо-Осетинского государственного университета им. К. Л. Хетагурова (СОГУ) А. Огоева. Был проведен ряд рабочих встреч с руководством Института и директорами лабораторий, участвующих в совместных научных и образовательных проектах. Помимо этого вместе с делегацией сотрудников и студентов СОГУ А. Огоев принял участие в работе Осенней ИТ-школы ОИЯИ в ЛИТ.

На встрече с директором ОИЯИ Г. В. Трубниковым обсуждались результаты сотрудничества ОИЯИ–СОГУ, развитие научной и инновационной кооперации между организациями, а также другими партнерами на Юге России. В частности, было отмечено взаимодействие СОГУ и ОИЯИ по вопросам подготовки кадров, научным междисциплинарным проектам и прикладным исследованиям.

12 декабря в Томском политехническом университете (ТПУ) открылся Информационный центр ОИЯИ для ученых, студентов и школьников. В многофункциональной аудитории в одном из учебных корпусов ТПУ, где разместился центр, установлены компьютерные рабочие места с необходимыми информационными материалами и мультимедийным оборудованием. Центр призван стать «информационным окном», позволяю-

щим получить представление о работе Института, достижениях российской и мировой науки. Здесь будут проходить научные и образовательные, а также научно-популярные мероприятия в области современной физики.

В центре была развернута фотовыставка «Делай науку в Дубне», посвященная работе молодых ученых и специалистов ОИЯИ.

Открытие Инфоцентра ОИЯИ состоялось во время визита в ТПУ делегации дубненских ученых. 13 декабря ведущие специалисты ОИЯИ провели в ТПУ школу для молодых ученых Томска и представили серию научно-популярных лекций для школьников города.

17–18 декабря делегация ОИЯИ под руководством специального представителя директора Института по сотрудничеству с международными и российскими научными организациями академика Б. Ю. Шаркова находилась в Каире (Египет), где приняла участие в работе Форума иностранных выпускников советских и российских вузов — представителей системы образования стран Ближнего Востока и Северной Африки (БВСА), организованного Федеральным агентством по делам СНГ, соотечественников, проживающих за рубежом, и по международному гуманитарному сотрудничеству (Россотрудничество).

Б. Ю. Шарков сделал обзорный доклад об ОИЯИ и выступил в роли модератора круглого стола, посвященного взаимодействию науки, образования и отрасли, тему продолжил руководитель национальной группы египетских сотрудников в ОИЯИ В. Бадави докладом «Подготовка кадров и информационная деятельность ОИЯИ в сотрудничестве с Египтом».

В ходе пленарного заседания и круглых столов, проходивших на форуме, обсуждались вопросы, связанные с перспективами сотрудничества российских образовательных и научных организаций со странами Ближнего Востока и Северной Африки, а также возможности российских образовательных и научно-исследовательских организаций для подготовки кадров для стран-партнеров из региона БВСА. Презентацию о возможностях ОИЯИ сделала сотрудник Департамента международного сотрудничества Е. А. Бадави.

В рамках работы форума Б. Ю. Шарков принял участие во встрече с Чрезвычайным и Полномочным Послом РФ в АРЕ Г. Борисенко. Состоялся ряд переговоров делегации ОИЯИ с представителями университетов и научно-исследовательских организаций Египта и руководителями ассоциаций выпускников советских и российских вузов стран региона Ближнего Востока и Северной Африки, а также встречи с представителями «Росатома» и партнерами из Томского политехнического университета (ТПУ), в котором 12 декабря был открыт Информационный центр ОИЯИ. В ходе встреч были, в частности, достигнуты договоренности о развитии партнерского взаимодействия в обла-

сти научно-исследовательской, образовательной деятельности и в подготовке кадров ОИЯИ, «Росатома» и ТПУ.

Во время пребывания в Каире делегация ОИЯИ встретила с полномочным представителем Правительства АРЕ в ОИЯИ президентом Академии научных исследований и технологий Египта М. Сакром, а также с руководителем Агентства по атомной энергии Египта, членом Ученого совета Института А. Эль-хагом Али для обсуждения исполнения решений 12-го объединенного координационного комитета ОИЯИ–АРЕ (Хургада, ноябрь 2022 г.) в рамках выездного заседания КПП, подготовки программ сотрудничества и др.

23 декабря в Доме международных совещаний в очно-заочном формате состоялось заседание НТС ОИЯИ, посвященное подведению итогов деятельности Института в 2022 г. Открыл его председатель совета профессор Р. В. Джолос.

Директор Института Г. В. Трубников в своем докладе обозначил итоги сессий Финансового комитета и КПП ОИЯИ, которые состоялись 23–24 ноября в Египте: принят проект нового Семилетнего плана на 2024–2030 гг., одобрены положения о грантах и программах полномочных представителей, программы JINR Postdocs, JINR Fellowship, направленные на привлечение в ОИЯИ научной молодежи со всего мира. КПП высоко оценил деятельность ОИЯИ в 2022 г. и

полученные научные результаты. Принята к сведению информация о выходе Польши, Украины и Чехии из ОИЯИ. Приостановлено членство Словакии.

Директор озвучил новые подходы к формированию и обновлению структуры Проблемно-тематического плана, новую структуру планирования и расходов бюджета ОИЯИ. Научная часть доклада включала результаты, полученные по основным направлениям исследовательской деятельности Института. Докладчик проинформировал об итогах работы служб главного инженера, а также о деятельности Департамента развития цифровых сервисов, о текущей ситуации по бюджету и работе бухгалтерии, работе с кадрами, юридическом отделе, Департаменте международного сотрудничества в 2022 г. Директор отметил активное развитие научных связей с Египтом, Сербией, Мексикой, Китаем и озвучил планы на 2023 г.

В обсуждении доклада приняли участие Р. В. Джолос, В. П. Ладыгин, И. Н. Мешков, В. Д. Кекелидзе, Б. Ю. Шарков.

НТС ОИЯИ единогласно поддержал выдвижение А. Е. Шиканова (НИЯУ МИФИ) на соискание почетного звания «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

В завершение заседания НТС состоялось вручение наград сотрудникам Института.

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

Среди научных конференций и рабочих совещаний, организованных ОИЯИ в 2022 г., наиболее крупными были 10.

С 29 по 31 марта в Лаборатории информационных технологий им. М. Г. Мещерякова прошла международная научная конференция *«Параллельные вычислительные технологии»*, 16-я по счету в серии ежегодных конференций, посвященных развитию и применению параллельных вычислительных технологий и машинного обучения в различных областях науки и техники. Ее организаторами являются Министерство науки и высшего образования РФ и суперкомпьютерный консорциум университетов России.

В работе конференции приняли участие более 110 ученых из Белоруссии, Бразилии, Египта, Монголии, Румынии, Словакии. Россия была представлена участниками из 40 университетов, исследовательских центров, компаний ИТ-ин-

дустрии и промышленности. В рамках конференции была организована работа 9 секций, на которых обсуждались вопросы, связанные с применением облачных, суперкомпьютерных и нейросетевых технологий в науке и технике, включая приложения, аппаратное и программное обеспечение, специализированные модели, языки, библиотеки и пакеты. Было представлено 7 пленарных, 38 секционных и 10 стендовых докладов.

На открытии выступил директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников с докладом об истории Института, его научной программе, настоящем и будущем. Он подчеркнул, что информационные технологии — одна из самых быстро развивающихся областей знаний, играющих огромную роль в реализации интересной амбициозной программы ОИЯИ. Директор ЛИТ им. М. Г. Мещерякова В. В. Кореньков подробно рассказал о состоянии и перспективах развития компью-

Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова, 29–31 марта.
Участники 16-й Международной конференции «Параллельные вычислительные технологии» (ПаВТ'2022)



терного комплекса ОИЯИ — Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК). Он также отметил, что ЛИТ предоставляет и будет предоставлять высококачественные ИТ-сервисы и поддержку ученым, участвующим в проектах ОИЯИ, как на территории Дубны, так и за ее пределами.

С большим интересом участники конференции восприняли доклад «Суперкомпьютерные технологии, искусственный интеллект и большие данные» В. В. Воеводина (НИВЦ МГУ), ведущего российского специалиста в области вычислительной техники, суперкомпьютерных технологий и параллельного программирования. Во время доклада была объявлена 36-я редакция списка Top50 самых мощных компьютеров СНГ (<http://top50.supercomputers.ru/list>).

На конференции прозвучали пленарные доклады, посвященные математическому моделированию с использованием суперкомпьютерных и параллельных технологий, в частности, К. А. Баркалов (ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород) рассказал о кинетическом моделировании реакции сернокислотного алкилирования изобутана олефинами с использованием асинхронного алгоритма глобальной оптимизации. А. Е. Чистяков (ДГТУ) в своем докладе представил методы и алгоритмы предсказательного моделирования последствий природных и техногенных катастроф на мелководных водоемах, таких как Азовское море, а также прогнозирования заилиения судоходных путей. И. Г. Черных (ИВМиМГ СО РАН) посвятил свой доклад суперкомпьютерному моделированию подсеточного процесса горения углерода в задачах эволюции белых карликов и взрыва сверхновых типа Ia или термоядерных сверхновых.

Свои доклады на конференции сделали представители ИТ-индустрии — ведущие производители и поставщики аппаратного и программного обеспечения, которые выступили ее спонсорами. Среди них: ЗАО «Карма Групп» и RSC Group. В этих докладах был дан анализ развития информационных технологий и представлены тенденции развития систем хранения, компьютерных коммуникаций, новых вычислительных архитектур, а также затронуты вопросы проектирования крупных вычислительных центров. Партнером конференции также выступила компания «Специальный технологический центр», а информационная поддержка была оказана центром PARALLEL.RU, газетой «Поиск» и журналом «CAD/CAM/CAE Observer».

Отдельная секция была посвящена объединенной суперкомпьютерной инфраструктуре (ОСИ). В сентябре прошлого года был подписан договор об объединении трех суперкомпьютеров (ОИЯИ, МСЦ РАН и СПбПУ) в единую масштабируемую научно-исследовательскую инфраструктуру на базе национальной исследовательской компьютерной сети России. Во время секции были представлены доклады о современных ИТ-решениях

для обеспечения центров коллективного пользования, реализации ОСИ на суперкомпьютере «Говорун» ОИЯИ, опыте использования ОСИ для генерации и реконструкции событий эксперимента MPD. Секция завершилась экскурсией на МИВК ЛИТ ОИЯИ.

В рамках конференции при финансовой поддержке ЗАО «Карма Групп» был организован конкурс докладов молодых ученых в возрасте до 30 лет (включительно). На первом этапе (заочном) программным комитетом были отобраны лучшие статьи из поступивших на конкурс. На втором этапе молодые ученые представили свои работы на молодежной секции. Жюри определило победителей конкурса, которым были вручены дипломы и денежные премии.

