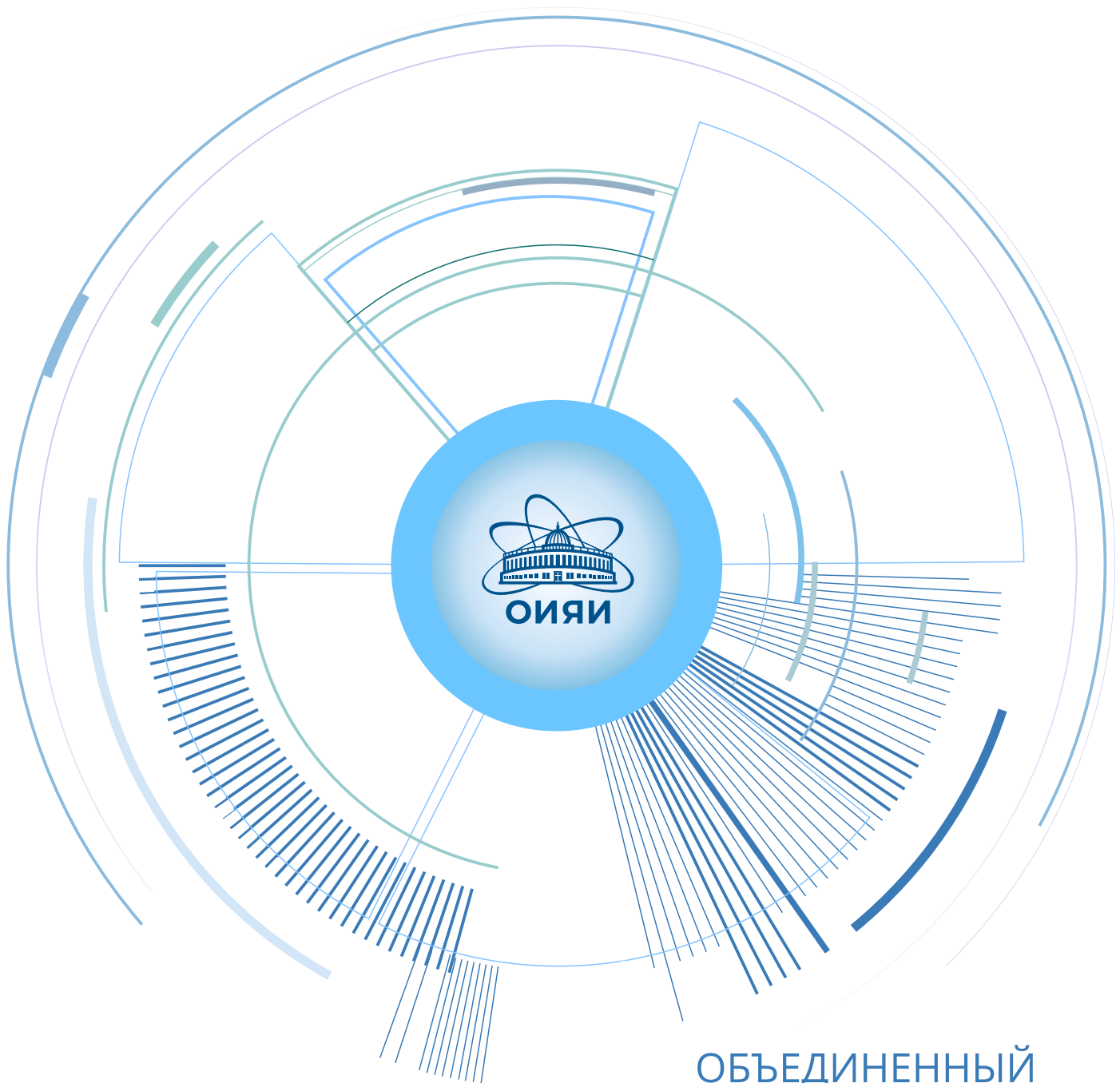


ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

**2024**  
ГОДОВОЙ ОТЧЕТ



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

**2024**  
ГODOVOЙ ОТЧЕТ

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](mailto:post@jinr.ru)

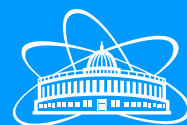
Web <http://www.jinr.ru>

Электронная версия: [http://wwwinfo.jinr.ru/publish/Reports/Reports\\_rus.html](http://wwwinfo.jinr.ru/publish/Reports/Reports_rus.html)

ISBN 978-5-9530-0641-5

© Объединенный институт ядерных исследований, 2025

# ГОСУДАРСТВА-ЧЛЕНЫ ОИЯИ



## ГОСУДАРСТВА-ЧЛЕНЫ ОИЯИ

Азербайджанская Республика  
Республика Армения  
Республика Беларусь  
Республика Болгария  
Социалистическая Республика Вьетнам

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

Республика Молдова  
Монголия  
Российская Федерация  
Румыния  
Словацкая Республика  
Республика Узбекистан

















## 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 – А. Е. Мовсисян
  -  Республика Беларусь – С. В. Шлычков
  -  Республика Болгария – Ц. Бачийски
  -  Социалистическая Республика Вьетнам – Чан Туан Ань
  -  Грузия – А. Хведелидзе
  -  Арабская Республика Египет – Д. Эль-Феки
  -  Республика Казахстан – С. К. Сахиев
  -  Корейская Народно-Демократическая Республика – Ли Че Сон
  -  Республика Куба – Г. Вальвин Салас
  -  Республика Молдова – не назначен
  -  Монголия – С. Даваа
  -  Российская Федерация – В. Н. Фальков
  -  Румыния – Ф.-Д. Бузату
  -  Словацкая Республика – Ф. Шимковиц
  -  Республика Узбекистан – Б. С. Юлдашев

## ФИНАНСОВЫЙ КОМИТЕТ

По одному представителю от каждой страны-участницы ОИЯИ

## УЧЕНЫЙ СОВЕТ

Председатель – Г. В. Трубников

Сопредседатель – С. Я. Килин (Республика Беларусь)

Ученый секретарь – С. Н. Неделько

- |   |   |
|---|---|
| <input type="radio"/> <b>А. Апраамян</b> –<br>Соединенные Штаты Америки             | <input type="radio"/> <b>Н. Нешкович</b> –<br>Республика Сербия                     |
| <input type="radio"/> <b>Ц. Баатар</b> –<br>Монголия                                | <input type="radio"/> <b>И. Падрон Диас</b> –<br>Республика Куба                    |
| <input type="radio"/> <b>Бом Хун Ли</b> –<br>Республика Корея                       | <input type="radio"/> <b>Ю. Палий</b> –<br>Российская Федерация                     |
| <input type="radio"/> <b>К. Борча</b> –<br>Румыния                                  | <input type="radio"/> <b>Д. Перес Менесес</b> –<br>Федеративная Республика Бразилия |
| <input type="radio"/> <b>Н. Буртебаев</b> –<br>Республика Казахстан                 | <input type="radio"/> <b>Р. Рашков</b> –<br>Республика Болгария                     |
| <input type="radio"/> <b>Ван Ифан</b> –<br>Китайская Народная Республика            | <input type="radio"/> <b>И. И. Садиков</b> –<br>Республика Узбекистан               |
| <input type="radio"/> <b>З. Вилакази</b> –<br>Южно-Африканская Республика           | <input type="radio"/> <b>Р. Саху</b> –<br>Республика Индия                          |
| <input type="radio"/> <b>В. В. Воеводин</b> –<br>Российская Федерация               | <input type="radio"/> <b>А. М. Сергеев</b> –<br>Российская Федерация                |
| <input type="radio"/> <b>Р. Гранада</b> –<br>Аргентинская Республика                | <input type="radio"/> <b>М. Спиро</b> –<br>Французская Республика                   |
| <input type="radio"/> <b>С. Н. Калмыков</b> –<br>Российская Федерация               | <input type="radio"/> <b>Ч. Стоянов</b> –<br>Республика Болгария                    |
| <input type="radio"/> <b>С. Я. Килин</b> –<br>Республика Беларусь                   | <input type="radio"/> <b>Г. Стратан</b> –<br>Румыния                                |
| <input type="radio"/> <b>М. В. Ковальчук</b> –<br>Российская Федерация              | <input type="radio"/> <b>Сун Юньтао</b> –<br>Китайская Народная Республика          |
| <input type="radio"/> <b>Г. Лаврелашвили</b> –<br>Грузия                            | <input type="radio"/> <b>Г. В. Трубников</b> –<br>Российская Федерация              |
| <input type="radio"/> <b>Ле Хонг Кхьем</b> –<br>Социалистическая Республика Вьетнам | <input type="radio"/> <b>Р. Ценов</b> –<br>Республика Болгария                      |
| <input type="radio"/> <b>Ли Цзяньган</b> –<br>Китайская Народная Республика         | <input type="radio"/> <b>И. Церруя</b> –<br>Государство Израиль                     |
| <input type="radio"/> <b>П. В. Логачев</b> –<br>Российская Федерация                | <input type="radio"/> <b>Чан Ти Тхань</b> –<br>Социалистическая Республика Вьетнам  |
| <input type="radio"/> <b>С. А. Максименко</b> –<br>Республика Беларусь              | <input type="radio"/> <b>А. М. Четто</b> –<br>Мексиканские Соединенные Штаты        |
| <input type="radio"/> <b>В. А. Матвеев</b> –<br>Российская Федерация                | <input type="radio"/> <b>Чжао Хунвэй</b> –<br>Китайская Народная Республика         |
| <input type="radio"/> <b>Ш. Нагиев</b> –<br>Азербайджанская Республика              | <input type="radio"/> <b>А. Эль-хаг Али</b> –<br>Арабская Республика Египет         |
| <input type="radio"/> <b>Д. Л. Надь</b> –<br>Венгрия                                | <input type="radio"/> <b>Б. С. Юлдашев</b> –<br>Республика Узбекистан               |
| <input type="radio"/> <b>А. Нерсесян</b> –<br>Республика Армения                    |   |

## ПРОГРАММНО-КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ КОМИТЕТЫ

### ПКК по физике частиц

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

### ПКК по ядерной физике

Председатель – В. В. Несвижевский  
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 Е. А. Якушев

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**  
Научный руководитель **В. А. Матвеев**  
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 **Е. В. Лычагин**

Исследования:

- ядерных реакций под действием нейтронов
- фундаментальных свойств нейтронов
- 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

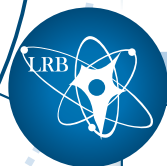


### Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова

Директор **С. В. Шматов**

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

Директор **Д. В. Каманин**

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



2024 г. для Объединенного института ядерных исследований был отмечен яркими научными результатами, важными достижениями в развитии исследовательской инфраструктуры Института, значимыми событиями в жизни ОИЯИ как международной межправительственной организации.

Прежде всего хотелось бы подчеркнуть высокий уровень внимания страны местопребывания Института, Российской Федерации, к созданию благоприятных условий для работы ОИЯИ, в особенности для реализации крупнейшего международного проекта NICA по исследованию свойств адронной материи при экстремальных условиях. Свидетельством стратегической поддержки деятельности Института в сфере развития международного научно-технического сотрудничества стал визит в ОИЯИ в июне 2024 г. Президента Российской Федерации Владимира Владимировича Путина, который встретился с учеными из России и других стран-участниц ОИЯИ и дал старт технологическому пуску комплекса NICA. В Доме

международных совещаний ОИЯИ прошло заседание Совета по науке и образованию при Президенте Российской Федерации.

В 2024 г. была завершена подготовка к комплексным технологическим испытаниям основных узлов ускорительного комплекса NICA. Пройден важный этап реализации проекта NICA-MPD — выполнено охлаждение сверхпроводящего магнита детектора MPD до температур жидкого гелия. Успешно проведены пять сеансов на каналах NICA для прикладных исследований в рамках коллаборации ARIADNA.

В Лаборатории ядерных реакций была успешно реализована экспериментальная программа фабрики сверхтяжелых элементов по облучению мишеней  $^{242}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{U}$  пучками  $^{50}\text{Ti}$  и  $^{54}\text{Cr}$  соответственно. Получено 6 новых событий по синтезу ливермория. Открыты три новых изотопа:  $^{288, 289}\text{Lv}$  и  $^{280}\text{Cn}$ . Важные результаты приближают ученых ЛЯР к реализации экспериментов по синтезу 119-го и 120-го элементов.