Во все дни работы конференции действовала суперкомпьютерная выставка, на которой компании RSC Group и ЗАО «Карма Групп» представили свои новейшие разработки в области высокопроизводительных вычислений.

Сильное впечатление на участников произвели автобусная обзорная экскурсия по Дубне с посещением значимых мест и экскурсия на интерактивную выставку «Базовые установки ОИЯИ» в Доме культуры «Мир», где они ознакомились с макетами базовых установок ОИЯИ и принципами их работы. На закрытии прозвучали слова благодарности оргкомитету за высокий уровень проведения конференции.

С 25 по 29 апреля в ЛНФ в формате видеоконференции проходила **5-я Международная конференция «Исследования конденсированных сред на реакторе ИБР-2»** с целью обсуждения полученных на установках ИБР-2 результатов, перспектив развития дальнейших исследований и экспериментальной базы. В конференции приняли участие более 160 исследователей из 18 стран. Научная тематика охватывала широкий спектр направлений исследований с использованием рассеяния нейтронов на реакторе ИБР-2, включая физику конденсированного состояния, материаловедение, химию, биофизические, геофизические, инженерные науки, исследования в области культурного наследия и др. Было представлено 12 пленарных докладов, 46 устных и 75 постеров.

Текущий статус и планы по модернизации исследовательского реактора ИБР-2 были детально рассмотрены в докладе директора ЛНФ В. Н. Швецова, который открыл работу конференции. Д. П. Козленко (ЛНФ) представил в докладе обзор текущего состояния комплекса спектрометров для исследования конденсированных сред на импульсном реакторе ИБР-2 и планы по его дальнейшему развитию. В заключительном докладе вступительной секции А. Корсунский (Оксфордский университет, Великобритания, и Сколковский институт науки и технологий, РФ) познакомил слушателей конференции с уникальными возможностями исследования иерархических структур функциональных материалов с помо-

стью использования взаимодополняющих методов рассеяния нейтронов, рентгеновских лучей и электронной микроскопии.

Секция «Функциональные и наноструктурированные материалы» была открыта приглашенным докладом члена-корреспондента РАН С. В. Стрельцова (ИФМ УрО РАН), в котором рассматривались теоретические основы новых физических эффектов в соединениях переходных металлов, связанных со спин-орбитальным взаимодействием, и их взаимосвязь с магнитными и структурными свойствами. Приглашенные докладчики С. В. Рогожкин (НИЯУ МИФИ) и В. Т. Лебедев (ПИЯФ НИЦ КИ) представили результаты использования комплементарного анализа наноструктур в конструкционных материалах и исследований эффекта сжатия атомов лантаноидов в Lp-эндофуллеренолах и их упорядочения в растворах. В устных докладах секции исследователи из МГУ, ИМЕТ УрО РАН, ПИЯФ НИЦ КИ, ЛНФ ОИЯИ, РГП ИЯФ (Казахстан) доложили о результатах исследований структурных свойств широкого круга функциональных и наноструктурированных материалов, включая мультиферроики, гидриды, сложные магнитные оксиды, ван-дер-ваальсовские магнетики, протонпроводящие мембраны с наноалмазами для топливных элементов, материалы для компактных источников тока и солнечных батарей.

В секции, посвященной развитию методов рассеяния нейтронов и техники нейтронного эксперимента, в приглашенном докладе С. В. Григорьева (ПИЯФ НИЦ КИ) был представлен проект компактного источника нейтронов DARIA, предназначенного для научных исследований и промышленного применения. В устных докладах участники секции из ЛНФ, ПИЯФ НИЦ КИ, ИЯИ РАН обсудили перспективные разработки в области создания нейтронных детекторов различного типа, систем сбора данных, вопросы, связанные с разработкой и оптимизацией различных вариантов холодного замедлителя для нового источника нейтронов ЛНФ ОИЯИ.

В секции мягких конденсированных сред А. Ангелова (Университет Париж-Сакле, Франция) сделала приглашенный доклад, посвященный исследованиям липидных нанопереносчиков лекарств для доставки натуральных нейтропротекторов. В последующих устных докладах исследователи из ПИЯФ НИЦ КИ, МФТИ, ЛНФ, Института химии АНМ (Молдова), Центра энергетических исследований (Венгрия) представили результаты исследований разнообразных белковых, липидных, мицеллярных наносистем, биогибридных наноконплексов и полимеров.

В секции магнитных наноматериалов большой интерес вызвала приглашенная лекция С. Канторович (Венский университет, Австрия) о магнитомягких материалах, современном состоянии и новых тенденциях в этой области исследований. В докладах участников из Университета Бухареста (Румыния), СПбГУ, ПИЯФ НИЦ КИ,

ИМЕТ УрО РАН, ЛНФ обсуждались результаты исследований магнитных свойств феррожидкостей, слоистых наносистем, сложных биологических нанообъектов.

В секции по исследованиям внутренних напряжений и текстуры в материалах приглашенный доклад В. Т. Эма (НИЦ КИ) был посвящен обзору современного состояния и перспектив развития методов нейтронной стресс-дифрактометрии. Участники из Института электроники БАН (Болгария), ЛНФ, ТулГУ представили результаты исследований текстуры и напряжений в конструкционных материалах, горных породах и минералах.

В секции исследований в области культурного наследия С. Е. Кичанов (ЛНФ), И. А. Сапрыкина (ИА РАН), Б. А. Бакиров (КФУ и ЛНФ) обсудили основные направления исследований с помощью применения методов нейтронной радиографии и томографии на реакторе ИБР-2 и результаты анализа внутреннего строения античных и средневековых монет.

В программу конференции была включена новая секция по применению взаимодополняющих методов исследования конденсированных сред, использование которых может стать актуальным в связи с временной остановкой реактора ИБР-2 по техническим причинам. А. С. Дорошкевич (ЛНФ) представил обзор возможностей и важнейших результатов исследований конденсированных сред на ускорителе ЭГ-5. А. Савин и Р. Стейманн из Национального института исследований и разработок в области технической физики (Румыния) ознакомили слушателей с возможностями использования электромагнитного метода для оценки степени дефектности цилиндрических изделий и результатами микроволновых измерений биологических тканей. В целом участники оценили научный и технический уровень проведения конференции как стабильно высокий.

4–8 июля в Санкт-Петербурге проходило **совещание по физике тяжелых ионов**, организованное Лабораторией ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ, в рамках которого 4 июля состоялось выездное заседание Совета РАН по физике тяжелых ионов. Совещание было приурочено к 65-летию ЛЯР. В мероприятии приняли участие представители ядерно-физического сообщества российских научных институтов и университетов, студенты МГУ и СПбГУ, а также научные сотрудники институтов ГК «Росатом».

Совещание было посвящено теоретическим, экспериментальным и технологическим проблемам использования тяжелых ионов для изучения свойств атомных ядер. Значительная часть докладов была посвящена тематике исследований, проводимых на фабрике сверхтяжелых элементов ОИЯИ. Были также рассмотрены вопросы, связанные с текущими работами по проекту сотрудничества институтов «Росатома» и ОИЯИ в рамках федерального проекта комплексной

программы развития атомной науки и технологий.

О промежуточных итогах выполнения гранта Министерства науки и высшего образования РФ «Сверхтяжелые ядра и атомы: пределы масс ядер и границы Периодической таблицы Д. И. Менделеева» за 2020–2022 гг. доложил ученый секретарь ЛЯР, заместитель руководителя работ по

гранту А. В. Карпов. В рамках отчета по гранту также прозвучал доклад директора ЛИТ В. В. Коренькова, посвященный цифровым платформам и квантовым вычислениям для научных проектов ОИЯИ. Начальник сектора ЛЯР В. К. Утенков выступил с докладом «Фабрика сверхтяжелых элементов: результаты и перспективы», а заведующий кафедрой СПбГУ В. М. Шабаев сделал об-

Санкт-Петербург, 4–8 июля. Лауреаты премии им. Г. Н. Флерова и участники совещания по физике тяжелых ионов и выездного заседания Совета РАН по физике тяжелых ионов



зор исследований, выполняемых группой СПбГУ по исследованию атомных и химических свойств сверхтяжелых элементов.

Особым пунктом в программе совещания стало вручение премии им. Г. Н. Флерова трем выдающимся ученым — сотрудникам Радиевого института им. В. Г. Хлопина: А. А. Римскому-Корсакову (вручена вдове С. В. Римской-Корсаковой), Л. А. Плескачевскому, С. В. Хлебникову.

Совет РАН под председательством научного руководителя ЛЯР академика Ю. Ц. Оганесяна рассмотрел ряд вопросов, связанных с развитием инфраструктуры и исследований в области физики тяжелых ионов.

На открытии заседания Совета директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников представил собравшимся Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. Вице-директор ОИЯИ член-корреспондент РАН В. Д. Кекелидзе выступил с докладом о ходе реализации мегасайенс-проекта NICA и об актуальных планах, связанных с экспериментальной программой комплекса. Концепцию создания и развития Инновационного центра ОИЯИ представил вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев.

С 6 по 8 июля в Лаборатории информационных технологий им. М. Г. Мещерякова в смешанном формате прошел 6-й *Международный семинар «Глубокое обучение в вычислительной физике» (DLCP-2022)*. Семинар был организован совместно с Научно-исследовательским институтом ядерной физики им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ).

Семинар был посвящен использованию машинного обучения в астрофизике элементарных частиц и физике высоких энергий, но не ограни-

чился этими областями: также обсуждались как современные методы машинного обучения в целом, так и их применение в естественных науках и образовании.

В работе приняли участие более 130 ученых (90 — очно, более 40 — дистанционно) из научных центров Индии, Казахстана, Монголии, Польши, Румынии, Сербии, Словакии, Турции, Узбекистана. Россия была представлена участниками из 15 университетов и исследовательских центров. В рамках семинара была организована работа 5 секций, одна из которых была постерной. Было представлено 7 пленарных и 34 секционных докладов, а также 7 постеров.

Открыл семинар директор ЛИТ В. В. Кореньков, он рассказал о развиваемой в лаборатории ИТ-экосистеме, которая включает в себя платформу для высокопроизводительных вычислений, сбора и хранения данных, анализа больших данных с применением методов искусственного интеллекта, в частности глубокого обучения. Докладчик также подчеркнул, что в рамках компьютинга для различных исследований, проводимых в ОИЯИ, существует огромное количество задач, связанных с машинным и глубоким обучением.

Г. А. Ососков, который заложил основы применения методов машинного обучения для задач ОИЯИ, в частности в физике высоких энергий, представил очень интересный доклад об истории формирования подходов для решения задач с помощью искусственных нейронных сетей и их применении в задачах реконструкции траекторий заряженных частиц в экспериментах физики высоких энергий, анализа данных ядерных реакций, прогнозирования скорости потока жидкого азота во время работы реактора, определения болезней растений и др.

Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова, 6–8 июля.

Участники 6-го Международного семинара «Глубокое обучение в вычислительной физике» (DLCP-2022)



Представители НИИЯФ МГУ рассказали о своих проектах, в которых активно применяют методы машинного обучения. Подробный доклад об истории и основных областях применения глубоких нейронных сетей в эксперименте CMS на LHC (ЦЕРН) сделал Л. В. Дудко. Л. А. Кузьмичев выступил с обзорным докладом об астрофизическом комплексе TAIGA, а сопредседатель семинара А. П. Крюков — о методах машинного обучения для анализа данных эксперимента TAIGA, в том числе для моделирования событий, идентификации частиц и реконструкции спектра гамма-энергии.

Доклад О. И. Стрельцовой (ЛИТ) был посвящен разрабатываемой совместно с коллегами из ЛРБ информационной системе (ИС) для анализа данных радиобиологических исследований, проводимых в ОИЯИ. Алгоритмический блок ИС основан на методах машинного и глубокого обучения, а также компьютерного зрения.

М. И. Зуев (ЛИТ) рассказал о предоставляющей новые возможности для прикладных исследований ML/DL/HPC-экосистеме, развернутой на гетерогенной платформе HybriLIT. Большой интерес вызвал доклад А. В. Ильиной (ЛИТ) об аналитической платформе для анализа рынка труда.

Ряд пленарных докладов сделали представители ИТ-индустрии, которые выступили спонсорами конференции: Softline, RSC Group, IT Cost. В докладах были представлены анализ развития информационных технологий и особенности перехода на российские ИТ-продукты.

С 18 по 21 июля в Дубне проходила *Международная конференция по квантовой теории поля, физике высоких энергий и космологии*. Она была организована ЛТФ ОИЯИ совместно с ИЯИ РАН и НИИЯФ МГУ.

Благодаря усилиям сопредседателей конференции — Д. И. Казакова (ЛТФ ОИЯИ), В. А. Рубакова (ИЯИ РАН) и Э. Э. Бооса (НИИЯФ МГУ) — в стенах ЛТФ ОИЯИ удалось собрать более 180 специалистов в разных областях современной теоретической физики. Обширная тематика конференции охватывала проблемы квантовой теории поля и гравитации, темной материи и космологии, ускорительной и неускорительной физики. Кроме того, особое внимание уделялось физике нейтрино, трехмерной структуре адронов, а также квантовой хромодинамике при высоких температурах и плотностях.

Конференция оказалась представительной и результативной. В ней приняли участие ученые из Казани, Москвы, Новосибирска, Протвино, Ростова-на-Дону, Самары, Санкт-Петербурга, Томска и Ярославля (Россия), а также из Болгарии, Индии, Ирландии и Франции. С обзорными докладами выступили известные специалисты в физике частиц, гравитации и космологии: К. А. Постнов (ГАИШ МГУ), Д. С. Горбунов (ИЯИ РАН), С. В. Троицкий (ИЯИ РАН), Р. Н. Ли (ИЯФ СО РАН), А. Г. Мягков (НИЦ КИ – ИФВЭ), А. Г. Ольшевский (ОИЯИ) и А. В. Леонидов (ФИАН).

Интерес к конференции оказался столь велик, что при регистрации было заявлено более 180

Липня (Иваньковское водохранилище), 15–17 июля.

Участники 26-й Летней школы молодых ученых и специалистов ОИЯИ «Липня-2022»





устных докладов, и оргкомитет приложил максимум усилий, чтобы большинство из них попало в расписание. Было организовано пять параллельных секций по тематикам конференции. В течение четырех дней на них выступили 135 человек, большинству из которых удалось приехать в Дубну лично. Нельзя не отметить и значительное число молодых ученых среди участников конференции. Многие из них получили возможность выступить и обсудить свои результаты как на заседаниях конференции, так и в более неформальной обстановке. Для студентов старших курсов была организована отдельная постерная секция, совмещенная с перерывами на кофе.

Широкий спектр докладов по актуальным темам, несомненно, способствовал многочисленным и в некоторых случаях жарким дискуссиям, обмену идеями и налаживанию научных связей. Участники конференции отметили высокий уровень организации, а также теплую и дружескую атмосферу мероприятия.

Труды конференции будут опубликованы в журнале «Письма в ЭЧАЯ». Более подробную информацию о конференции и файлы докладов можно найти на сайте <https://indico.jinr.ru/e/qft2022>.

С 20 по 25 сентября в пансионате «Дубна» (Алушта) проходил традиционный **14-й Международный семинар памяти В. П. Саранцева «Проблемы коллайдеров и ускорителей заряженных частиц»**. Семинар в Алуште проводится с 2005 г. Мероприятие организовано совместно Объединенным институтом ядерных исследований, Институтом ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

и Научным советом Российской академии наук по проблеме ускорителей заряженных частиц.

Семинар нацелен на обмен информацией, обсуждение вопросов ускорительной науки и техники, физики пучков заряженных частиц, разработки новых проектов лептонных и адронных коллайдеров, усовершенствования действующих установок, использования ускорителей для научных и прикладных целей, привлечения молодых ученых к решению проблем ускорительной техники. Широко обсуждались текущий статус мегасайенс-проекта NICA и синхротрона СКИФ. 23 сентября, в день рождения В. П. Саранцева, в программе семинара был запланирован памятный доклад «Штрихи к портрету ученого».

Всего за время работы семинара было представлено 49 устных и 62 постерных доклада. Среди докладчиков — представители крупнейших ускорительных центров России.

По мнению организаторов, семинар при его международном статусе является в значительной степени форумом, где представляют свои последние результаты все российские ускорительные центры. Кроме того, интерес к нынешнему семинару связан с тем, что он проходит на фоне повышающейся роли отечественных производителей ускорительной техники. Избранные доклады семинара будут опубликованы в журнале «Письма в ЭЧАЯ» на русском и английском языках.

С 10 по 14 октября в Международном математическом институте им. Л. Эйлера в Санкт-Петербурге проходила традиционная **7-я Международная конференция «Модели в квантовой теории поля»**, посвященная 82-летию со дня рождения

Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 21 октября.
Международный научный семинар «Познание материй через каоны и барионы»,
посвященный 75-летию юбилею вице-директора ОИЯИ, члена-корреспондента РАН В. Д. Кекелидзе





профессора А. Н. Васильева и 80-летию со дня рождения профессора В. Д. Ляховского. Конференцию организовали Санкт-Петербургский государственный университет совместно с ОИЯИ, Международным математическим институтом им. Л. Эйлера и Петербургским институтом ядерной физики им. Б. П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт».

Ее программа охватывала широкий спектр проблем теоретической и математической физики. В пленарных и секционных докладах были представлены результаты и новейшие научные достижения в изучении задач физики высоких энергий и сложных стохастических классических систем методами квантовой теории поля.

В открывающем пленарном докладе профессор М. Гнатич (ОИЯИ) рассказал о выдающемся вкладе профессора А. Н. Васильева в развитие методов квантовой теории поля при исследовании фазовых переходов, турбулентности, явлений переноса и других родственных задач и последующем развитии его идей в работах его учеников и последователей, образовавших уникальную «школу Васильева». Во втором пленарном докладе профессор Д. И. Казаков (ОИЯИ) доложил о полученных им и его учениками новейших достижениях в исследовании неперенормируемых теорий, а профессор Э. Ахметов (МФТИ и ИТЭФ) рассказал об аналитических свойствах корреляционных функций в пространствах Минковского и де Ситтера.

Темы, относящиеся к физике элементарных частиц, квантовой гравитации, физике черных дыр, были освещены в пленарных докладах профессоров И. Арефьевой (МИАН), В. Шабаева (СПбГУ), В. Брагуты (ОИЯИ), И. Бухбиндера (ТГПУ), Д. Горбунова (ИЯИ РАН), А. Гриба (РГПУ), С. Пастона (СПбГУ). Об особенностях решения стохастических задач классической и квантовой физики методами квантовой теории поля доложили профессора Ю. Письмак (СПбГУ), М. Налимов (СПбГУ и ОИЯИ), К. Визе (ЛТФ и ВНШ, Париж). В последний день конференции прозвучали доклады из области математической физики профессоров А. Исаева (ОИЯИ), А. Ляховской (Федеральная политехническая школа, Лозанна) и С. Деркачева (ПОМИ РАН). В дополнение к этим 16 пленарным докладам было представлено 82 секционных доклада. Высокий научный уровень и содержательность представленных результатов являются типичными для регулярных конференций, посвященных выдающемуся ученому и педагогу, профессору СПбГУ А. Н. Васильеву. Участникам конференции был вручен сборник воспоминаний о нем, выпущенный издательским отделом ОИЯИ.

Неожиданно высокое число участников, а их было свыше 130, свидетельствует об огромном интересе к тематике конференции. Значительную часть присутствующих составляли молодые ученые, аспиранты и даже студенты магистратур разных университетов. В работе конференции принимали участие ученые из Белоруссии, Бра-

зилии, Вьетнама, Германии, Монголии, России, Словакии, Франции и Японии.

21 октября в конференц-зале ЛФВЭ состоялся международный научный семинар *«Познание материй через каоны и барионы»*, посвященный 75-летию вице-директора ОИЯИ, руководителя мегасайенс-проекта NICA Владимира Димитриевича Кекелидзе. В этот день в его адрес из уст учеников и соратников прозвучало множество теплых слов. В представленных докладах много говорилось об экспериментах и проектах, которые в разные годы возглавлял от ОИЯИ юбиляр.

Директор ОИЯИ академик РАН Г. В. Трубников вручил юбиляру медаль ГК «Росатом» «За заслуги в развитии международного сотрудничества в атомной отрасли». Вице-директор ОИЯИ Л. Костов в своей речи обозначил неоспоримый вклад В. Д. Кекелидзе в такие области современной экспериментальной физики, как изучение элементарных частиц, процессов рождения и распадов адронов и многое другое.

В торжественной части семинара прозвучали поздравления директора ЛИТ ОИЯИ В. В. Коренькова, заместителя директора ЛФВЭ по научной работе А. С. Сорина, ректора НИЯУ МИФИ В. И. Шевченко, главного научного сотрудника Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ А. А. Петрухина. От имени коллектива ЛФВЭ юбиляра поздравили и. о. директора ЛФВЭ А. В. Бутенко и начальник отделения физики на встречных пучках ЛФВЭ Д. В. Пешехонов. Директор НИИЯФ МГУ Э. Э. Боос поблагодарил В. Д. Кекелидзе за многолетнюю поддержку сотрудничества, в частности в области сооружения детекторов NICA. Было зачитано поздравление от Агентства по ядерному регулированию Болгарии и от белорусских коллег из ООО «SOL instruments» — организации, задействованной в проектах LHC и NICA.