В 2024 г. завершилась модернизация и состоялся запуск циклотрона У-400М. В рамках первых экспериментов были изучены динейтронные корреляции в реакции  $^4\text{He}(^8\text{He}, ^8\text{He})^4\text{He}$  при энергиях 25–35 А МэВ.

С опережением сроков шло возведение нового экспериментального корпуса для У-400Р. В зале ускорительного комплекса ДЦ-140 полным ходом велись строительно-монтажные работы.

Ученые Лаборатории теоретической физики Объединенного института продемонстрировали традиционно высокую публикационную активность и получили важные результаты в области теоретической и математической физики, ядерной физики, физики элементарных частиц и физики релятивистских тяжелых ионов, материаловедения и физики твердого тела, в том числе ориентированные на экспериментальные программы ОИЯИ. В ноябре в Китае состоялось подписание важного соглашения о сотрудничестве между Институтом теоретической физики Китайской академии наук (ИТФ CAS) и ОИЯИ. Оно предполагает регулярный обмен визитами ученых, аспирантов и студентов и расширение совместных исследований ИТФ CAS и ЛТФ, а также других лабораторий ОИЯИ.

В Лаборатории нейтронной физики на стадию завершения вышли технологические работы по запуску ИБР-2М, который запланирован на первую половину 2025 г. Были установлены новые детекторы в дифрактометры ФДВР и ДН-6. Подготовлен к испытаниям прототип новой установки для использования неупругого рассеяния нейтронов — спектрометр VJN.

В рамках прикладных исследований ученые ЛНФ активно занимались изучением катодных материалов для перспективных натрий-ионных аккумуляторов. Сотрудники сектора нейтронного активационного анализа и прикладных исследований были удостоены медалей на международной выставке изобретений Euroinvent-2024 за разработки в области наук о жизни.

Лабораторией ядерных проблем, отметившей свое 75-летие в 2024 г., были успешно проведены экспедиции по развитию нейтринного телескопа Baikal-GVD, которые вывели его на рекордные параметры по ряду характеристик. В настоящее время на озере Байкал установлено 13 кластеров, состоящих из более чем 4 тысяч оптических модулей. Важным научным результатом стало подтверждение высокой чувствительности Baikal-GVD, которая в четыре раза превысила аналогичные показатели нейтринной обсерватории IceCube (Антарктида). В 2024 г. Байкальским телескопом были обнаружены астрофизические нейтрино с энергией, превышающей 200 ТэВ.

Необходимо отметить активное участие сотрудников ОИЯИ в экспериментах DANSS и DANSS2 на Калининской АЭС, в коллаборации SPD на ускорительном комплексе NICA, а также в модернизации детектора JUNO (Китай). Продолжалась активная работа по созданию медицинского циклотрона MSC-230 и подготовке к запуску ускорителя электронов Линак-200.

Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс (МИВК) ОИЯИ вышел на качественно новый уровень, который позволяет выполнять обязательства Института по участию в международных коллаборациях в соответствии с высочайшими общемировыми стандартами. В 2024 г. МИВК обработал 40 петабайт входящего трафика, обеспечив выполнение более 10 миллионов задач посредством грид-инфраструктуры Tier-1 и Tier-2, а также около 3,8 миллионов задач на суперкомпьютере «Говорун».

Лаборатория радиационной биологии сыграла катализирующую роль в формировании междисциплинарной повестки научных исследований Института. Радиобиологами ОИЯИ были разработаны новые бинарные методы лучевой терапии раковых опухолей с использованием радиосенсибилизаторов. Международное признание получил вклад ученых лаборатории в развитие программного комплекса для радиобиологического моделирования на клеточном уровне Geant4-DNA.

Специалистами Института был разработан интерактивный веб-сервис «Карта детекторных

технологий» (Detector Centre), предназначенный для формирования и визуализации единой базы данных по технологическим направлениям ОИЯИ. Приложение содержит информацию об имеющемся оборудовании, опыте работы с компонентами и материалами, а также компетенциях лабораторий Института. Ресурс будет способствовать развитию прикладных исследований и созданию уникального оборудования по запросам организаций стран-участниц.

На состоявшейся в ноябре в Минске (Беларусь) выездной сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ было утверждено решение о проведении конкурса стартапов, направленного на поддержку инновационных проектов молодых специалистов.

В 2024 г. в рамках проведения диссертационных советов ОИЯИ состоялась сотая защита. За год было проведено 26 защит: 19 кандидатских и 7 докторских диссертаций.

ОИЯИ надежно удерживает высокую планку одного из самых «производительных» по числу публикаций в ведущих научных изданиях мировых центров по широчайшему спектру научных направлений.

В 2024 г. Институт организовал свыше 80 международных научных мероприятий, включая крупные конференции с более чем 150 участниками. Объединенным институтом были организованы и проведены 70 международных научных конференций и школ, 16 рабочих и 13 организационных совещаний. С активным участием ЛТФ было проведено 11 крупных научных форумов, в числе которых международная конференция «Ядро-2024», сессия Секции ядерной физики ОФН РАН и Международное рабочее совещание по физике сильновзаимодействующих систем в Китае. В области информационных технологий были организованы рабочее совещание MPQIT-2024 и международная конференция MMCP-2024, а также успешно проведен Осенний этап научной школы по информационным технологиям с участием студентов российских вузов. ЛРБ принимала активное участие в организации и работе таких крупных мероприятий, как 23-я Международная молодежная научная школа по радиобиологии в Обнинске (Россия), международная конференция «Актуальные проблемы радиационной биологии» в Дубне и рабочее совещание ВАНТ–ОИЯИ по ядерной медицине в Ханое (Вьетнам).

Благодаря интенсивной работе Учебно-научного центра больше 600 студентов и аспирантов из десятков стран приняли участие в научно-образовательных программах Института (стажировки, практики, научные школы), выполнили квалификационные работы. Аналогичные программы были организованы и для преподавателей: около 70 учителей из партнерских организаций посетили Дубну для участия в работе научных школ. Всего в программах START и INTEREST участвовало более 160 студентов.

В Международной стажировке для руководителей науки и естественно-научного образования (JEMS-24) приняли участие 18 руководителей различных уровней и координаторов по сотрудничеству из Беларуси, России, Узбекистана.

Издательством «Просвещение» был выпущен учебно-методический комплекс по физике для школьников «Физика 7–9. Инженеры будущего», созданный авторским коллективом Учебно-научного центра ОИЯИ. Учебник включен в федеральный перечень учебников приказом Министерства просвещения РФ.

В 2024 г. филиал МГУ в Дубне впервые в своей новейшей истории принял студентов-магистрантов на первый курс по программе «Физика». Кроме того, новая магистерская программа «Прикладная математика и информатика» успешно прошла лицензирование в Министерстве науки и высшего образования РФ. Идея создания на базе филиала МГУ в Дубне данной программы обоснована потребностью в подготовке высококвалифицированных кадров в области математического моделирования и обработки данных проектов класса «мегасайенс» с применением методов аналитики больших данных и искусственного интеллекта.

В числе знаковых достижений года в сфере международного сотрудничества — подписание соглашения между ОИЯИ и Министерством науки и технологий КНР о начале реализации восьми совместных проектов, а также соглашения о сотрудничестве между ОИЯИ и Национальной комиссией по атомной энергии Бразилии (CNEN). Значительно активизировалось взаимодействие с правительственными органами, научными организациями и университетами Мексики, Индии, Сербии и ЮАР.

В ряду важнейших событий — продолжение действия соглашения о научном сотрудничестве

с ЦЕРН, что позволяет надеяться на скорейшее возобновление полномасштабного взаимодействия двух международных межправительственных организаций.

В 2024 г. расширилась партнерская сеть информационных центров ОИЯИ — открылся Информационный центр в iThemba LABS (ЮАР), деятельность которого призвана способствовать развитию международного сотрудничества ОИЯИ-ЮАР в сфере науки и просвещения.

Активно развивалась социальная инфраструктура Института. В лучшую сторону изменилась сфера здравоохранения за счет кардинальных преобразований медсанчасти № 9, что стало возможным благодаря поддержке ФМБА Российской Федерации, а также участию ОИЯИ и администрации города.

В непростых геополитических условиях 2024 г. эти и многие другие результаты были достигнуты благодаря высочайшему профессионализму и сплоченности ученых, инженеров, рабочих и специалистов не только в лабораториях ОИЯИ, но и, в равной мере, административных департаментах и службах Института.

Решение задач 2025 г. потребует от нас концентрации усилий на всех направлениях деятельности Института. В этом, предшествующем 70-летию юбилею ОИЯИ, году предстоит ввести в эксплуатацию ускорительный комплекс NICA, начать подготовку к экспериментам по синтезу 119-го и 120-го элементов, возобновить международную пользовательскую программу на ИБР-2М, завершить масштабную реконструкцию важных объектов социальной инфраструктуры, продолжая поступательное развитие Института как уникальной интеграционной площадки многостороннего международного научно-технического сотрудничества.



Г. В. ТРУБНИКОВ,  
директор  
Объединенного института  
ядерных исследований



## РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ

# КОМИТЕТ ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ПРАВИТЕЛЬСТВ ГОСУДАРСТВ-ЧЛЕНОВ ОИЯИ

## СЕССИЯ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ, 22–23 марта 2024 г.

Очередная сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ состоялась 22–23 марта в Дубне под председательством представителя правительства Грузии А. Хведелидзе.

Заслушав и обсудив доклад директора Института Г. В. Трубникова, КПП принял к сведению информацию дирекции Института о рекомендациях 135-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 отметил высокую эффективность деятельности Института по интенсификации и расширению научного сотрудничества с партнерскими организациями государств-членов и ассоциированных членов ОИЯИ, наращиванию уровня взаимодействия с Китайской Народной Республикой, Мексиканскими Соединенными Штатами, Федеративной Республикой Бразилией и Республикой Индией.

КПП с удовлетворением отметил ход выполнения текущего плана исследований и развития научной инфраструктуры ОИЯИ, успешное участие Института в международных коллаборациях и достижения в укреплении международного сотрудничества:

— завершение производства и криогенных испытаний компонентов магнитной системы коллайдера, готовность к вводу в эксплуатацию системы электроснабжения элементов коллайдера, подготовку к запуску новой криогенной компрессорной станции, начало реализации образовательной программы по обучению персонала для ввода в эксплуатацию и дальнейшей работы оборудования комплекса NICA;

— работу по реконструкции данных эксперимента BM@N, в частности, получение статистически значимых сигналов  $\Lambda$ - и  $\Xi$ -гиперонов и  $K_S^0$ -мезона для дальнейшего физического анализа;

— прогресс в производстве всех компонентов детектора MPD первой стадии с минимальными задержками;

— презентацию обновленного технического проекта детектора SPD (TDR) на заседании Программно-консультативного комитета по физике частиц ОИЯИ в январе 2024 г. и начало рассмотрения TDR новым международным экспертным комитетом по детектору (Detector Advisory Committee, DAC) SPD, сформированным в декабре 2023 г.;

— развитие коллаборации ARIADNA, исполнение программы прикладных исследований которой началось на комплексе NICA в начале 2023 г., установку в дополнение к станции СОЧИ двух новых станций — СИМБО и ИСКРА;

— успешное участие Института в работе коллабораций в ЦЕРН с исполнением всех принятых на себя обязательств, а также высокий уровень участия ОИЯИ по программе второго этапа модернизации детекторов ATLAS, CMS и ALICE на LHC;

— прогресс в развитии глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD, установку 576 оптических модулей и двух донных кабельных линий в 2023 г. и успешный ход экспедиции 2024 г., по итогам которой общее число установленных модулей достигло 4000;

— успешное продолжение экспериментов на фабрике сверхтяжелых элементов, в частности, наблюдение двух событий с новым изотопом  $^{288}\text{Lv}$  в реакции  $^{54}\text{Cr} + ^{238}\text{U}$ , что также является важным этапом подготовки к синтезу нового, 120-го элемента в реакции  $^{54}\text{Cr} + ^{248}\text{Cm}$ ;

— развитие ускорительного комплекса DRIBs-III с модернизацией циклотрона У-400М, созданием ускорителя ДЦ-140 и нового экспериментального зала для У-400Р;

— выполнение рабочего плана по подготовке к регулярной работе реактора ИБР-2 и развитие комплекса спектрометров, в частности, детектора обратного рассеяния с широкой апертурой (BSD-A) для фурье-дифрактометра высокого разрешения, детектора малоуглового рассеяния



Дубна, 22–23 марта. Сессия КПП ОИЯИ



Дубна, 22–23 марта. Участники сессии КПП ОИЯИ

нейтронов (SANSARA) и спектрометра неупругого рассеяния нейтронов в обратной геометрии (BJN);

— активное развитие фундаментальных и прикладных направлений исследований, связанных с науками о жизни и физикой конденсированных сред, благодаря развитию межлабораторной исследовательской программы, в частности, на базе ЛРБ;

— важные результаты в области теоретической физики элементарных частиц, атомного ядра, физики конденсированного состояния и современной математической физики, направленные, в частности, на поддержку экспериментальной программы ОИЯИ;

— успешное развитие МИВК ОИЯИ, включая увеличение мощности суперкомпьютера «Говорун», и значительную переориентацию распределенной платформы DIRAC на поддержку экспериментов MPD, BM@N и SPD, а также исследований на нейтринном телескопе Baikal-GVD.

КПП принял к сведению информацию о выполнении поручения КПП от ноября 2023 г. в связи с ограничением деятельности АО «Штрабаг» на территории Российской Федерации и передаче с 1 марта 2024 г. ООО «ТЭС» прав и обязанностей генерального подрядчика по договору генерального подряда «Размещение тяжелоионного коллайдера NICA на площадке ЛФВЭ ОИЯИ в городе Дубне с частичной реконструкцией здания № 1» от 18 сентября 2015 г.

Комитет одобрил усилия дирекции Института по обновлению и развитию социальной инфраструктуры ОИЯИ (ресторан гостиницы «Дубна», комплекс зданий на территории профилактория «Ратмино», Дом международных совещаний) для

обеспечения программы развития кадрового потенциала Института в соответствии с действующим Семилетним планом развития ОИЯИ.

КПП поддержал инициативу дирекции ОИЯИ по созданию в Дубне международного инновационного парка науки и технологий, включая, в частности, строительство современного университетского кампуса и комплексное развитие прилегающих территорий, совместно с высокотехнологичными партнерами из стран-участниц и стран-партнеров ОИЯИ, ОЭЗ «Дубна», региональными и федеральными органами исполнительной власти, государственным университетом «Дубна».

КПП выразил признательность МАГАТЭ и дирекции ОИЯИ за поддержку инициативы по проведению в ОИЯИ двухнедельной стажировки в рамках программы им. Лизы Майтнер МАГАТЭ.

КПП одобрил активизацию участия ОИЯИ в Международном десятилетии фундаментальных наук в интересах устойчивого развития (IDBSSD) под эгидой ЮНЕСКО посредством присоединения ОИЯИ к Хартии Земли.

Комитет поддержал усилия дирекции ОИЯИ в развитии международного научно-технического сотрудничества и создании единого научно-технологического пространства в области нейтронных исследований на уникальных нейтронных источниках, включая исследовательскую инфраструктуру класса «мегасайенс».

КПП одобрил присоединение ОИЯИ к консорциуму по проекту создания международного центра исследований на базе многоцелевого быстрого исследовательского реактора (МБИР) и к международной ассоциации «Междисциплинарный центр нейтронных исследований ПИК»

на условиях, учитывающих особый статус Института и Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 гг., а также интересы стран-участниц ОИЯИ.

КПП поддержал инициативу дирекции Института по созданию нового научного журнала, издаваемого ОИЯИ, и рекомендовал активизировать работу по подготовке к началу издания журнала.

КПП поздравил коллектив Института с 40-летием ввода в эксплуатацию импульсного источника нейтронов ИБР-2, поддержав инициативу дирекции Института и ЛНФ по присвоению имени В.Д. Ананьева площади у здания реактора ИБР-2 на технической площадке ЛЯП ОИЯИ.

Заслушав доклад руководителя Департамента бюджетной и экономической политики Института Н. В. Калинина «Об исполнении бюджета ОИЯИ за 2023 г. и о проекте уточненного бюджета ОИЯИ на 2024 г.», КПП утвердил уточненный бюджет ОИЯИ на 2024 г. по доходам в сумме 214 124,5 тыс. долларов США и расходам в сумме 286 818,2 тыс. долларов США с учетом положительного входящего сальдо в объеме 56 749,0 тыс. долларов США, а также новые формы отчетов об исполнении бюджета ОИЯИ.

КПП принял к сведению информацию о задолженности по уплате взносов в бюджет ОИЯИ государств, вышедших из состава членов ОИЯИ в 2022 г. По состоянию на 31 декабря 2022 г. задолженность Чешской Республики зафиксирована в размере 4 182,3 тыс. долларов США, задолженность Украины — 11 117,4 тыс. долларов США, в том числе реструктуризированная — 315,6 тыс. долларов США. У Республики Польша задолженность отсутствует.

Заслушав и обсудив доклад председателя Финансового комитета А. В. Омельчука «Об итогах заседания Финансового комитета ОИЯИ от 21 марта 2024 г.», КПП утвердил протокол заседания и принял к сведению информацию полномочного представителя правительства Социалистической Республики Вьетнам о том, что размер взноса Вьетнама, который планируется к уплате в 2024 г., не будет превышать взнос Вьетнама на 2023 г. плюс 5 %.

КПП поручил дирекции Института и рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ проработать подход к определению ежегодных взносов государств-членов с учетом ежегодного увеличения бюджета ОИЯИ

на 5 % в период реализации Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. и вопрос отмены правила нижних пределов взносов, начиная с 2025 г., и представить свои предложения на рассмотрение заседания Финансового комитета и сессии КПП в ноябре 2024 г.

КПП принял к сведению информацию, представленную дирекцией Института, по выбору аудиторской организации для проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2023 г. и утвердил ООО АК «Корсаков и Партнеры» аудитором ОИЯИ и план аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2023 г., представленный дирекцией Института.

Заслушав и обсудив доклад начальника юридического отдела Института А. Ю. Харевича «О предложениях по изменению Правил процедуры Финансового комитета ОИЯИ и Правил процедуры Комитета полномочных представителей ОИЯИ», КПП утвердил Правила процедур КПП и Финансового комитета ОИЯИ в новых редакциях.

Заслушав и обсудив доклад А. Ю. Харевича «О статусе проработки вопроса по подготовке и согласованию Перечня должностных лиц ОИЯИ», КПП предварительно одобрил представленный проект, поручив дирекции Института направить данный проект полномочным представителям правительств государств-членов ОИЯИ и просить полномочных представителей проработать вопрос утверждения Перечня должностных лиц ОИЯИ с соответствующими органами и ведомствами государств-членов ОИЯИ в сроки, позволяющие его рассмотрение на сессии КПП в ноябре 2024 г.

Заслушав и обсудив доклад председателя КПП А. Хведелидзе «О решении Республики Молдова о выходе из ОИЯИ», Комитет принял к сведению уведомление Республики Молдова о выходе из Объединенного института ядерных исследований и поручил председателю КПП уведомить Республику Молдова о сохранении полноправного членства в ОИЯИ в течение 2024 г. и вступлении в силу выхода из ОИЯИ с 1 января 2025 г.

Заслушав и обсудив доклад главного ученого секретаря Института С. Н. Неделько «О внесении изменений в Положение о выборах директоров и об утверждении в должности заместителей директоров лабораторий ОИЯИ», КПП утвердил данное положение в новой редакции.

## СЕССИЯ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ, 15 ноября 2024 г.

Очередная сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ состоялась 15 ноября в Минске (Республика Беларусь) под председательством представителя правительства Грузии А. Хведелидзе.

Заслушав и обсудив доклад директора Института Г. В. Трубникова, КПП принял к сведению

информацию дирекции ОИЯИ об 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 развитию ОИЯИ как

международной научно-исследовательской организации.

КПП одобрил системную деятельность ОИЯИ по укреплению сотрудничества с научно-исследовательскими организациями государств-членов и ассоциированных членов ОИЯИ, отметив растущий уровень и результативность сотрудничества научных и научно-образовательных организаций Республики Беларусь и ОИЯИ, а также активную роль Беларуси в реализации флагманских проектов Института, в первую очередь мегапроекта NICA.

КПП с благодарностью отметил высокий уровень внимания Российской Федерации к созданию благоприятных условий для работы ОИЯИ и реализации международного мегасайенс-проекта NICA. Свидетельством этого стал визит Президента Российской Федерации Владимира Владимировича Путина в июне 2024 г. в ОИЯИ и выраженная им стратегическая поддержка деятельности ОИЯИ в сфере развития международного научно-технического сотрудничества, встреча с учеными из стран-участниц ОИЯИ и обсуждение достижений Института, старт технологического пуска комплекса NICA, а также проведение на базе ОИЯИ заседания Совета по науке и образованию при Президенте РФ.

Комитет с удовлетворением принял к сведению решение Совета ЦЕРН не расторгать соглашение о международном сотрудничестве с ОИЯИ и выразил надежду на скорейшее возобновление полномасштабного участия ОИЯИ в деятельности ЦЕРН, а также ЦЕРН в деятельности ОИЯИ, поддержав меры, принимаемые дирекцией ОИЯИ и странами-участницами ОИЯИ в этом направлении.

КПП выразил особое удовлетворение в связи с подписанием соглашения между ОИЯИ и Министерством науки и технологий КНР о начале реализации восьми совместных проектов, а также решительно поддержал укрепление взаимодействия с правительственными органами, научными организациями и университетами Мексики и Индии. КПП приветствовал подписание соглашения о сотрудничестве между ОИЯИ и Национальной комиссией по атомной энергии Бразилии (CNEN), которое открывает большие перспективы для повышения уровня участия Бразилии в ОИЯИ.

КПП с удовлетворением отметил прогресс в создании ускорительного комплекса Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина:

— завершение монтажа магнитно-криостатной системы коллайдера NICA;

— завершение пусконаладочных работ технологического оборудования криогенно-компрессорной станции;

— успешное завершение криогенных испытаний сверхпроводящего соленоида установки MPD и начало его охлаждения до рабочей температуры (жидкого гелия);

— успешное завершение технического проекта детектора SPD и начало работ по созданию его базовых элементов;

— начало цикла технологических испытаний коллайдера, старт которому был дан Президентом Российской Федерации во время визита на ускорительный комплекс NICA.

Комитет приветствовал успешный ход экспериментальной программы в области ядерной физики и модернизацию ускорительного комплекса Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова:

— продолжение экспериментов на фабрике сверхтяжелых элементов, направленных, прежде всего, на подготовку экспериментов по синтезу элементов 119 и 120 на пучках  $^{54}\text{Cr}$  и  $^{50}\text{Ti}$ ;

— завершение модернизации ускорителя U-400M. Ускорены и выведены пучки ионов  $^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{132}\text{Xe}$ , продолжаются работы по выходу на проектные параметры ускорителя. Подготовлен и начат первый эксперимент на пучках  $^{6,8}\text{He}$ ;

— плановый темп строительства нового экспериментального зала U-400P.

Комитет отметил поступательный прогресс в развитии глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD в 2024 г., общее количество установленных оптических модулей которого достигло 4104, а также существенное улучшение береговой инфраструктуры Baikal-GVD.

КПП подчеркнул важное значение вклада Института в работу крупнейших международных коллабораций:

— успешное участие ОИЯИ в работе коллабораций ЦЕРН на LHC по второму этапу модернизации детекторов ATLAS, CMS и ALICE, а также получение новых результатов в экспериментах ЦЕРН-SPS;

— эффективную работу группы ОИЯИ в первом этапе эксперимента COMET в J-PARC (Япония).

КПП с удовлетворением отметил эффективность эксплуатации и развития МИВК ОИЯИ, в том числе суперкомпьютера «Говорун», значительное увеличение емкости ленточного хранилища данных с 50 до 90 ПБ, успешную работу грид-центров ОИЯИ для экспериментов NICA на ресурсах суперкомпьютера «Говорун», Tier-1 и Tier-2 с использованием распределенной вычислительной платформы DIRAC, а также приветствовал выход центра Tier-1 ОИЯИ на первое место по суммарному времени ЦПУ, затраченному на обработку данных, среди центров Tier-1 для эксперимента CMS в 2024 г.