На семинаре прозвучали научные доклады. Академик РАН И. Н. Мешков рассказал об истории замысла и этапах создания мегасайенс-проекта NICA. Трех основным детекторам комплекса были посвящены доклады ведущего научного сотрудника лаборатории релятивистской ядерной физики ПИЯФ НИЦ КИ В. Г. Рябова (MPD), начальника научно-экспериментального отдела встречных пучков ЛЯП А. В. Гуськова (SPD), начальника отдела барионной материи на нуклотроне ЛФВЭ М. Н. Капишина («От физики на HERA к физике на VM@N»). Председатель Программно-консультативного комитета ОИЯИ по физике частиц И. Церруя (Институт Вейцмана, Израиль) дистанционно представил доклад «Дилептоны на NICA: вызовы и возможности», Е. Гудзовский (Бирмингемский университет, Великобритания) по видеоконференцсвязи рассказал о вызовах в экспериментах с каонами, а П. Христов (ЦЕРН) — о мультикварковых состояниях.

24–28 октября в ЛИТ в смешанном формате проходила *26-я Международная конференция молодых ученых и специалистов (ОМУС-2022)*.

В очном порядке в конференции приняли участие около 150 молодых ученых из дальнего зарубежья и стран-участниц, более 90 присоединились удаленно.

На совещании были представлены лекции о последних теоретических, экспериментальных и прикладных исследованиях, проводимых по всему миру, а также об основных результатах, полученных в ОИЯИ. Программа конференции включала в себя обзорные лекции по нейтринной астрономии, наукам о жизни, нейронным сетям, физике частиц, современным теоретическим проблемам, статусу эксперимента MPD, ускорительным комплексам NICA и ЛЯР. Состоялись две постерные сессии, одна из которых была проведена в онлайн-формате.

Были организованы очные экскурсии в несколько лабораторий Института — ЛНФ, ЛФВЭ, ЛЯР, ЛРБ, ЛИТ, а также на интерактивную экспозицию по установкам ОИЯИ в ДК «Мир». Удаленным участникам была предоставлена возможность познакомиться с деятельностью ОИЯИ в формате онлайн-экскурсии на базовые установки.

За время конференции молодыми учеными были представлены порядка 150 устных докладов в разных тематических секциях, 20 (10) постерных докладов в очной (онлайн) сессии. Председателями секций и жюри были отобраны лучшие доклады по разным направлениям. Победители награждены почетными грамотами и рюкзаками с символикой конференции.

С 14 по 19 ноября в ЛИТ проходила *1-я Осенняя школа по информационным технологиям ОИЯИ*. Она стала первым этапом в проведении серии школ по информационным технологиям ОИЯИ.

Эта школа направлена на вовлечение молодых специалистов в решение задач из различных областей науки с применением современных информационных технологий. Участие в ней приняли более 60 студентов старших курсов из 13 университетов России, в том числе из вузов, где действуют инфоцентры Института. Преподавателями школы выступили сотрудники ЛИТ, а также приглашенные лекторы из других лабораторий Института и университетов России. Каждый день был посвящен одному из направлений ИТ, которые развиваются и применяются в проектах ОИЯИ.

Школу открыл директор ЛИТ В. В. Кореньков. В приветственной речи он отметил, что школа предполагает длительное сотрудничество студентов с Институтом, которое будет способствовать их профессиональной подготовке как специалистов очень высокого уровня.

Директор ОИЯИ Г. В. Трубников познакомил слушателей со стратегией развития ОИЯИ на ближайшие семь лет и ведущими проектами Института. В. В. Кореньков посвятил свой доклад статусу и перспективам развития ЛИТ им. М. Г. Мещерякова, включая Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс (МИВК)

Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова, 24–28 октября.
Участники 26-й Международной конференции молодых ученых и специалистов



Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова, 14–19 ноября.
1-я Осенняя школа по информационным технологиям ОИЯИ



ОИЯИ. Директор НИВЦ МГУ и филиала МГУ в Сарове В. В. Воеводин, ведущий российский специалист в области вычислительной техники, суперкомпьютерных технологий и параллельного программирования представил доклад о существующих в мире суперкомпьютерных системах и особенностях строения алгоритмов. Профессор Р. Л. Смелянский (ВМК МГУ) рассказал о тенденциях развития вычислительной инфраструктуры, а А. И. Аветисян (ИСП РАН) выступил с лекцией «Компьютерная безопасность, защищенное ПО».

В рамках школы состоялась презентация модернизированного суперкомпьютера «Говорун», чья производительность выросла на 23,5% и достигла уровня 1,1 Пфлопс. А. А. Московский (ЗАО «РСК Технологии») рассказал о создании, модернизации и технологиях, используемых в суперкомпьютере «Говорун», а Д. В. Подгайный (ЛИТ) — о задачах, решаемых на СК «Говорун».

В другие дни работы школы ее участники узнали о распределенных и высокопроизводительных вычислениях для решения задач на ускорительном комплексе NICA и Нейтринной программе ОИЯИ. Д. А. Олейник (ЛИТ) познакомил слушателей школы с основами обработки данных для экспериментов физики высоких энергий (ФВЭ), И. С. Пелеванюк (ЛИТ) рассказал о распределенных вычислениях на базе платформы DIRAC. К. В. Герценбергер и О. В. Рогачевский (ЛФВЭ) прочитали лекции об информационных сервисах сопровождения эксперимента VM@N и компьютинге для эксперимента MPD на коллайдере NICA. Это направление было также раскрыто в лекциях Я. Буша (мл.) «Автоматизация сборки больших пакетов на примере MPDRoot» (MPDRoot — платформа для моделирования и анализа данных эксперимента MPD), Ф. В. Прокошина (ЛЯП), который поделился планами по использованию каталога событий «EventIndex», реализованного для эксперимента ATLAS на LHC, и по его адаптации для установки SPD на коллайдере NICA, и А. С. Жемчугова (ЛЯП), рассказавшего о пакете моделирования Geant4.

Направление «Математическое моделирование, численные методы и алгоритмы для решения прикладных задач ОИЯИ» открыл Ю. Л. Калиновский (ЛИТ), который рассказал о моделировании физических процессов в плотной и горячей ядерной среде. Д. Годеридзе (ЛИТ) познакомил студентов с параллельной реализацией таких алгоритмов. О. Григорян (ЛИТ) и А. С. Айриян (ЛИТ) посвятили свою лекцию моделированию нейтронных звезд с использованием нейросетевого подхода, а И. Р. Рахмонов (ЛТФ) — математическому моделированию гибридных джозефсоновских структур, состоящих из сверхпроводников и магнетиков. В рамках данного направления студенты приняли участие в практическом занятии по инструментарию на основе Python-библиотеки и экосистемы Jupyter для решения научных и прикладных задач, подготовленном группой гетерогенных вычислений ЛИТ ОИЯИ совмест-

но с сотрудниками из лабораторий Института (А. Р. Рахмоновой, А. С. Воронцовым, А. В. Нечевским, И. Р. Рахмоновым, М. В. Башашиным, М. И. Зуевым, О. И. Стрельцовой, Ю. А. Бутенко).

Направление «Машинное обучение и искусственный интеллект для решения прикладных и научных задач ОИЯИ» было представлено лекциями профессора Г. А. Ососкова (ЛИТ) «Прикладные аспекты в задачах ФВЭ», А. В. Ужинского (ЛИТ) «Машинное обучение в прикладных задачах, решаемых в ЛИТ» и В. В. Папояна (ЛИТ) «Методы машинного обучения в задачах идентификации частиц».

Последний день школы был посвящен аналитике больших данных. П. В. Зрелов (ЛИТ) познакомил участников школы с тематикой направления, С. Д. Белов (ЛИТ) и А. А. Артамонов (заведующий кафедрой анализа конкурентных систем НИЯУ МИФИ) рассказали о технологиях аналитики больших данных и их практическом применении. На занятиях, проведенных Е. В. Антоновым, М. С. Улизко и Р. Р. Тукумбетовой (НИЯУ МИФИ), студенты получили представление о платформе аналитики и визуализации данных «Kibana» и поисковой системе «ElasticSearch».

Специально для участников школы были сделаны доклады о социальной инфраструктуре ОИЯИ (А. В. Тамонов, УСИ), об образовательной программе Института (А. Ю. Верхеев, УНЦ) и о деятельности ОМУС ОИЯИ (В. А. Рожков, ЛЯП).

Для участников школы были организованы увлекательные экскурсии на интерактивную выставку «Базовые установки ОИЯИ» в Доме культуры «Мир», где они смогли увидеть макеты базовых установок ОИЯИ и узнать принципы их работы, на фабрику сверхпроводящих магнитов в ЛФВЭ, в зал суперкомпьютера «Говорун» и МИВК ОИЯИ в ЛИТ, а также обзорная экскурсия по Дубне.

В завершение каждого дня школы проводились дискуссии между студентами и преподавателями. Студенты задавали вопросы по материалам лекций и занятий, обсуждали возможную совместную работу по темам выпускных квалификационных работ. На закрытии школы всем участникам были вручены именные сертификаты.

Презентации лекций, фото и видеоматериалы размещены на сайте школы <http://itschool.jinr.ru> в разделе «Осенняя школа по информационным технологиям ОИЯИ».