Комитет с удовлетворением принял к сведению информацию о получении лицензии надзорного органа на эксплуатацию реактора ИБР-2, о ведущихся в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка подготовительных работах по запуску реактора и планировании начала экспериментов на внешних пучках весной 2025 г.

КПП с интересом отметил новые результаты в области теоретической физики, ориентирован-



Минск (Беларусь), 15 ноября. Сессия КПП ОИЯИ

ные на экспериментальные программы ОИЯИ в области ядерной физики сверхтяжелых элементов и физики критических явлений в столкновениях релятивистских тяжелых ионов, а также развитие межлабораторной программы фундаментальных и прикладных исследований в области наук о жизни, в частности, новые результаты по медицинской радиобиологии, биоинформатике и астробиологии, полученные в Лаборатории радиационной биологии.

КПП одобрил инициативу дирекции об организации программы поддержки межлабораторных инновационных проектов с целью стимулирования прикладных научных исследований и разработок в ОИЯИ, более активного вовлечения в эту деятельность молодых ученых и инженеров Института, развития взаимодействия с высокотехнологичной индустрией государств-членов ОИЯИ.

КПП поддержал активную научно-образовательную деятельность Учебно-научного центра ОИЯИ и лабораторий Института, направленную, в том числе, на повышение мотивации учителей физики и талантливых учащихся средних школ стран-участниц ОИЯИ.

КПП с удовлетворением отметил успешную работу диссертационных советов ОИЯИ по повышению квалификации научных работников Института и организаций стран-участниц ОИЯИ, успешную реализацию программ постдоков и стипендиатов ОИЯИ.

Одобрив работу, сделанную дирекцией Института и специально созданной рабочей группой, по подготовке к открытию нового научного реферируемого журнала сетевого распространения «Natural Science Review», который будет издаваться ОИЯИ, КПП рекомендовал государствам-членам и партнерам ОИЯИ оказывать содействие дирекции Института в популяризации этого журнала.

КПП приветствовал совместную с Правительством Российской Федерации проработку изменений Соглашения между Правительством РФ и ОИЯИ о местопребывании и об условиях деятельности ОИЯИ в Российской Федерации, подписанного в г. Дубне Московской обл. 23 октября 1995 г.

Комитет согласился с предложениями дирекции ОИЯИ по развитию конкурентоспособной системы оплаты труда в Институте, в том числе с увеличением расходов на персонал в бюджете ОИЯИ на 2025 г., а также мерами по дополнительной мотивации к повышению квалификации и профессиональному росту научных работников и специалистов.

КПП одобрил действия дирекции Института по развитию социальной инфраструктуры ОИЯИ и городской территории Дубны, направленные на создание благоприятных условий проживания сотрудников Института и их семей.

КПП поддержал предложения дирекции ОИЯИ о необходимости организации подготовки к юбилейным мероприятиям ОИЯИ в 2026 г., обе-

спечивающим популяризацию научных достижений Института, стран-участниц ОИЯИ и мировых достижений фундаментальной науки. Комитет ожидает представления плана мероприятий на 2025–2026 гг., приуроченных к 70-летию ОИЯИ, на сессии КПП в марте 2025 г.

Заслушав и обсудив доклад руководителя проекта «Комплекс NICA» В. Д. Кекелидзе «О ходе работ по созданию и запуску базовой конфигурации комплекса NICA и решениях наблюдательного совета проекта „Комплекс NICA“», а также приняв к сведению:

- информацию о сроках создания и запуска базовой конфигурации комплекса NICA;

- информацию о выполнении договора генерального подряда №100/2795 от 18 сентября 2015 г. и ходе работ по строительству комплекса NICA;

- информацию об увеличении объема выполняемых работ;

- информацию о вынужденных решениях по смене некоторых поставщиков, их финансовых последствиях и возникших в связи с этим дополнительных расходах;

- решения 9-го и 10-го заседаний наблюдательного совета проекта «Комплекс NICA», Комитет полномочных представителей:

- согласился с представленным планом-графиком работ по созданию и запуску базовой конфигурации комплекса NICA;

- согласился с необходимостью подготовки и подписания дополнительного соглашения к договору генерального подряда № 100/2795 от 18 сентября 2015 г. на строительство зданий и сооружений (объекты капитального строительства) для размещения тяжелоионного коллайдера NICA на площадке ЛФВЭ ОИЯИ в г. Дубне с частичной реконструкцией здания № 1, с учетом актуальной стоимости и сроков выполняемых работ;

- одобрил принятые дирекцией ОИЯИ организационные и финансовые решения по минимизации рисков неисполнения проекта «Комплекс NICA» (далее — проект) в 2022–2024 гг., поручив дирекции Института продолжить указанную работу, обеспечить принятие решений и мер по сохранению плана-графика проекта и основных параметров комплекса и продолжить активную претензионную работу с недобросовестными поставщиками;

- поручил дирекции ОИЯИ оценить прогнозную стоимость проекта и представить его обоснованную актуализированную стоимость на сессии КПП в марте 2025 г.;

- приветствовал совместную с Правительством Российской Федерации проработку изменений Соглашения между Правительством РФ и ОИЯИ о создании и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA от 2 июня 2016 г., направленных на актуализацию сроков и стоимости реализации проекта создания и эксплуатации



Минск (Беларусь), 15 ноября. Начальник сектора трековых детекторов ЛФВЭ ОИЯИ С. А. Мовчан награжден почетной грамотой Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь



Минск (Беларусь), 15 ноября. Вице-директор ОИЯИ Л. Костов Указом Президента РФ награжден орденом Дружбы

комплекса NICA, а также повышение статуса решений наблюдательного совета проекта.

Заслушав и обсудив доклад руководителя Департамента бюджетной и экономической политики Института Н.В.Калинина «О проекте бюджета ОИЯИ на 2025 г., об ориентировочных взносах государств-членов ОИЯИ на 2026, 2027, 2028 гг.», КПП:

— утвердил бюджет ОИЯИ на 2025 г. по доходам в сумме 229 017,7 тыс. долларов США и расходам в сумме 276 600,3 тыс. долларов США с итоговым отрицательным сальдо в размере 47 582,6 тыс. долларов США;

— разрешил директору Института в 2025 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;

— утвердил взносы государств-членов ОИЯИ на 2025 г. с увеличением на 5% по сравнению с 2024 г., за исключением Арабской Республики Египет, которая уплачивает взносы в бюджет ОИЯИ до 2028 г. на основании графика постепенного вхождения в уплату взносов;

— утвердил ориентировочные взносы государств-членов ОИЯИ на 2026, 2027, 2028 гг.;

— утвердил бюджет на 2025 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 РФ и ОИЯИ, в сумме 1 486 726,7 тыс. рублей;

— одобрил сводную корректировку бюджета ОИЯИ на 2024 г. за 9 месяцев;

— разрешил директору ОИЯИ проиндексировать окладную и тарифную части заработной платы работников Института с учетом потребностей и возможностей бюджета ОИЯИ на 2025 г., в соответствии с Коллективным договором ОИЯИ на 2023–2026 гг.;

— отметил важность поиска в текущих геополитических условиях совместных решений по уплате взносов государств-членов в бюджет ОИЯИ.

Заслушав и обсудив доклад председателя Финансового комитета А. В. Омельчука «Об итогах заседания Финансового комитета ОИЯИ от 14 ноября 2024 г.», КПП утвердил протокол заседания и принял решение в целях стабильного финансового обеспечения реализации Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. определять размеры взносов государств-членов на 2025–2030 гг. путем ежегодного увеличения взноса каждого государства-члена на 5 %. Для Арабской Республики Египет, с учетом утвержденного графика постепенного вхождения в уплату взноса, применять данный способ определения взноса с 2028 г.

Комитет поручил рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ проработать и сформулировать предложения по развитию инструментов финансовой политики ОИЯИ и привлечению дополнительных целевых средств, которые будут способствовать реализации совместных научных, образовательных и инфраструктурных государственно-частных проектов стран-участниц Института и стран-партнеров ОИЯИ.

КПП поручил дирекции Института и рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ продолжить совершенствование действующей методики расчета взносов государств-членов для применения после 2030 г.

КПП сохранил действие правила нижних пределов взносов до утверждения новой редакции методики расчета взносов государств-членов, утвердил аудиторское заключение по итогам проведения аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ и бухгалтерский отчет ОИЯИ за 2023 г.

Заслушав и обсудив доклад председателя КПП А. Хведелидзе «Об утверждении Перечня должностных лиц ОИЯИ», КПП утвердил перечень должностных лиц организации к Соглашению между Правительством РФ и ОИЯИ о местопребывании и об условиях деятельности ОИЯИ в Российской Федерации, подписанному в г. Дубне Московской обл. 23 октября 1995 г., поручил дирекции Института провести переговоры с Правительством РФ о согласовании утвержденного перечня должностных лиц и уполномочил директора Института подписать утвержденный и согласованный с Правительством РФ перечень должностных лиц от имени ОИЯИ.

Заслушав и обсудив доклад главного ученого секретаря Института С. Н. Неделько «О рекомендациях 136-й сессии Ученого совета ОИЯИ (сентябрь 2024 г.)», с учетом информации, представленной в докладе директора ОИЯИ Г. В. Трубникова, КПП принял к сведению информацию дирекции Института о рекомендациях 136-й сессии Ученого совета ОИЯИ, утвердил рекомендации 135-й и 136-й сессий Ученого совета ОИЯИ и Проблемно-тематический план научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 2025 г.

Заслушав и обсудив доклад директора Института Г. В. Трубникова «Об изменении в составе Ученого совета ОИЯИ», КПП избрал членами Ученого совета ОИЯИ Рагхунатха Саху (Индийский технологический институт в Индоре, Индия) и Сун Юньтао (Институт физики плазмы Китайской академии наук, Хэфэй, КНР) на срок полномочий действующего состава Ученого совета.

С интересом заслушав содержательный доклад директора Института ядерных проблем БГУ С. А. Максименко об основных направлениях исследований этого института и потенциале для сотрудничества, КПП поблагодарил докладчика.

КПП выразил благодарность организаторам и полномочному представителю правительства Республики Беларусь в ОИЯИ за высокий уровень подготовки и проведения сессии КПП.

# УЧЕНЫЙ СОВЕТ

## 135-я СЕССИЯ УЧЕНОГО СОВЕТА, 15–16 февраля 2024 г.

15–16 февраля состоялась 135-я сессия Ученого совета ОИЯИ под председательством директора Института Г. В. Трубникова и заместителя председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси С. Я. Килина.

Г. В. Трубников представил всесторонний доклад, в котором были освещены решения сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ (9–10 ноября 2023 г.), результаты выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг., ход реализации проектов, включенных в Проблемно-тематический план на 2024 г., а также последние события в области международного сотрудничества Института.

Ученый совет заслушал информацию о работе программно-консультативных комитетов ОИЯИ, представленную И. Церруей (по физике частиц), В. В. Несвижевским (по ядерной физике), Д. Л. Надем (по физике конденсированных сред).

Ученому совету была представлена новая редакция Положения о выборах директоров и об утверждении в должностях заместителей директоров лабораторий ОИЯИ, предложенная дирекцией ОИЯИ.

На сессии было объявлено о присвоении звания «Почетный доктор ОИЯИ». Состоялось утверждение в должностях заместителей директоров ЛЯП и ЛНФ. Объявлена вакансия на должность директора ЛЯР.

Были заслушаны доклады молодых ученых, рекомендованные ПКК.

Ученый совет утвердил решение жюри о присуждении ежегодных премий ОИЯИ за лучшие научно-исследовательские теоретические и экспериментальные работы, научно-методические и научно-технические работы, а также научно-технические прикладные работы.

Ученый совет принял следующую резолюцию.