Конференции, школы, совещания, проведенные ОИЯИ в 2022 г.*

Номер	Наименование	Место проведения	Время проведения	Количество участников
1.	55-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред (онлайн)	Дубна	20–21 января	68
2.	56-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц (онлайн)	Дубна	24 января	31
3.	Международная студенческая практика (для ЮАР, онлайн)	Дубна	24 января – 4 февраля	27
4.	55-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике (онлайн)	Дубна	27 января	25
5.	17-я Международная зимняя школа DIAS-TH «Суперсимметрия и интегрируемость» (смешанный формат)	Дубна	31 января – 4 февраля	83
6.	20-я Международная стажировка «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-20)	Дубна	14–18 февраля	13**
7.	32-е заседание объединенного комитета по сотрудничеству IN2P3–ОИЯИ (онлайн)	Дубна	18 февраля	16
8.	131-я сессия Ученого совета ОИЯИ (смешанный формат)	Дубна	24–25 февраля	62
9.	Международная студенческая практика (Египет)	Дубна	28 февраля – 25 марта	29**
10.	Научный семинар, посвященный 65-летию со дня рождения профессора А. П. Исаева	Дубна	11 марта	110
11.	16-я Международная конференция «Параллельные вычислительные технологии» (ПАВТ'2022)	Дубна	29–31 марта	121
12.	Международное рабочее совещание по физике элементарных частиц и ядерной физике	Алма-Ата, Казахстан	24–30 апреля	42
13.	9-е коллаборационное совещание по эксперименту MPD на установке NICA (смешанный формат)	Дубна	25–27 апреля	145
14.	5-я Международная конференция «Исследование конденсированных сред на реакторе ИБР-2» (онлайн)	Дубна	25–29 апреля	160
15.	Заседание Финансового комитета ОИЯИ (смешанный формат)	Дубна	23 мая	46
16.	Сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (смешанный формат)	Дубна	25 мая	97
17.	Праздничные мероприятия, посвященные 65-летию Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова	Дубна	25–27 мая	402
18.	11-я научная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ (Алушта-2022)	Алушта	5–12 июня	71
19.	Международное научное совещание, посвященное 20-летию участия ОИЯИ в программе «Физика с димьюонами» эксперимента CMS на LHC	Дубна	23–24 июня	73
20.	11-я Международная научная школа для учителей физики	Дубна	26 июня – 2 июля	21
21.	4-я Международная летняя школа молодых ученых «Современные информационные технологии для научных и прикладных задач»	Владикавказ, Россия	29 июня – 1 июля	100
22.	34-я Летняя международная компьютерная школа (МКШ-2022)	Дубна (Ратмино)	3–18 июля	55
23.	Совещание по физике тяжелых ионов (с заседанием Совета РАН по физике тяжелых ионов)	Санкт-Петербург, Россия	4–8 июля	150
24.	6-й Международный семинар «Глубокое обучение в вычислительной физике» (DLCP-2022)	Дубна	6–8 июля	113

* Ряд конференций проведен совместно с другими организациями.

** Без участников от ОИЯИ.

Номер	Наименование	Место проведения	Время проведения	Количество участников
25.	18-я Международная конференция «Методы симметрии в физике» (SYMPHYS-XVIII)	Ереван, Армения	10–16 июля	80
26.	26-я Летняя школа молодых ученых и специалистов ОИЯИ («Липня-2022»)	о. Липня (Тверская обл.)	15–17 июля	90
27.	Многопрофильная школа-семинар «Летняя школа» (в рамках школы с 16 по 26 июля проводилась мастерская «105-й элемент»)	База отдыха «Волга» (Тверская обл.)	16 июля – 20 августа	1300
28.	Международная конференция по квантовой теории поля, физике высоких энергий и космологии (смешанный формат)	Дубна	18–21 июля	184
29.	Московская международная школа физики – 2022	Дубна	24 июля – 2 августа	108
30.	Международное совещание «Суперсимметрии и квантовые симметрии» (SQS'22)	Дубна	8–13 августа	65
31.	Научная школа для слушателей детского университета при Академии научных исследований и технологий Египта	Дубна	12–16 сентября	15**
32.	9-е коллаборационное совещание по эксперименту VM@N на установке NICA (смешанный формат)	Дубна	13–16 сентября	127
33.	Виртуальное совещание IMP и ЛЯР ОИЯИ по исследованию сверхтяжелых элементов	Дубна–Ланьчжоу (Китай)	15 сентября	23
34.	14-й Международный семинар памяти В. П. Саранцева «Проблемы коллайдеров и ускорителей заряженных частиц. Ускорители для прикладных целей» (смешанный формат)	Алушта	20–25 сентября	112
35.	132-я сессия Ученого совета ОИЯИ	Дубна	29–30 сентября	63
36.	3-е совещание коллаборации SPD	Дубна	3–6 октября	100
37.	Научная школа для учителей физики Приморского края	Дубна	3–7 октября	10**
38.	3-е Международное совещание «Решеточные и функциональные техники в КХД»	Санкт-Петербург, Россия	10–14 октября	60
39.	7-я Международная конференция «Модели в квантовой теории поля»	Санкт-Петербург, Россия	10–14 октября	134
40.	Международная конференция «Современные проблемы конденсированных сред»	Дубна	17–22 октября	89
41.	Международный семинар «Познание материй через каоны и барионы», посвященный 75-летию члена-корреспондента РАН В. Д. Кекелидзе (смешанный формат)	Дубна	21 октября	250
42.	Конференция «Перспективы исследований сверхтяжелых элементов»	Дилижан, Армения	22–27 октября	12
43.	26-я Международная конференция молодых ученых и специалистов (ОМУС-2022)	Дубна	24–28 октября	356
44.	Юбилейная конференция «Актуальные проблемы радиационной биологии. К 60-летию создания Научного совета РАН по радиобиологии» (смешанный формат)	Дубна	25–27 октября	100
45.	Совещание рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам	Дубна	25 октября	25
46.	Юбилейный семинар, посвященный 65-летию Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка (смешанный формат)	Дубна	28 октября	100
47.	Рабочее совещание по теоретической физике	Каир/Гиза, Египет	29 октября – 2 ноября	25

Номер	Наименование	Место проведения	Время проведения	Количество участников
48.	21-я Международная стажировка «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-21)	Дубна	7–11 ноября	22**
49.	10-е коллаборационное совещание по эксперименту MPD на установке NICA (смешанный формат)	Дубна	8–10 ноября	166
50.	1-я Осенняя школа по информационным технологиям ОИЯИ (смешанный формат)	Дубна	14–18 ноября	110
51.	Заседание Финансового комитета ОИЯИ (смешанный формат)	Хургада, Египет	21 ноября	68
52.	Сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (смешанный формат)	Хургада, Египет	23 ноября	82
53.	12-е совещание объединенного координационного комитета по сотрудничеству Египет–ОИЯИ	Хургада, Египет	24 ноября	18
54.	Рабочее совещание коллаборации «Байкал»	Дубна	5–9 декабря	55
55.	Научная школа для учащихся Ямало-Ненецкого автономного округа	Дубна	5–9 декабря	37
56.	Семинар, посвященный 85-летию со дня рождения В. Г. Кадышевского	Дубна	15 декабря	90

Проводились заседания Научно-технического совета ОИЯИ (6).

ОИЯИ был одним из организаторов Международного онлайн-семинара по методам анализа и обработки данных в экспериментах на ускорительном комплексе NICA (NICA-2022), 22-й Байкальской летней школы по физике элементарных частиц и астрофизике, Естественно-научной школы на Камчатке, 29-го Международного семинара «Нелинейные явления в сложных системах», 4-го Международного научного форума «Ядерная наука и технологии» и других мероприятий.

Были также проведены: Дни физики – 2022, стажировка молодых ученых стран СНГ, студенческая программа (исследовательская подготовка — START), технический хакатон «Дубна-2022», открытый турнир по робототехнике «CyberDubna-2022».



ИННОВАЦИОННАЯ
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В 2022 г. были сделаны важнейшие практические шаги по реализации флагманской инициативы Института в развитии инфраструктуры R&D — созданию Инновационного центра ядерно-физических исследований в сфере радиационной биологии, биомедицинских технологий, радиационного материаловедения, а также экологии и информационных систем, в рамках которого у исследователей и разработчиков появится доступ к пользовательской инфраструктуре и новым установкам, имеющим значительный потенциал с точки зрения получения прикладных результатов и разработки новых технологий, таким как:

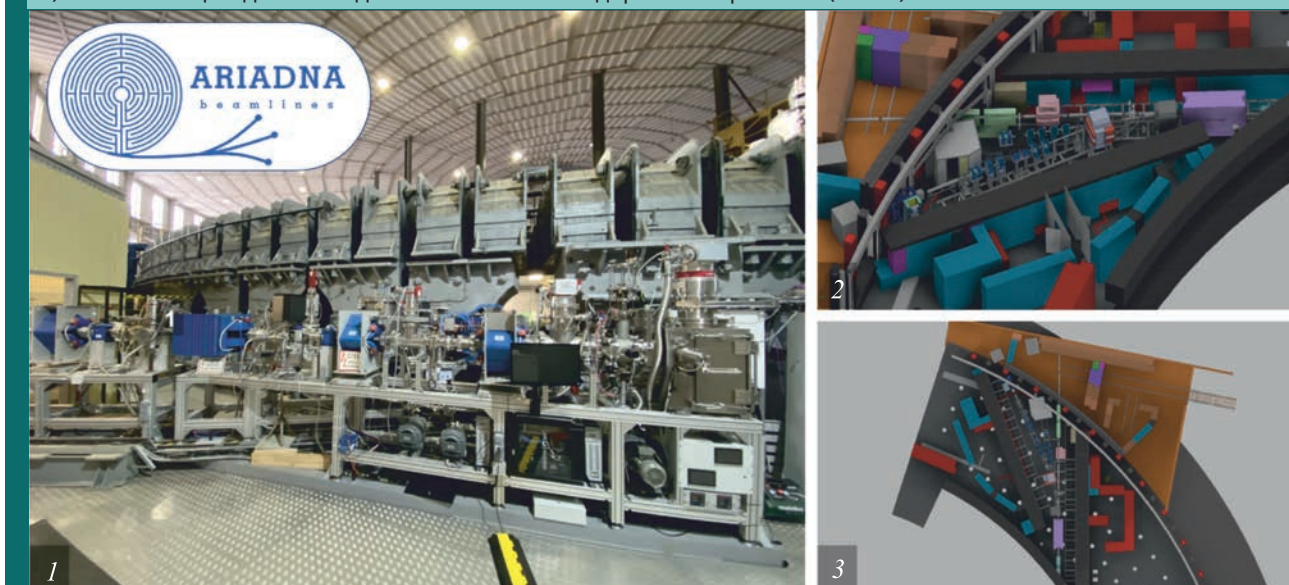
— ARIADNA — пользовательская инфраструктура на базе выведенных пучков NICA (пучки с энергиями от МэВ/нуклон до ГэВ/нуклон): науки о жизни, биомедицинские приложения, исследования радиационной стойкости полупроводниковой электроники, ядерно-физические данные для новой энергетики;

- инфраструктура для разработок в области омикс-технологий и нейрорадиобиологии: повышение радиочувствительности, трансгенные системы, адресная доставка (молекулярные векторы) и радионуклиды;
- комплекс на базе сверхпроводящего протонного циклотрона МСЦ-230 для R&D в области пучковой терапии: применение радиомодификаторов, flash-терапия, планирование облучения, пилотная установка для медицинских центров;
- комплекс на базе циклотрона ДЦ-140 для тестирования электронных компонентов, радиационного материаловедения, развития технологий трековых мембран и их производства;
- радиохимическая лаборатория 1-го класса и специализированный ускоритель (40 МэВ) для наработки радиоизотопов (^{225}Ac , ^{99m}Tc) для ядерной медицины.

В рамках создания Инновационного центра получены, в частности, следующие результаты:

Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина.

Облучательные станции в составе исследовательской инфраструктуры ARIADNA: 1) станция для облучения чипов (SOCHI); 2) схема испытательной станции для компонентов радиоэлектронной аппаратуры (ИСКРА) и станции исследований медико-биологических объектов (СИМБО); 3) схема станции для исследований в области ядерной энергетики (СИЯЭ)





- Обеспечено участие научно-производственных предприятий в деятельности коллаборации ARIADNA на базе инновационной инфраструктуры комплекса NICA, где получен первый пучок ионов высоких энергий (^{54}Xe , 3,8 ГэВ/нуклон) для прикладных работ, проведен первый сеанс облучения образцов пяти партнерских организаций и начат процесс обработки данных. Налажено сотрудничество с промышленными партнерами и разработчиками в области исследования свойств инновационных композитных материалов для космической отрасли, в области радиационной химии и радиационной модификации полимеров (совместно с компанией-резидентом Сколково), а также высокотемпературной сверхпроводимости (более подробная информация представлена в разделе ЛФВЭ).
- В партнерстве с НИИЭФА ГК «Росатом» реализованы этапы работ, предусмотренные планом строительства медицинского сверхпроводящего циклотрона МСЦ-230. Формирование исследовательской программы на базе строящегося медицинского циклотрона, а также предпроектные работы по созданию радиологического отделения на базе МСЦ-230 включены в совместный план работ Института и ФМБА России (более подробная информация представлена в разделе ЛЯР).
- Выполнены предусмотренные планом работы по созданию специализированного циклотрона для прикладных исследований

ДЦ-140, включая работы по подготовке площадки для его размещения и изготовлению его деталей и узлов. На базе R&D лаборатории ЦПФ ЛЯР (Нанолаб) выполнены заказные работы по изготовлению трековых мембран, а также по радиационной модификации различных материалов, в том числе для технологий водородной энергетики, водоочистки и других приложений. Разработаны прототипы продуктов и устройств на основе трековых мембран, в том числе для биомедицинских приложений (более подробная информация представлена в разделе ЛЯР).

- Введена в эксплуатацию облучательная рентгеновская установка SARRP (Small Animal Radiation Research Platform), предназначенная для радиобиологических исследований на мелких лабораторных животных. Данная установка стала важным компонентом инфраструктуры Института в области омикс-технологий и нейрорадиобиологии и позволяет осуществить полное моделирование цикла лучевой терапии с помощью рентгеновских лучей.

Для обеспечения и координации инновационной деятельности в Институте в рамках Службы главного инженера сформирован отдел инноваций и интеллектуальной собственности (ОИиИС). Функции отдела включают выработку и внедрение оптимальных подходов, форматов работы с инновационными проектами, консультирование и поддержку проектных команд по

Северный Кавказ, 24 мая. Презентация разработанного в ОИЯИ прототипа прибора для мобильного анализа углерода в почве на открытии карбонового полигона «Way Carbon» (фото: ЧГУ им. А. А. Кадырова)



всем аспектам и на всех этапах подготовки и выполнения разработок. Группа инноваций отдела сформирована из представителей лабораторий и руководителей крупных проектов Института.

Ключевыми задачами ОИиИС являются привлечение партнеров из индустрии и прикладной науки, проектное наполнение и развитие интеграционной концепции Инновационного центра, а также подготовка и сопровождение межлабораторных проектов, в том числе в области LifeScience, EcoEnergy, BigData и QT, в области водородной энергетики.

В 2022 г. в рамках дальнейшего развития технологической кооперации ОИЯИ с промышленными партнерами было продолжено взаимодействие Института с научно-производственными компаниями-резидентами Особой экономической зоны «Дубна», участниками региональных территориальных кластеров и другими промышленными партнерами и организациями.

В результате организации взаимодействия коллективов разработчиков внутри Института, привлечения к участию в этом взаимодействии бизнес-партнеров был инициирован ряд прикладных, включая межлабораторные, проектов: разработка биоматериалов нового поколения для офтальмологии и стоматологии, в том числе на основе трековых мембран (Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова, Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка), разработка продуктов на основе трековых мембран, функционализированных биомолекулами (Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова, Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова), выполнение заказной НИР в рамках разработки бизнес-партнером средств защиты растений но-

вого поколения (Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова, Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка). Также в ЛНФ были проведены структурные исследования различных мицеллированных препаратов, предоставленных одним из резидентов ОЭЗ «Дубна». Центром прикладной физики ЛЯР совместно с партнером из ОЭЗ начаты эксперименты, нацеленные на создание продуктов для лабораторной диагностики на основе трековых мембран. В целях развития проекта по созданию матричного спектроскопического полупроводникового детектора рентгеновского излучения, работающего в режиме счета единичных фотонов (ЛЯР в сотрудничестве с коллегами из ЛФВЭ и Республики Белоруссии), организовано сотрудничество с компанией-разработчиком двулучевого электронно-лучевого компьютерного томографа.

Организовано сотрудничество с Почвенным институтом им. В. В. Докучаева, Воронежским государственным лесотехническим университетом им. Г. Ф. Морозова по исследованию применения метода меченых нейтронов в рамках тематики климатических проектов и рационального землепользования.

В целях оптимизации работы с результатами интеллектуальной деятельности (РИД), в том числе в части взаимодействия структурных подразделений Института, а также авторов РИД, во взаимодействии со Службой внутреннего аудита (СВА), юридическим отделом и бухгалтерией разработан проект Положения об организации учета и управления правами на результаты интеллектуальной деятельности в Объединенном институте ядерных исследований, созданные при выполнении ПТП Института, а также в рамках

договоров, соглашений, государственных контрактов, программ и проектов, финансирование которых осуществляется фондами поддержки научной, научно-технической, инновационной деятельности в пределах соответствующих соглашений о предоставлении грантов на реализацию научных, научно-технических программ и проектов.

Созданы предпосылки для реализации проектного подхода к созданию служебных РИД в ОИЯИ, и начата проработка механизмов обращения с правами на РИД, полученные совместно или с участием индустриальных партнеров. Во взаимодействии с юридическим отделом, СВА и бухгалтерией обеспечена подготовка пакета типовых соглашений, регулирующих совместное с партнером создание РИД, владение, использование и распоряжение совместными РИД, а также отношения с авторами таких РИД. Отработка такого подхода велась совместно с центром прикладной физики ЛЯР, а также в рамках инновационного проекта по направлению «Искусственный интеллект и компьютерное зрение», реализуемого ЛРБ и ЛИТ совместно с Южно-Уральским государственным университетом.

В целях поиска технологических площадок для изготовления нестандартного оборудования для установок ОИЯИ было организовано взаимодействие представителей Института с «ТулаТЕХ» (научно-образовательным центром мирового уровня) и рядом резидентов ОЭЗ «Дубна».

В рамках развития научно-технических связей и обмена опытом организовано и проводится на регулярной основе ознакомление ученых и специалистов Института и резидентов ОЭЗ «Дубна» с возможностями, которые открывают взаимный доступ к исследовательской и производственной инфраструктуре ОИЯИ и резидентов ОЭЗ.

Представители ОИиИС приняли участие в экспертизе и аттестации инновационных проектов резидентов Цифрового гаража ОЭЗ «Дубна».

В целях расширения использования индустриальными партнерами возможностей инфраструктуры R&D ОИЯИ, а также применения инновационной продукции частных быстрорастущих высокотехнологических компаний России в деятельности Института налажено взаимодействие с ассоциацией «Быстрорастущие технологические компании „национальные чемпионы“».

В области работы по защите промышленной интеллектуальной собственности достигнуты следующие результаты. Продолжалось взаимодействие с Федеральным институтом промышленной собственности (ФИПС) Федеральной службы РФ по интеллектуальной собственности (Роспатент) по заявкам на патенты ОИЯИ, прошедшим формальную экспертизу ФИПС Роспатента в 2020–2022 гг.

С целью определения технического уровня новых разработок сотрудников ОИЯИ на предмет патентоспособности была выполнена экспертиза

ряда проектных разработок, включающая определение объектов правовой охраны и их классификацию в соответствии с Международной патентной классификацией, а также поиск аналогов и прототипов. Совместно с сотрудниками лабораторий готовились отчеты о патентных исследованиях.

По восьми разработкам совместно с авторами были подготовлены комплекты заявочных документов, поданные в Роспатент РФ для получения патентов на изобретения.

- Получено шесть патентов РФ на изобретения:
- (RU) 2765830 «Способ изменения конечной энергии протонного пучка, используемого для флэш-терапии», авторы: С. Н. Доля и В. И. Смирнов;
 - (RU) 2770864 «Устройство для резонансного заряда конденсатора», авторы: С. Н. Доля и В. И. Смирнов;
 - (RU) 2772969 «Накопитель холодных нейтронов», автор Ю. В. Никитенко;
 - (RU) 2776157 «Компактный сверхпроводящий циклотрон для протонной терапии пучками со сверхвысокой мощностью дозы (флэш)», авторы: Г. А. Карамышева, О. В. Карамышев, И. Д. Ляпин, В. А. Малинин, Д. В. Попов, Г. В. Трубников, Г. Д. Ширков, С. Г. Ширков;
 - (RU) 2776102 «Способ позиционирования сцинтилляционных ячеек в сегментированных детекторах и устройство для его осуществления», авторы: С. В. Афанасьев, Ю. В. Ершов, А. О. Голунов, Н. В. Горбунов;
 - (RU) 2776326 «Способ экспресс-анализа активирования или ингибирования живых белковых молекул», автор С. Н. Доля.

Также в конце года было получено положительное решение Роспатента РФ на выдачу патента по заявке 2022113781 «Устройство для получения холодных и ультрахолодных нейтронов», авторы: С. Н. Доля и Ю. В. Никитенко.

В реестре программ для электронных вычислительных машин Роспатента зарегистрированы три программы для ЭВМ: 2022665357 «Программа регистрации командировок сотрудников ОИЯИ», авторы: В. Ф. Борисовский, В. П. Елисеев, Т. В. Тюпикова; 2022665558 «Программа регистрации командировок иностранных сотрудников, прибывающих в ОИЯИ», авторы: В. Ф. Борисовский, В. П. Елисеев, Т. В. Тюпикова; 2022667974 «Программа ведения справочника организаций, связанных с ОИЯИ научными исследованиями», авторы: В. Ф. Борисовский, В. П. Елисеев, Т. В. Тюпикова.