### Общие положения

По докладу директора ОИЯИ Г. В. Трубникова Ученый совет с удовлетворением отметил впечатляющие результаты в развитии крупной исследовательской инфраструктуры Института, значительный вклад ОИЯИ в международное сотрудничество, особенно в ЦЕРН, а также последние достижения Института:

— завершение изготовления и криогенных испытаний компонентов магнитной системы коллайдера, готовность к вводу в эксплуатацию системы электроснабжения элементов коллайдера, подготовку к запуску новой криогенной компрессорной станции, начало реализации образовательной программы по обучению персонала для ввода в эксплуатацию и дальнейшей работы оборудования комплекса NICA;

— прогресс в реконструкции первичных экспериментальных данных, зафиксированных BM@N, в частности, реконструкции статистически значимых сигналов  $\Lambda$ - и  $\Xi$ -гиперонов и  $K_S^0$ -мезона для дальнейшего физического анализа;

— прогресс в изготовлении всех компонентов первой ступени детектора MPD с минимальными задержками;

— представление обновленного отчета о техническом проекте TDR SPD на заседании ПКК в январе 2024 г. и начало процесса рассмотрения обновленного TDR новым международным консультативным комитетом по детектору SPD (SPD DAC), сформированным в декабре 2023 г.;

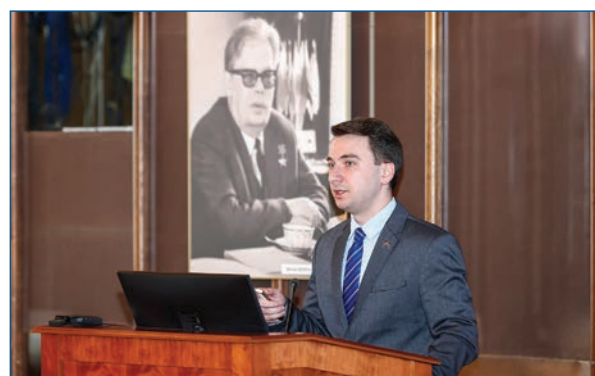
— развитие коллаборации ARIADNA, программа прикладных исследований которой была запущена на комплексе NICA в начале 2023 г., тестирование станции СОЧИ на пучке ядер Ag и установку двух других станций — СИМБО и ИСКРА;

— успешное участие Института в работе коллабораций в ЦЕРН, а также высокий уровень активности ОИЯИ в выполнении своих обязательств по программе второго этапа модернизации детекторов ATLAS, CMS и ALICE;

— прогресс в развитии глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD, установку в 2023 г. 576 оптических модулей и двух донных кабельных линий, а также изготовление 470 оптических модулей для установки в ходе экспедиции 2024 г.;

— успешное продолжение экспериментов на фабрике сверхтяжелых элементов, в частности, наблюдение двух событий нового изотопа  $^{288}\text{Lv}$  в реакции  $^{54}\text{Cr} + ^{238}\text{U}$ , что также является важным этапом подготовки к синтезу нового элемента 120 в реакции  $^{54}\text{Cr} + ^{248}\text{Cm}$ ;

— ход работ по созданию ускорительного комплекса DRIBs-III с модернизацией циклотро-



Дубна, 15–16 февраля. 135-я сессия Ученого совета ОИЯИ

на У-400М, первый пучок на котором ожидается весной 2024 г., ход строительных работ по ДЦ-140 с ожидаемым вводом в эксплуатацию в конце 2024 г., а также плановое выполнение строительных работ в новом экспериментальном зале У-400Р;

— успешное выполнение плана работ по подготовке продолжения штатной эксплуатации реактора ИБР-2, а также ход работ по созданию

спектрометрического комплекса, в частности, широкоапертурного детектора обратного рассеяния (BSD-A) для фурье-дифрактометра высокого разрешения, детектора малоуглового рассеяния нейтронов / нейтронной радиографии (SANSARA) и спектрометра неупругого рассеяния нейтронов в обратной геометрии (BJN);

— активное развитие фундаментальных и прикладных направлений исследований, связан-

ных с науками о жизни и физикой конденсированных сред, благодаря разработке межлабораторной программы исследований в ЛРБ;

— успешную работу ЛТФ и важные результаты в области физики элементарных частиц, ядерной физики, физики конденсированных сред, а также современной математической физики, направленные, в частности, на теоретическое обеспечение экспериментальной программы ОИЯИ;

— успешное развитие МИВК ОИЯИ, в том числе увеличение мощности суперкомпьютера «Говорун», использование распределенной платформы DIRAC для поддержки коллабораций экспериментов MPD, BM@N и SPD на NICA, а также исследований на нейтринном телескопе Baikal-GVD.

## Рекомендации программно-консультативных комитетов

Ученый совет принял к сведению рекомендации, выработанные на сессиях ПКК в январе 2024 г.

**Физика частиц.** Ученый совет отметил поддержку ПКК нового Семилетнего плана развития ОИЯИ и планов дирекции Института сконцентрировать усилия на приоритетной реализации крупных проектов, в том числе флагманского мегасайенс-проекта NICA.

Ученый совет поздравил команду ускорительного комплекса NICA с успешным завершением сборки станций ИСКРА и СИМБО для прикладных исследований и с установкой элементов систем RF1 и RF2 в туннеле NICA. Ученый совет одобрил планы по полному завершению ввода в эксплуатацию криогенного комплекса NICA в августе 2024 г., а также старт программы обучения персонала в рамках подготовки к вводу коллайдера в эксплуатацию в 2025 г.

Ученый совет отметил успешную обработку зарегистрированных в эксперименте BM@N столкновений Xe + CsI с энергией 3,8 ГэВ с использованием системы DIRAC на компьютерах ЛИТ Tier-1/Tier-2.

Высоко оценив создание международного консультативного комитета по детектору SPD (SPD DAC) и успехи в формировании коллаборации SPD, Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК новому комитету провести тщательный анализ обновленного TDR и представить отчет на следующей сессии ПКК.

Ученый совет одобрил рекомендации ПКК о продлении на 3 года — до конца 2027 г. с рейтингом А — проекта «СКАН-3» по изучению образования  $\eta$ - и  $\Delta$ -ядер на нуклотроне, проекта «АЛПОМ-2», нацеленного на измерение анализирующей способности реакций рассеяния поляризованных нуклонов на различных мишенях, а также проекта DSS по изучению спиновой структуры короткодействующих двух- и трехнуклонных корреляций.

Ученый совет разделил мнение ПКК о том, что ввод в эксплуатацию установки NICA и высокий

приоритет, отдаваемый флагманским экспериментам NICA — BM@N, MPD и SPD, может повлиять на своевременную реализацию проектов «СКАН-3», «АЛПОМ-2» и DSS. Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК руководству ЛФВЭ и NICA определить общую стратегию доступности пучкового времени для пользователей на ближайшие 2–3 года.

Ученый совет принял к сведению предложение об открытии нового проекта «Фундаментальная и прикладная физика с использованием пучков релятивистских ускоренных электронов (FLAP)» на линейном ускорителе электронов Linac-200. Ученый совет одобрил рекомендацию ПКК открыть новый проект FLAP на период 2025–2029 гг. с рейтингом А.

Ученый совет принял к сведению предложение об открытии нового проекта «ГиперНИС-SRC: странность в адронной материи и короткодействующие двухнуклонные корреляции». Ученый совет вместе с ПКК поддержал предлагаемый эксперимент с гиперядрами на нуклотроне, планы по расширению установки для исследования SRC и одобрил рекомендацию открыть этот проект до конца 2029 г. с рейтингом А.

Ученый совет высоко оценил вклад групп ОИЯИ, участвующих в экспериментах на LHC и SPS, в физический анализ и модернизацию установок.

**Ядерная физика.** Ученый совет одобрил план работ по научным исследованиям и развитию инфраструктуры лабораторий ОИЯИ в области ядерной физики в рамках тем и проектов на 2024 г.

Научная программа темы «Нейтронная ядерная физика» будет реализовываться в рамках трех проектов: двух научных («Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» и «TANGRA») и одного научно-технического («Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры»).

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

В 2024 г. планируется выполнить исследование резонансного захвата нейтронов на  $^{176}\text{Lu}$  и  $^{177}\text{Lu}$  в диапазоне энергий нейтронов 1–300 эВ. Целью эксперимента является изучение влияния кориолисова взаимодействия на структуру ядерно-возбужденных состояний. Будут продолжены исследования редких мод деления (тройного, четверного и пятерного) ядер  $^{233}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$  под действием нейтронов.

Областью интереса проекта «TANGRA» являются ядерные реакции, происходящие под действием нейтронов с энергией около 14 МэВ.

Основные направления исследований в 2024 г.: измерение сечений реакций ( $n, \chi$ ) на 22 элементах для элементного анализа, моделирования ядерных установок методом Монте-Карло и проверки теоретических расчетов; измерение угловых корреляций нейтронов и  $\gamma$ -квантов в неупругом рассеянии нейтронов на углероде.

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

Ученый совет поддержал дальнейшую реализацию научной программы на 2024 г., предложенной в рамках темы «Нейтронная ядерная физика» и ее проектов.

Научная программа ЛЯР в 2024 г. в рамках темы «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности» будет реализовываться в рамках двух проектов: «Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов» и «Легкие экзотические ядра на границах нуклонной стабильности». Ученый совет поддержал научно-технические программы на 2024 г. по этой теме и двум проектам.

Проект «Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов» на фабрике СТЭ будет направлен на продолжение эксперимента с реакцией  $^{54}\text{Cr} + ^{238}\text{U}$ , имеющего исключительно важное значение для подготовки к синтезу новых сверхтяжелых элементов с номерами 119 и 120. Также планируется подготовить и провести первые эксперименты по спектроскопии изотопов сверхтяжелых элементов, образующихся в реакции  $^{48}\text{Ca} + ^{242}\text{Pu}$ . Эксперимент будет выполнен на сепараторе GRAND и детектирующей установке GABRIELA-2 с пятью  $\gamma$ -детекторами клеверного типа из сверхчистого германия. Ожидается наблюдение  $\alpha$ -распада четно-четного ядра  $^{286}\text{Fl}$  на первое возбужденное состояние  $^{282}\text{Sn}$ .

Основной задачей проекта «Легкие экзотические ядра на границах нуклонной стабильности» в 2024 г. станет подготовка и проведение первых экспериментов по исследованию структуры легких ядер, расположенных вблизи границ нуклонной стабильности, на фрагмент-сепараторах ACCULINNA и ACCULINNA-2 модернизированного ускорителя У-400М. Исследования будут сфокусированы на изучении структуры тяжелых изотопов гелия  $^{6,7}\text{He}$ , а также механизмов реакций, ведущих к образованию несвязанных экзотических систем, таких как  $4\text{h}$ .

Ученый совет поддержал крупную научно-исследовательскую инфраструктуру ОИЯИ «Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР (DRIBs-III)». В 2024 г. основные усилия в рамках проекта будут сосредоточены на:

— обеспечении пучками с требуемыми характеристиками для реализации программы экспериментальных исследований ЛЯР на действующи-

щих ускорительных комплексах ДЦ-280 (фабрика СТЭ) и У-400;

— завершении модернизации и проведении пусконаладочных работ на ускорителе У-400М, а также обеспечении выполнения первых экспериментов на пучках радиоактивных ядер;

— завершении создания комплекса ДЦ-140 для проведения прикладных исследований на пучках тяжелых ионов.

В рамках проекта «Создание ускорительного комплекса У-400Р» продолжится техническая проработка узлов модернизируемого ускорителя У-400Р, сооружение нового экспериментального корпуса, а также работа над проектами новых экспериментальных установок для размещения в этом корпусе.

Проект «Развитие экспериментальных установок для исследования химических и физических свойств сверхтяжелых элементов» направлен на создание многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра и пресепаратора GASSOL на базе газонаполненного сверхпроводящего солениода.

Направления ядерно-физических исследований в ЛЯП включают как классическую спектрометрию радиоактивных изотопов, так и исследование различных редких явлений методами ядерной физики. В раздел «Ядерная физика» ПТП ОИЯИ входит одна из основных научных тем ЛЯП — «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика», которая нацелена на поиск доказательств существования новой физики за пределами Стандартной модели. В рамках темы реализуются три проекта: «Ядерная спектрометрия для поиска и исследования редких явлений», «Исследование реакторных нейтрино на короткой базе» и «Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины».

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

Ученый совет одобрил представленные планы на 2024 г. и рекомендовал продолжить поддержку реализации научной программы ЛЯП по ядерной физике.

**Физика конденсированных сред.** Ученый совет принял к сведению информацию о ходе получения лицензии на эксплуатацию ИЯУ ИБР-2 и о подготовительных работах по замене воздушных теплообменников второго контура охлаждения реактора. Наряду с ПКК Ученый совет одобрил планы и усилия ЛНФ по перезапуску работы ИЯУ ИБР-2 в 2024–2025 гг.

Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК о продолжении работ по верификации модели динамики импульсных реакторов, выбору оптимальной компоновки активной зоны и оптимизации конструкции корпуса и модулятора реактивности реактора. Ученый совет приветствовал продолжение создания перечня НИОКР для раз-

работки полномасштабного макета модулятора реактивности реактора, высоко оценив создание концепции системы быстрой смены рабочего вещества в камере криогенного замедлителя реактора. Ученый совет также согласился с ПКК в том, что разработка научной программы реактора «Нептун» должна быть продолжена наряду с работами, проводимыми в рамках крупной научной инфраструктуры «Импульсный источник нейтронов и комплекс спектрометров».

Ученый совет с удовлетворением оценил состояние фурье-стресс-дифрактометра ФСД на канале 11А ИЯУ ИБР-2. Опираясь на мнение ПКК, Ученый совет отметил, что достижения ЛНФ в разработке метода корреляционной дифрактометрии будут весьма полезны для создания инструментов на новых источниках нейтронов с длинным импульсом, и поддержал дальнейшее развитие этого метода.

Ученый совет рекомендовал применять действующие в ОИЯИ процедуры оценки проектов на будущих сессиях ПКК.

### Доклады молодых ученых

Ученый совет с интересом заслушал доклады молодых ученых, которые были выбраны программно-консультативными комитетами для представления на данной сессии: «Разработка технологии производства двусторонних кремниевых микростриповых модулей для модернизации кремниевой трековой системы NICA BM@N» А. Д. Шереметьева (ЛФВЭ), «Усиленное направленное извлечение очень холодных нейтронов с помощью отражателя из порошка алмазных наночастиц» А. Ю. Незванова (ЛНФ) и «Фазовые переходы в оксидах Карпи-Гали  $\text{Ln}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  ( $\text{Ln} = \text{La}, \text{Nd}, \text{Pr}$ ) при высоких давлениях» А. Асадова (ЛНФ).

### Об изменениях в Положении о выборах директоров и об утверждении в должности заместителей директоров лабораторий ОИЯИ

Ученый совет одобрил новую редакцию Положения о выборах директоров и об утверждении

в должности заместителей директоров лабораторий ОИЯИ, предложенную дирекцией ОИЯИ, и рекомендовал утвердить ее на следующей сессии КПП в марте 2024 г.

### Награды и премии

Ученый совет утвердил предложение директора ОИЯИ Г. В. Трубникова о присвоении звания «Почетный доктор ОИЯИ» Ч. Стоянову (Болгария), а также решение жюри, представленное вице-директором ОИЯИ Л. Костовым, о присуждении ежегодных премий ОИЯИ за лучшие научно-исследовательские теоретические и экспериментальные работы, научно-методические и научно-технические работы, а также научно-технические прикладные работы.

### Выборы и объявление вакансий в дирекциях лабораторий ОИЯИ

Ученый совет утвердил А. В. Гуськова в должности заместителя директора Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова (ЛЯП) до окончания полномочий директора ЛЯП Е. А. Якушева. Ученый совет утвердил Б. Мухаметулы в должности заместителя директора Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка (ЛНФ) до окончания полномочий директора ЛНФ Е. В. Лычагина.

Ученый совет объявил вакансию на должность директора Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова. Выборы состоятся на 137-й сессии Ученого совета в феврале 2025 г.

В связи с тем, что действующая дирекция ЛФВЭ успешно работает на завершающем этапе создания комплекса NICA, представляется целесообразным дать команде ЛФВЭ возможность завершить этот этап в имеющемся составе и с действующим распределением обязанностей и управленческих функций. В связи с этим Ученый совет согласился продлить полномочия всех заместителей директора ЛФВЭ до выборов директора ЛФВЭ.

## 136-я СЕССИЯ УЧЕНОГО СОВЕТА, 12–13 сентября 2024 г.

12–13 сентября состоялась 136-я сессия Ученого совета ОИЯИ под председательством директора Института Г. В. Трубникова и заместителя председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси С. Я. Килина.

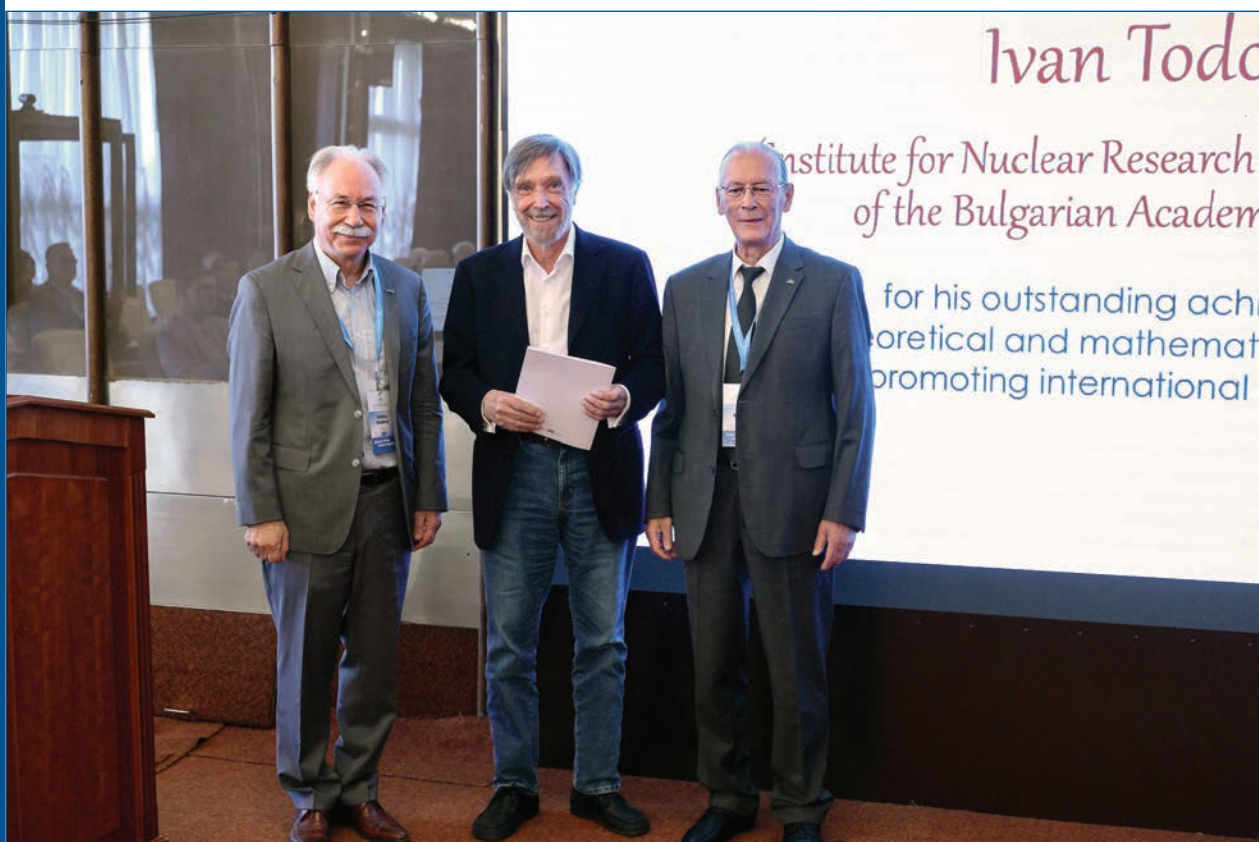
Г. В. Трубников представил всесторонний доклад, в котором были освещены решения сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ (22 марта 2024 г.), результаты выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг., ход реализации научных проектов, включенных в Проблемно-тематический план на 2024 г., а так-

же последние события в области международного сотрудничества Института.

Ученый совет заслушал информацию о работе программно-консультативных комитетов ОИЯИ, представленную их председателями И. Церруей (по физике частиц), В. В. Несвижевским (по ядерной физике), Д. Л. Надем (по физике конденсированных сред).

На сессии был заслушан научный доклад «Поиск кварк-глюонной плазмы на Большом адронном коллайдере: что дальше?», представленный Рагхунатхом Саху (IIT Indore, Индия).





Дубна, 12-13 сентября. 136-я сессия Ученого совета ОИЯИ

Состоялись выборы директора ЛРБ, объявлены вакансии на должности заместителей директора ЛРБ.

Были объявлены решения о присуждении премии им. В. П. Дзелепова, премии им. Г. Н. Флерова, премии «Оганесон». Состоялось вручение премии им. Н. Н. Боголюбова и выступление лауреата.

Были заслушаны доклады молодых ученых, рекомендованные ПКК.

Состоялось вручение дипломов лауреатам ежегодных премий ОИЯИ за лучшие научные, научно-методические и научно-технические прикладные работы.

Ученый совет принял следующую резолюцию.

## Общие положения

Заслушав доклад директора ОИЯИ Г. В. Трубникова, Ученый совет одобрил деятельность ОИЯИ по расширению сотрудничества с научно-исследовательскими организациями государств-членов и ассоциированных членов ОИЯИ.

Совет с благодарностью отметил высокий уровень внимания Российской Федерации к поддержке и развитию благоприятных и плодотворных условий для работы ОИЯИ, в том числе как государства-соучредителя и местопребывания международного мегасайенс-проекта NICA, свидетельством чего стал визит Президента РФ В. В. Путина в ОИЯИ и проведение на площадке Института заседания Совета по науке и образованию при Президенте РФ.

Ученый совет оценил решение Совета ЦЕРН о продолжении участия ОИЯИ в деятельности ЦЕРН, выразив уверенность, что ученые и дирекции ЦЕРН и ОИЯИ обеспечат эффективное взаимовыгодное сотрудничество, несмотря на геополитические трудности.

Ученый совет особо приветствовал подписание соглашения между ОИЯИ и Министерством науки и технологий Китайской Народной Республики (MOST) о начале реализации восьми совместных проектов, а также решительно поддержал продолжение расширения сотрудничества с Мексикой, Бразилией и Индией.

Ученый совет с удовлетворением отметил, в частности:

— прогресс технологических испытаний на кольце коллайдера NICA, включая установку системы магнитного криостата коллайдера, двух ВЧ-станций и конечных фокусирующих линз, объединение секций высоковакуумного объема в западной и восточной дугах, установку криогенного оборудования и источников питания в здании коллайдера, подключение линий электропередач и системы эвакуации энергии;

— стремление зарегистрировать первые столкновения пучков ксенона в детекторе MPD в августе 2025 г.;

— прогресс в анализе образования  $\Lambda$ -гиперонов и  $K_S^0$ -мезонов и коллективного потока протонов в экспериментальных данных Xe + CsI,

зарегистрированных в эксперименте BM@N, и публикацию статьи коллаборации BM@N в журнале NIM A (Nuclear Instruments & Methods in Physics Research);

— успешное охлаждение соленида MPD до температуры 72 K, подготовительные работы к анализу первых наборов данных в режиме фиксированной цели;

— завершение работы над обновленным техническим проектом SPD (SPD TDR) и его утверждение на заседании ПКК в июне 2024 г., прогресс в разработке прототипов детектора;

— развитие коллаборации ARIADNA и ее исследовательской программы, подготовку к эксперименту на биоспутнике, запланированному на 2025 г.;

— прогресс в развитии глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD в ходе кампании 2024 г., в результате чего общее количество установленных оптических модулей достигло 4104, лазерных станций — 8, а также была существенно улучшена береговая инфраструктура;

— успешное продолжение исследований на фабрике сверхтяжелых элементов, направленных прежде всего на подготовку экспериментов по синтезу элементов 119 и 120 с пучками  $^{54}\text{Cr}$  и  $^{50}\text{Ti}$ . Экспериментально известная область карты атомных ядер была расширена за счет открытия изотопов  $^{288}\text{Lv}$  и  $^{289}\text{Lv}$ , синтезированных в реакциях  $^{50}\text{Ti} + ^{242}\text{Pu}$  и  $^{54}\text{Cr} + ^{238}\text{U}$ . Испытание новой мишени большого диаметра (480 мм) показало, что ее использование существенно ускорит предстоящие эксперименты по синтезу и спектроскопии сверхтяжелых ядер за счет увеличения тока пучка в два раза;

— завершение модернизации ускорителя U-400M, ускорение и транспортировку пучков ионов  $^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{132}\text{Xe}$ , продолжение работ по выходу ускорителя на проектные параметры и подготовку к первым экспериментам, запланированным на осень 2024 г.;

— быстрый прогресс в строительстве нового экспериментального зала U-400P и завершение строительства галереи от зала циклотрона U-400 до нового экспериментального зала;

— ведущиеся в ЛНФ подготовительные работы по запуску реактора ИБР-2: получение лицензии надзорного органа на эксплуатацию реактора ИБР-2, замену одного из двух воздушных теплообменников, работы по замене второго. Техническая готовность к пуску реактора ИБР-2 предполагается в ноябре 2024 г. Экспериментальные работы на внешних пучках ожидаются весной 2025 г.;

— важные результаты в фундаментальных и прикладных областях исследований, связанных с материаловедением и экологией, проводимых в ЛНФ, и в области наук о жизни, благодаря развитию межлабораторной программы исследований, в частности, в ЛРБ;

— интересные результаты в области теоретической физики элементарных частиц, атомного ядра, физики конденсированного состояния и

передовой математической физики, направленные, в частности, на поддержку экспериментальной программы ОИЯИ;

— успешную эксплуатацию и развитие Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК) ОИЯИ, в том числе выход центра Tier-1 ОИЯИ на первое место в мире среди центров Tier-1 по времени CPU для обработанных данных;

— успешное участие Института в работе коллабораций в ЦЕРН, включая вторую фазу программы модернизации детекторов ATLAS, CMS и ALICE на комплексе LHC и новые результаты в экспериментах на протонном суперсинхротроне (SPS) ЦЕРН;

— эффективное участие группы ОИЯИ в первой фазе эксперимента COMET на протонном ускорительном комплексе J-PARC (Япония).