Подготовлены и поданы в Роспатент РФ комплекты заявочных документов для получения свидетельств на регистрацию:

- «Программа мониторинга и накопления данных РИТ-Viewer системы измерения токов сверхпроводящих структурных магнитов синхротронов бустера и нуклотрона», авторы: А. К. Панфилов, В. Н. Карпинский, С. В. Киров, А. А. Козляковская, А. В. Сергеев, В. Г. Товстуха;

— «База данных учета информации о международном сотрудничестве ОИЯИ», авторы: В. Ф. Борисовский, В. П. Елисеев, Т. В. Тюпикова.

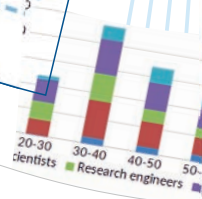
Информация по полученным патентам и зарегистрированным программам подавалась в бухгалтерию ОИЯИ для выплаты авторских вознаграждений.

В 2022 г. осуществлялась поддержка действия 87 патентов ОИЯИ. Проводилась работа с лабораториями по выявлению патентов с приоритетом больше 10 лет, необходимость в дальнейшем поддержании действия которых отсутствует.

В области патентно-информационной работы в 2022 г. в ОИЯИ поступило в электронном виде 36 номеров бюллетеня Роспатента «Изобретения. Полезные модели». Информация, опубликованная в этих бюллетенях, обработана с учетом тематики ОИЯИ. Результаты обработки оформле-

ны в 12 выпусках бюллетеня ОИИИС «Патенты», рассылаемых в подразделения Института подписчикам как в электронной, так и в бумажной форме. Электронная база бюллетеней ОИИИС доступна также на сайте отдела (<https://oliis.jinr.ru/>).

Оформляются информационные листы ОИИИС о получении Институтом новых патентов и государственной регистрации других объектов промышленной интеллектуальной собственности (программ для ЭВМ и баз данных). Эта информация регулярно включается в раздел «Патенты» на интернет-сайте ОИЯИ (<http://www.jinr.ru/posts/category/patents-ru/>), а также в разделы интернет-страницы ОИИИС «Действующие патенты» (<https://oliis.jinr.ru/index.php/patentovanie-2/8-russian/25-dejstvuyushchie-patenty-oiyai>) и «Программы ЭВМ, зарегистрированные ОИЯИ» (<https://oliis.jinr.ru/index.php/patentovanie-2/8-russian/28-programmy>).



ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

В 2022 г. в издательском отделе вышли в свет 69 наименований публикаций, 44 наименования служебных материалов.

Весной 2022 г. завершилась работа над книгой дневников первого директора ОИЯИ Дмитрия Ивановича Блохинцева. Дневники охватывают период жизни и деятельности Д. И. Блохинцева с 1955 по 1975 г., знакомят с историей становления и развития ОИЯИ, отражают личное отношение автора к событиям и людям. Проведена большая работа по расшифровке дневниковых записей, набору и редактированию текстов, переводу иноязычных фрагментов, составлению справочного аппарата, подготовке оригинал-макета.

Среди изданных в 2022 г. книг монография Г. Н. Тимошенко «Радиационная защита высокоэнергетических ускорителей», книга Н. Н. Прислонова «Дубна: годы свершений. Очерки новейшей истории наукограда», книга воспоминаний Е. П. Шабалина «На корабле своей мечты: Записки реакторщика», сборник воспоминаний об А. Н. Васильеве «Квантовая теория поля: „ежу понятно“», книга В. А. Беднякова «Наука-защитница», сборник избранных трудов А. И. Франка «Вопросы оптики длинноволновых нейтронов», воспоминания В. А. Беднякова «Юлиан Арамович Будагов... обещал дожить до 100 лет».

Изданы аннотации докладов международной конференции «Исследования конденсированных сред на реакторе ИБР-2» (Дубна, 25–29 апреля 2022 г.), материалы конференции «Актуальные проблемы радиационной биологии» (Дубна, 25–27 октября 2022 г.).

Опубликованы годовые отчеты ОИЯИ за 2021 г. (на русском и английском языках).

В 2022 г. вышли из печати 6 выпусков журнала «Физика элементарных частиц и атомного ядра», включающих 122 статьи. В выпуске 2 опубликованы материалы LXX Международной конференции по ядерной физике «Ядро-2020» (Санкт-Петербург, 26–30 мая 2020 г.). Выпуск 4 содержит труды Международной конференции по прецизионной физике и фундаментальным физическим константам (Стара-Лесна, 4–8 октября 2021 г.). Издано 6 номеров журнала «Письма в ЭЧАЯ», содержащих 131 статью. В выпуске 3 опубликованы материалы 5-й Международной конференции

«Современные проблемы генетики, радиобиологии, радиозологии и эволюции» (Нор-Амберд, 5–9 октября 2021 г.). Выпуск 5 содержит труды XXV Международной конференции молодых ученых и специалистов ОИЯИ (Алма-Ата, 11–15 октября 2021 г.).

Продолжался выпуск информационного бюллетеня «Новости ОИЯИ» на русском и английском языках.

В 2022 г. был издан 51 номер еженедельника ОИЯИ «Дубна: наука, содружество, прогресс».

Отпечатаны подготовленные пресс-центром брошюры об ОИЯИ и о флагманских проектах Института — на русском и английском языках, а также лифлеты об ОИЯИ.

В рамках обмена научными публикациями в сотрудничающие с Институтом организации из разных стран мира рассылались издания ОИЯИ: препринты и сообщения ОИЯИ, информационный бюллетень «Новости ОИЯИ», годовые отчеты ОИЯИ, журналы «ЭЧАЯ» и «Письма в ЭЧАЯ».

В редакции журналов, на различные конференции, симпозиумы, совещания и школы, проводившиеся как в странах-участницах ОИЯИ, так и в других странах, издательским отделом направлено 97 статей, содержащих результаты работ дубненских ученых. Статьи сотрудников ОИЯИ направлялись в журналы «Ядерная физика», «Известия Российской академии наук. Серия физическая», «Приборы и техника эксперимента», «Ядерная физика и инжиниринг», «Кристаллография», «Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования» и др.

Продолжалась работа по размещению выпускаемых в ОИЯИ периодических и непериодических изданий в базе данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) на платформе электронно-библиотечной системы Научной электронной библиотеки.

Издательским отделом выполнялись заказы на печать фотоплакатов, а также постеров — стендовых докладов сотрудников Института для представления на научных форумах. Для проведения конференций и совещаний выполнялась печать информационных материалов — программ, блокнотов, бейджей, дипломов и сертификатов.

Издавания, выпущенные издательским отделом ОИЯИ в 2022 г.



По заявкам лабораторий и других подразделений ОИЯИ выполнялись переплетные работы, копирование и сканирование научно-технической и инженерно-конструкторской документации. Отпечатано более 115 тысяч различных бланков.

Приобретено новое полиграфическое оборудование — современная высокопроизводительная цифровая печатная машина Konica Minolta AccurioPress 7090.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

В 2022 г. число читателей Научно-технической библиотеки составило 1770 человек. Действует электронная система учета выдачи и возврата литературы. Количество выданной литературы — 4000 экз. На 1 января 2023 г. библиотечный фонд составил 431 171 экз., из них 195 264 экз. на иностранных языках.

По заявкам читателей по межбиблиотечному абонементу получено 121 издание, выполнено 26 заявок из других библиотек. По всем источникам комплектования поступило 1249 экз. книг, периодических изданий, препринтов, диссертаций и авторефератов, 137 из них на иностранных языках. Все поступившие издания фиксировались в центральном каталоге, каталогах филиала, а также в автоматизированной информационно-библиотечной системе «Absotheque». Вышло в свет 114 номеров экспресс-бюллетеней «Книжки», «Статьи», «Препринты» с информацией относительно 5515 названий. Электронные версии бюллетеней доступны в Интернете в разделе «Новые поступления» сайта НТБ и рассылаются по e-mail. Подписаться можно в разделе «Сервисы» на сайте НТБ: http://lib.jinr.ru/ntb_mail/newslist.html.

Регулярно обновлялись выставки новых поступлений книг, препринтов, периодических

изданий, диссертаций и авторефератов. На них представлено 889 изданий. Организовано 6 тематических выставок. На них представлено 530 изданий.

Электронные каталоги журналов, статей, препринтов, книг, диссертаций и авторефератов доступны в Интернете по адресу: <http://lib.jinr.ru:8080/OpacUnicode/>.

В электронном каталоге через личный кабинет читатели могут заказать необходимую литературу, а также просмотреть свои читательские формуляры (см. сайт НТБ, раздел «Электронные каталоги»).

Выпущен «Библиографический указатель работ сотрудников ОИЯИ за 2021 г.» (1439 записей). Электронная версия указателя со ссылками на полные тексты публикаций доступна в Интернете (см. сайт НТБ, раздел «Сервисы» http://lib.jinr.ru/buk/2021/bibl_uk.php). Подготовлено 3 библиографических списка.

Отсканировано и размещено в электронном каталоге 3024 препринта и сообщения, депонированные публикации ОИЯИ. База данных работ сотрудников ОИЯИ доступна в Интернете через электронные каталоги.

Библиотека получает 80 названий периодических изданий. Благодаря тому, что НТБ выписыва-

Сотрудницы НТБ ОИЯИ на фоне выставки новых поступлений



ет иностранные журналы, сотрудники Института имеют доступ к полнотекстовым электронным версиям этих журналов в Интернете. Активно используется читателями «Научная электронная библиотека».

Благодаря Национальной электронной подписке РФФИ сотрудники ОИЯИ получили электронный доступ к журналам издательств «Ельзевир», «Wiley», «American Physical Society», «American Institute of Physics», журналам «Nature», «Science», журналам и книгам издательства «Шпрингер», к IEEE Digital Library, к мировым реферативным базам данных научных публикаций «Web of Science», «Scopus».

В рамках проекта «История ОИЯИ и г. Дубны на страницах книг, журналов и центральных газет» введено 56 новых библиографических описаний. Информационно-поисковая система «Литература об ученых ОИЯИ» (включает 1020 записей) доступна для пользователей в разделе «Публикации об ОИЯИ» сайта НТБ: <http://who-is-who.jinr.ru/catalog3/main.html>.

В 2022 г. в порядке обмена на публикации, выпускаемые Издательским отделом ОИЯИ, поступило 143 издания из 10 стран. Из них на долю России приходится 96, Германии — 27, Франции — 3, Японии — 4.

В 2022 г. в автоматизированную информационно-библиотечную систему «Absotheque» введено: книг — 299 назв., журналов — 1279 номеров, препринтов — 554 назв., диссертаций и авторефератов — 119 назв., книжных статей — 486 назв. и журнальных статей — 4989 назв.

На 1 января 2023 г. количество библиографических описаний в АИБС «Absotheque» составило 342 183 записи.