## Рекомендации программно-консультативных комитетов

Ученый совет принял к сведению рекомендации, выработанные на сессиях ПКК в июне 2024 г. и представленные председателем ПКК по физике частиц И. Церруей, председателем ПКК по ядерной физике В. В. Несвижевским и председателем ПКК по физике конденсированных сред Д. Л. Надем.

**Физика частиц.** Ученый совет высоко оценил поддержку ПКК планов дирекции Института по обеспечению полноценного сотрудничества ученых и специалистов стран-участниц ОИЯИ с ЦЕРН, а также предпринимаемые усилия по укреплению существующего сотрудничества и установлению новых научных связей с Китаем, Индией, Мексикой, Бразилией.

Ученый совет принял к сведению успешное завершение первого этапа мегасайенс-проекта NICA: введен в эксплуатацию инжекционный комплекс коллайдера, включающий источник тяжелых ионов «Крион-6Т», HILac, бустер, нуклотрон и линии транспортировки пучка; на установках с фиксированной мишенью стартовала программа фундаментальных и прикладных исследований. Запуск экспериментальной программы на коллайдере запланирован на 2025 г. с постепенным увеличением светимости. Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК продлить проект «Нуклотрон-NICA» до конца 2027 г. с рейтингом А.

Ученый совет отметил успехи в изготовлении компонентов детектора первой степени MPD и подготовке соленоида MPD к измерениям магнитного поля, запланированным на октябрь 2024 г. Детектор должен быть готов к перемещению в положение пучка к июлю 2025 г., чтобы соответствовать графику ускорителя NICA. Ученый совет также отметил первые физические результаты, полученные командой BM@N для зарегистрированных в 2023 г. столкновений  $\text{Xe} + \text{CsI}$  с энергией 3,8 ГэВ.

Ученый совет высоко оценил достижения команды SPD в проведении множества НИОКР

для подготовки концептуального и технического проектов установки, выразил благодарность консультативному комитету по детектору SPD, который провел тщательную проверку обновленного TDR SPD, и поддержал рекомендацию ПКК о продлении проекта SPD до конца 2029 г. с рейтингом А.

Ученый совет поддержал рекомендации ПКК продолжить участие ОИЯИ в эксперименте NA61/SHINE на SPS в ЦЕРН и эксперименте STAR на RHIC (США) до конца 2026 г. с рейтингом В.

Высоко оценив успехи команды ОИЯИ, участвующей в эксперименте NA62 (ЦЕРН), который нацелен на изучение редких распадов каонов для проверки СМ и уточнения параметров киральной теории возмущений, Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК о продолжении участия группы ОИЯИ в эксперименте NA62 до конца 2027 г. с рейтингом А.

Ученый совет отметил важный вклад группы ОИЯИ, участвующей в эксперименте COMET на J-PARC (Япония), в разработку и создание главных подсистем детектора. Ученый совет высоко оценил участие представителей группы ОИЯИ в структурах управления коллаборацией COMET и одобрил рекомендацию ПКК продолжить участие группы ОИЯИ в эксперименте COMET до конца 2029 г. с рейтингом А.

Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК об открытии нового проекта «Развитие методики регистрации частиц в будущих экспериментах с участием ОИЯИ», направленного на разработку новых детекторов и новых методов обработки и анализа экспериментальных данных, сроком на один год с рейтингом А.

Ученый совет высоко оценил вклад коллективов ОИЯИ, участвующих в экспериментах на LHC в ЦЕРН, в физический анализ и модернизацию детекторов.

**Ядерная физика.** Ученый совет отметил большую работу по модернизации циклотрона У-400М, направленную на увеличение интенсивности и энергии пучков тяжелых ионов, а также на повышение надежности и стабильности работы ускорителя. Ввод У-400М в эксплуатацию и проведение на нем первых экспериментов запланированы на второе полугодие 2024 г.

На фабрике СТЭ ЛЯР были продолжены эксперименты по получению изотопов сверхтяжелых элементов  $^{275,276}\text{Ds}$  в реакции  $^{48}\text{Ca} + ^{232}\text{Th}$ , в которой было зарегистрировано шесть цепочек распада нового изотопа  $^{275}\text{Ds}$ .  $^{275}\text{Ds}$  был впервые получен в реакции с  $^{48}\text{Ca}$  и идентифицирован методом последовательных  $\alpha$ -распадов, ведущих к известным ядрам  $^{271}\text{Hs}$ ,  $^{267}\text{Sg}$  и  $^{263}\text{Rf}$ , синтезированным ранее в реакции  $^{248}\text{Cm}(^{26}\text{Mg}, 3n)^{271}\text{Hs}$ . Впервые в реакции  $^{238}\text{U} + ^{54}\text{Cr}$  был синтезирован новый изотоп  $^{288}\text{Lv}$  и измерено сечение его образования около 70 фб. Ученый совет отметил, что выполненный эксперимент на пучке  $^{54}\text{Cr}$  является важным шагом для подготовки экспериментов по синтезу элементов с  $Z > 118$ . Ученый совет рекомендовал продолжить работы по синтезу и

изучению свойств распада изотопов сверхтяжелых элементов, в частности, в реакциях на пучках  $^{54}\text{Cr}$  и  $^{50}\text{Ti}$ .

Ученый совет отметил важные результаты, полученные при анализе данных экспериментов на введенном в эксплуатацию сепараторе ACCULINNA-2 до модернизации ускорительного комплекса У-400М, в частности, новые данные о низкоэнергетических спектрах несвязанных ядерных систем  $4n$ ,  $^{5-7}\text{H}$ ,  $^{7,9}\text{He}$ ,  $^{8,10}\text{Li}$ , образующихся в реакциях передачи, с разрешением основных состояний  $^6\text{H}$  и  $^7\text{H}$ , наблюдаемым с предельно малыми сечениями.

В ходе экспериментов по изучению реакций передачи нейтронов, протонов и  $\alpha$ -частиц с использованием радиоактивных пучков  $^{6,8}\text{He}$  и криогенной газовой мишени  $^2\text{H}$  предлагается исследовать реакцию  $^4\text{He} + ^8\text{He}$ , которая может дать дополнительную информацию о механизме образования динейтрона и тетранейтрона.

В рамках проекта «Ядерный болометр», финансируемого федеральным бюджетом РФ и Росатомом, ЛЯП участвует в разработке низкотемпературных систем детектирования, работающих в диапазоне энергий ниже 1 эВ. Согласившись с тем, что развитие новейших систем детектирования, предназначенных для исследования редких событий в области низких энергий, является важным и актуальным, Ученый совет отметил, что проект «Ядерный болометр» не требует дополнительного финансирования со стороны ОИЯИ, и поддержал рекомендации ПКК по ядерной физике проводить данные работы как активность в рамках темы «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика».

Радиохимические исследования, проводимые в ЛЯП, осуществляются в рамках проекта «Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины». Ученый совет отметил следующие разработанные методики:

— получение и очистка радионуклидных препаратов для синтеза радиофармпрепаратов и изготовление спектрометрических источников;

— получение низкофоновых материалов с уникально низким содержанием радиоактивных примесей;

— анализ радиофармпрепаратов и их прекурсоров, а также чистоты полученных радиопрепаратов и низкофоновых материалов.

Ученый совет высоко оценил радиохимические исследования, проводимые в ЛЯП, их качественные и прецизионные результаты, отметил значительный вклад этих исследований в ядерную медицину, спектрометрию и астрофизику и рекомендовал продолжить работы по радиохимическим исследованиям в рамках проекта «Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины».

**Физика конденсированных сред.** Ученый совет приветствовал усилия коллектива ЛНФ по созданию нового источника нейтронов и поддержал основные направления этих работ, в том числе по определению необходимой приборной базы

установки, разработке моделей динамики реактора, изучению нагрева элементов модулятора и корпуса реактора. Ученый совет разделил мнение ПКК о необходимости продолжения работ по проекту нового источника нейтронов.

Ученый совет принял к сведению информацию о ходе получения лицензии на эксплуатацию ИЯУ ИБР-2 и о подготовительных работах по замене воздушных теплообменников второго контура охлаждения реактора. Ученый совет приветствовал намерения дирекции ЛНФ по перезапуску работы ИЯУ ИБР-2 в 2024–2025 гг. и возобновлению работы программы пользователей в 2025 г.

Ученый совет одобрил ход работ по модернизации спектрометров ИБР-2, отметив активную подготовку установок к пуску реактора в конце 2024 г. Два новых сцинтилляционных детектора (АСТРА-М, ДОР) установлены на пучках ИБР-2 и готовы для проведения тестовых измерений после старта реактора. Ученый совет также удовлетворен реализацией проекта BUN и активностью по созданию установки SANSARA и рекомендовал продолжить создание этой установки.

Ученый совет с удовлетворением отметил текущее состояние дифрактометра ДН-6 для исследования материалов при сверхвысоких давлениях, в частности, проведение его значительной модернизации, что позволит улучшить качество получаемых экспериментальных данных. Ученый совет разделил мнение ПКК о продолжении развития дифрактометра ДН-6.

Ученый совет поддержал рекомендации ПКК об открытии нового проекта ЛЯР «Высокочувствительные сенсоры, работающие на принципах молекулярного узнавания для детектирования вирусов» для реализации в 2025–2029 гг. и о продолжении работ в рамках проекта ЛЯП «Защита от физико-химических стрессов с помощью белков тихоходок (TARDISS)».

## Доклады молодых ученых

Ученый совет с интересом заслушал доклады молодых ученых, которые были выбраны программно-консультативными комитетами для представления на данной сессии: «Исследование образования  $\Lambda$ -гиперонов при столкновениях углерода с твердыми мишенями в эксперименте BM@N» К. А. Алишиной (ЛФВЭ), «Отслеживание многоканальных оповещений телескопом Baikal-GVD в режиме реального времени» В. Дик (ЛЯП) и «Влияние высокого давления на кристаллическую, магнитную структуры и колебательные спектры ван-дер-ваальсовых соединений» О. Н. Лис (ЛНФ). Ученый совет поблагодарил докладчиков, приветствуя включение избранных докладов в повестку будущих сессий Ученого совета ОИЯИ.

## О составах ПКК

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



Дубна, 13 сентября. На 136-й сессии Ученого совета ОИЯИ объявлены имена лауреатов премии «Оганесон» за 2024 г.

членов: А. Джайсвала (NISER, Бхубанешвар, Индия), Л. Литова (Софийский университет им. святого Климента Охридского, София, Болгария), Г. Маджумдера (TIFR, Мумбаи, Индия).

Ученый совет назначил Н. В. Рави Кумара (IIT Madras, Ченнаи, Индия) в состав ПКК по физике конденсированных сред сроком на три года.

### Научный доклад

Ученый совет с интересом заслушал научный доклад Р. Саху (IIT Indore, Индия) «Поиск кварк-глюонной плазмы на Большом адронном коллайдере: что дальше?» и поблагодарил докладчика.