По запросам дирекции ОИЯИ выполнялись справки и составлялись статистические таблицы по показателям публикационной активности ОИЯИ в целом, а также совместно с учеными из других стран и организаций по базам данных «Web of Science», «Scopus», РИНЦ.

ПУБЛИКАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ СОТРУДНИКОВ ОИЯИ

По данным международной базы данных «Scopus» на 28.12.2022 всего публикаций — 1137.

Таблица 1. Совместные публикации с авторами из государств-членов ОИЯИ

Страна*	Количество публикаций
Армения	119
Азербайджан	99
Белоруссия	149
Болгария	122
Вьетнам	15
Грузия	118
Египет	101
Казахстан	95
Куба	37
Молдавия	19
Монголия	86
Польша	288
Румыния	187
Словакия	120
Узбекистан	58
Украина	142
Чехия	231

*В алфавитном порядке.

Таблица 2. Совместные публикации с авторами из стран — ассоциированных членов ОИЯИ

Страна*	Количество публикаций
Венгрия	157
Германия	347
Италия	271
Сербия	115
Южная Африка	95

*В алфавитном порядке.

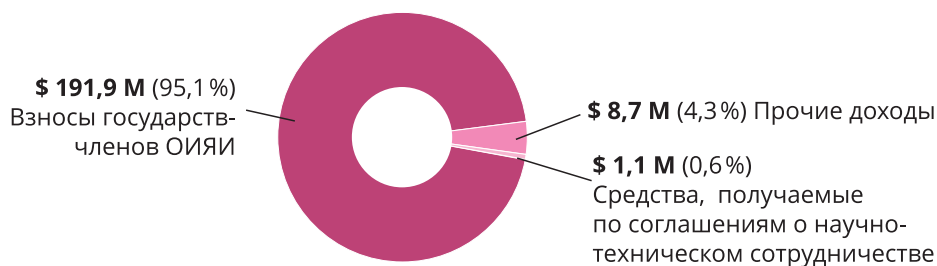
Таблица 3. Совместные публикации сотрудников ОИЯИ с авторами из других стран и регионов

Страна/регион*	Количество публикаций	Страна/регион*	Количество публикаций
США	310	Ирландия	60
Китай	274	Новая Зеландия	59
Великобритания	235	Шри Ланка	59
Франция	221	Черногория	58
Турция	208	Эквадор	58
Индия	202	Кувейт	51
Швейцария	184	Израиль	48
Бразилия	175	Катар	48
Таиланд	151	Гонконг	44
Пакистан	150	Аргентина	42
Нидерланды	147	Словения	42
Греция	146	Марокко	41
Австрия	144	Перу	36
Швеция	140	Филиппины	33
Япония	140	Индонезия	32
Испания	137	Пуэрто-Рико	31
Португалия	129	Палестина	27
Тайвань	121	ОАЭ	21
Южная Корея	115	Саудовская Аравия	19
Финляндия	106	Алжир	6
Мексика	106	Таджикистан	5
Колумбия	105	Уругвай	5
Хорватия	104	Иордания	5
Австралия	96	Парагвай	4
Норвегия	81	Мадагаскар	4
Чили	78	Непал	2
Дания	77	Нигерия	2
Бельгия	72	Ливия	1
Канада	67	Монако	1
Иран	65	Босния и Герцеговина	1
Малайзия	63	Уганда	1
Кипр	63	Тунис	1
Литва	62	Судан	1
Латвия	60	Бангладеш	1
Эстония	60	Албания	1

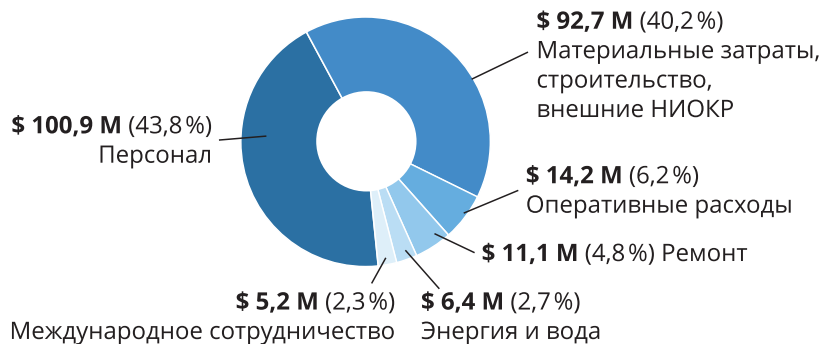
*По мере убывания числа публикаций.

ФИНАНСОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Исполнение бюджета ОИЯИ на 2022 г. по доходам — всего 201,7 млн долларов США



Исполнение бюджета ОИЯИ на 2022 г. по расходам — всего 230,5 млн долларов США



Процентная шкала взносов государств-членов ОИЯИ на 2022 г.

Страна	%	Страна	%
Азербайджанская Республика	0,36	Республика Куба	0,72
Республика Армения	0,12	Республика Молдова	0,09
Республика Белоруссия	0,73	Монголия	0,10
Республика Болгария	0,73	Республика Польша	5,08
Социалистическая Республика Вьетнам	1,41	Российская Федерация	80,86
Грузия	0,16	Румыния	1,87
Республика Казахстан	1,52	Словацкая Республика	1,36
Корейская Народно-Демократическая Республика	0,21	Республика Узбекистан	0,52
		Украина	1,59
		Чешская Республика	2,57
<i>Итого:</i>			100,0

В 2022 г. сотрудники Объединенного института ядерных исследований для реализации ряда научных проектов получили финансовую поддержку Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), Российского научного фонда (РНФ) и Министерства науки и высшего образования РФ.

Российский фонд фундаментальных исследований профинансировал научные проекты ОИЯИ в рамках следующих конкурсов: «Конкурс проектов фундаментальных научных исследований» (3 проекта), «Конкурс инициативных проектов фундаментальных научных исследований, проводимый совместно РФФИ и Немецким научно-исследовательским сообществом» (2 проекта).

Российский научный фонд профинансировал научные проекты ОИЯИ в рамках конкурсов: «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (9 проектов),

«Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» (1 проект), «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований международными научными коллективами — NSPC_Китай и DFG_Германия» (1 проект), «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» (4 проекта), «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» (1 проект), «Проведение исследований на базе существующей научной инфраструктуры мирового уровня» (1 проект).

Министерством науки и высшего образования РФ профинансировано два проекта: «Сверхтяжелые ядра и атомы: пределы масс ядер и границы Периодической таблицы Д. И. Менделеева» и «Разработка и создание элемента экспериментальных станций на источниках нейтронов импульсного или постоянного типа».

КАДРЫ

Численность персонала ОИЯИ на 1 января 2023 г. составила 5156 человек (без временных членов персонала).

В ОИЯИ работают: академики РАН В. А. Матвеев, И. Н. Мешков, Ю. Ц. Оганесян, Г. В. Трубников, Б. Ю. Шарков, члены-корреспонденты РАН В. Л. Аксенов, А. В. Белушкин, Л. В. Григоренко, Д. И. Казаков, В. Д. Кекелидзе, Е. А. Красавин,

А. А. Старобинский, Г. Д. Ширков, члены других государственных академий наук Б. С. Юлдашев, О. Чулуунбаатар, 41 профессор, 29 доцентов, 220 докторов наук, 602 кандидата наук.

В 2022 г. в ОИЯИ принято на работу 589 человек, уволено за этот период в связи с окончанием срока работы и по другим причинам 636 человек.

Дубна, 27 октября. Участники торжественной церемонии вручения дипломов о присуждении ученой степени защитившимся соискателям



НАГРАЖДЕНИЯ

За плодотворную работу в ОИЯИ и международное сотрудничество награждены благодарностью главы городского округа Дубна — 1 сотрудник, благодарностью губернатора Московской области — 3 сотрудника, благодарственным письмом губернатора Московской области —

3 сотрудника, благодарственным письмом ОИЯИ — 14 сотрудников, дипломом 1-й степени обладателя VIII Всероссийской премии «За верность науке» в номинации «Наука — это модно» — 1 сотрудник, знаком «За заслуги перед Дубной» — 1 сотрудник, знаком отличия «За

международное сотрудничество в атомной отрасли» — 2 сотрудника, золотой медалью Международной инженерной академии — 1 сотрудник, медалью «За верность традициям отечественного образования» — 1 сотрудник, медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени — 5 сотрудников, научной премией Сбера в номинации «Физический мир» — 1 сотрудник, орденом Дружбы — 1 сотрудник, почетной грамотой главы городского округа Дубна — 7 сотрудников, почетной грамотой Министерства инвестиций,

промышленности и науки Московской области — 4 сотрудника, почетной грамотой ОИЯИ — 30 сотрудников, почетным дипломом ОИЯИ — 6 сотрудников, присвоены почетное звание «Заслуженный деятель науки Московской области» — 3 сотрудникам, звание «Почетный профессор МГУ им. М. В. Ломоносова» — 1 сотруднику, звание «Почетный член Инженерной академии Армении» — 1 сотруднику, звание «Почетный сотрудник ОИЯИ» — 2 сотрудникам.

ВВЕДЕНИЕ	8
-----------------------	---

РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ

Комитет полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ	12
Ученый совет	20
Финансовый комитет	26
Программно-консультативные комитеты	30
Премии ОИЯИ	33

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова	36
Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина	49
Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Дзелепова	67
Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова	75
Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка	86
Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова	101
Лаборатория радиационной биологии	115
Учебно-научный центр	125

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Научно-техническое сотрудничество	134
Конференции и совещания	155

ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

172

ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ

Издательский отдел	178
Научно-техническая библиотека	180
Финансовая деятельность	182
Кадры	184

**Ответственный
за подготовку отчета:**

Б. М. Старченко

Отчет подготовили:

А. В. Андреев
С. В. Бобров
Н. А. Боклагова
А. Е. Васильев
О. Ю. Дереновская
Е. В. Иванова
А. В. Карпов
Е. В. Кешарпу
И. В. Кошлань
Е. Г. Кутейникова
И. Ф. Ленский
Д. А. Михеев
И. В. Титкова
Е. А. Федорова
Д. М. Худоба
А. П. Чеплаков
А. Н. Шабашова
Ю. Г. Шиманская
И. Ю. Щербакова

Дизайнер

В. О. Тамонова

**В отчете использованы
фотографии:**

И. А. Лапенко
Е. В. Пузыниной

Объединенный институт ядерных исследований. 2022

Годовой отчет

2023-7

Редакторы: *Е. В. Калининкова, Е. В. Сабеева*

Верстка *И. Г. Андреевой, В. А. Жбанковой*

Корректор *Е. А. Черногорова*

Подписано в печать 18.05.2023.

Формат 60×84/8. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 21,85. Уч.-изд. л. 25,35. Тираж 170 экз. Заказ № 60659.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/