### Награды и премии

Ученый совет утвердил решение жюри о присуждении премии им. В. П. Джелепова М. В. Фронтасевой (ЛНФ ОИЯИ) за значительный вклад в развитие международной программы по оценке качества воздуха методом нейтронно-активационного анализа.

Ученый совет утвердил решение жюри о присуждении премии им. Г. Н. Флерова:

— академику Р. И. Илькаеву (РФЯЦ-ВНИИЭФ), соавтору открытия элемента 114 (флеровия), за большой вклад в синтез и исследование свойств сверхтяжелых ядер;

— Е. Д. Донцу (ЛФВЭ ОИЯИ), Е. Е. Донцу (ЛФВЭ ОИЯИ), Чжао Хунвэю (Институт современной физики Китайской академии наук) за создание источников высокозарядных ионов для полу-

чения интенсивных пучков ускоренных ионов средних и высоких энергий.

Ученый совет утвердил решение жюри о присуждении премии им. Н. Н. Боголюбова А. де Рухуле (ЦЕРН) и И. Тодорову (ИЯИИЭЯ БАН, Болгария) за выдающиеся достижения в области теоретической и математической физики и развитие международного сотрудничества.

Ученый совет поблагодарил А. де Рухулу за его замечательное выступление.

Ученый совет приветствовал решение жюри, представленное директором ОИЯИ Г. В. Трубниковым, о присуждении премии «Оганесон» З. Вилакази, Ю. А. Золотову, Г. Н. Княжевой, А. Нурмуханбетовой и Т. В. Черниговской.

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 А. Н. Бугая директором Лаборатории радиационной биологии (ЛРБ) сроком на пять лет. Были объявлены вакансии на должности заместителей директора ЛРБ, утверждение в которых состоится на 137-й сессии Ученого совета в феврале 2025 г.

# ФИНАНСОВЫЙ КОМИТЕТ

## ЗАСЕДАНИЕ ФИНАНСОВОГО КОМИТЕТА, 21 марта 2024 г.

Заседание Финансового комитета состоялось 21 марта в Дубне под председательством представителя Российской Федерации А. В. Омельчука.

По докладу директора Института Г. В. Трубникова Финансовый комитет рекомендовал КПП принять к сведению информацию дирекции Института о рекомендациях 135-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.

Финансовый комитет рекомендовал КПП отметить активное выполнение текущего плана исследований и развития крупной научной инфраструктуры ОИЯИ, успешное участие Института в международных коллаборациях и достижения в укреплении международного сотрудничества, в том числе:

- завершение производства и криогенных испытаний компонентов магнитной системы коллайдера, готовность к вводу в эксплуатацию системы электроснабжения элементов коллайдера, подготовку к запуску новой криогенной компрессорной станции, начало реализации образовательной программы по обучению персонала для ввода в эксплуатацию и дальнейшей работы оборудования комплекса NICA;

- ход производства всех компонентов детектора MPD первой стадии с минимальными задержками;

- начало рассмотрения обновленного технического проекта детектора SPD (TDR) новым международным экспертным комитетом по детектору (Detector Advisory Committee, DAC) SPD, сформированным в декабре 2023 г.;

- развитие коллаборации ARIADNA, установку в дополнение к станции СОЧИ двух новых станций — СИМБО и ИСКРА;

- прогресс в развитии глубокоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD, успешный ход экспедиции 2024 г., по итогам которой общее число установленных модулей достигло 4000;

- развитие ускорительного комплекса DRIBs-III с модернизацией циклотрона У-400М, созданием ускорителя ДЦ-140 и нового экспериментального зала для У-400Р;

- выполнение рабочего плана по подготовке к регулярной работе реактора ИБР-2 и развитие комплекса спектрометров, в частности, детектора обратного рассеяния с широкой апертурой (BSD-A) для фурье-дифрактометра высокого разрешения, детектора малоуглового рассеяния нейтронов (SANSARA) и спектрометра неупругого рассеяния нейтронов в обратной геометрии (BJN);

- успешное развитие МИВК ОИЯИ, включая увеличение мощности суперкомпьютера «Говорун», и значительную переориентацию распределенной платформы DIRAC на поддержку экспериментов MPD, VM@N и SPD, а также исследований на нейтринном телескопе Baikal-GVD.

Финансовый комитет рекомендовал КПП принять к сведению информацию о выполнении поручения КПП от ноября 2023 г. в связи с ограничением деятельности АО «Штрабаг» на территории Российской Федерации и передаче с 1 марта 2024 г. ООО «ТЭС» прав и обязанностей генерального подрядчика по договору генерального подряда «Размещение тяжелоионного коллайдера NICA на площадке ЛФВЭ ОИЯИ в городе Дубне с частичной реконструкцией здания № 1» от 18 сентября 2015 г.

Финансовый комитет рекомендовал КПП поддержать усилия дирекции Института по обновлению и развитию социальной инфраструктуры ОИЯИ (ресторан гостиницы «Дубна», комплекс зданий на территории профилактория «Ратмино», Дом международных совещаний) для обеспечения программы развития кадрового потенциала Института в соответствии с действующим Семилетним планом развития ОИЯИ.

Заслушав доклад руководителя Департамента бюджетной и экономической политики Института Н. В. Калинина «Об исполнении бюджета ОИЯИ за 2023 г. и о проекте уточненного бюджета ОИЯИ на 2024 г.», Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить уточненный бюджет ОИЯИ на 2024 г. по доходам в сумме 214 124,5 тыс. дол.



Дубна, 21 марта. Заседание Финансового комитета ОИЯИ

ларов США и расходам в сумме 286 818,2 тыс. долларов США с учетом положительного входящего сальдо в объеме 56 749,0 тыс. долларов США, а также утвердить новые формы отчетов об исполнении бюджета ОИЯИ.

Финансовый комитет рекомендовал КПП принять к сведению информацию о задолженности по уплате взносов в бюджет ОИЯИ государств, вышедших из состава членов ОИЯИ в 2022 г. По состоянию на 31 декабря 2022 г. задолженность Чешской Республики зафиксирована в размере 4 182,3 тыс. долларов США, задолженность Украины — 11 117,4 тыс. долларов США, в том числе реструктуризированная — 315,6 тыс. долларов США. У Республики Польша задолженность отсутствует.

По докладу вице-директора Института Л. Костова «О выборе аудиторской организации по проведению проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2023 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить ООО АК «Корсаков и Партнеры» аудитором ОИЯИ и план аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2023 г., представленный дирекцией Института.

По докладу председателя рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ Е. Мухамеджанова «Об итогах совещания рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ от 15 января 2024 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП принять к сведению информацию полномочного представителя правительства Социалистической Республики Вьетнам о том, что размер взноса Вьетнама, который планируется к уплате

в 2024 г., не будет превышать взнос Вьетнама на 2023 г. плюс 5 %.

Финансовый комитет рекомендовал КПП поручить дирекции Института и рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам проработать подход к определению ежегодных взносов государств-членов с учетом ежегодного увеличения бюджета ОИЯИ на 5 % в период реализации Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. и вопрос отмены правила нижних пределов взносов, начиная с 2025 г., и представить свои предложения на рассмотрение заседания Финансового комитета и сессии КПП в ноябре 2024 г.

По докладу начальника юридического отдела Института А. Ю. Харевича «О предложениях по изменению Правил процедуры Финансового комитета ОИЯИ» Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить Правила процедуры Финансового комитета ОИЯИ в новой редакции.

По докладу А. Ю. Харевича «О статусе проработки вопроса по подготовке и согласованию Перечня должностных лиц ОИЯИ» Финансовый комитет рекомендовал КПП предварительно одобрить представленный проект и поручить дирекции Института направить его полномочным представителям правительств государств-членов ОИЯИ для дальнейшей проработки вопроса утверждения Перечня должностных лиц ОИЯИ с соответствующими органами и ведомствами государств-членов ОИЯИ.

Финансовый комитет с интересом заслушал доклад «В ожидании новой физики», представленный директором ЛТФ Д. И. Казаковым, и поблагодарил докладчика.

## ЗАСЕДАНИЕ ФИНАНСОВОГО КОМИТЕТА, 14 ноября 2024 г.

Заседание Финансового комитета состоялось 14 ноября в Минске (Республика Беларусь) под председательством представителя Российской Федерации А. В. Омельчука.

Заслушав доклад директора Института Г. В. Трубникова, Финансовый комитет рекомендовал КПП принять к сведению информацию дирекции ОИЯИ о рекомендациях 136-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, а также одобрить проведенную дирекцией Института работу по исполнению бюджета ОИЯИ текущего года для выполнения Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества в 2024 г.

Финансовый комитет рекомендовал КПП с удовлетворением отметить прогресс в создании новой крупной исследовательской инфраструктуры:

- завершение монтажа магнитно-криостатной системы коллайдера NICA;
- завершение пусконаладочных работ технологического оборудования криогенно-компрессорной станции;
- успешное завершение криогенных испытаний сверхпроводящего соленоида установки MPD и начало его охлаждения до рабочей температуры (жидкого гелия);
- успешное завершение технического проекта детектора SPD и начало работ по созданию его базовых элементов;
- начало цикла технологических испытаний коллайдера, старт которому был дан Президентом Российской Федерации Владимиром Владимировичем Путиным во время визита на ускорительный комплекс NICA;

— продолжение экспериментов на фабрике сверхтяжелых элементов, направленных, прежде всего, на подготовку экспериментов по синтезу элементов 119 и 120 на пучках  $^{54}\text{Cr}$  и  $^{50}\text{Ti}$ ;

— завершение модернизации ускорителя У-400М. Ускорены и выведены пучки ионов  $^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{132}\text{Xe}$ , продолжаются работы по выходу на проектные параметры ускорителя. Подготовлен и начат первый эксперимент на пучках  $^{6,8}\text{He}$ ;

— плановый темп строительства нового экспериментального зала У-400Р;

— поступательное развитие глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD в 2024 г., общее количество установленных оптических модулей которого достигло 4104, а также существенное улучшение береговой инфраструктуры Baikal-GVD;

— планомерное развитие МИВК ОИЯИ, в том числе суперкомпьютера «Говорун», значительное увеличение емкости ленточного хранилища данных с 50 до 90 ПБ;

— получение лицензии надзорного органа на эксплуатацию реактора ИБР-2, ведущуюся в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка, подготовительные работы по запуску реактора и планирование начала экспериментов на внешних пучках весной 2025 г.

Финансовый комитет рекомендовал КПП поддержать деятельность дирекции ОИЯИ по развитию социальной и коммуникационной инфраструктуры ОИЯИ, в частности, создание выставочного пространства на базе Дома международных совещаний и расширение музейного комплекса ОИЯИ для сохранения исторического наследия Института, презентации достижений Института и науки в целом, популяризации научной и научно-технической деятельности среди различных целевых аудиторий.

Финансовый комитет рекомендовал КПП согласиться с предложениями дирекции ОИЯИ по развитию привлекательной и конкурентоспособной системы оплаты труда в Институте, в том числе с увеличением расходов на персонал в бюджете ОИЯИ на 2025 г.

По докладу председателя рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ Е. Мухамеджанова «Об итогах совещания рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ от 4 июля 2024 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП:

— в целях стабильного финансового обеспечения реализации Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. определять размеры взносов государств-членов на 2025–2030 гг. путем ежегодного увеличения взноса каждого государства-члена на 5 %. Для Арабской Республики Египет, с учетом утвержденного графика постепенного вхождения в уплату взноса, применять данный способ определения взноса с 2028 г.;

— поручить дирекции Института и рабочей группе продолжить совершенствование действу-

ющей методики расчета взносов государств-членов для применения после 2030 г.;

— сохранить действие правила нижних пределов взносов до утверждения новой редакции методики расчета взносов государств-членов.

По докладу руководителя Департамента бюджетной и экономической политики Института Н. В. Калинина «О проекте бюджета ОИЯИ на 2025 г., об ориентировочных взносах государств-членов ОИЯИ на 2026, 2027, 2028 гг.» Финансовый комитет рекомендовал КПП:

— утвердить бюджет ОИЯИ на 2025 г. по доходам в сумме 229 017,7 тыс. долларов США и расходам в сумме 276 600,3 тыс. долларов США с итоговым отрицательным сальдо в размере 47 582,6 тыс. долларов США;

— разрешить директору Института в 2025 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 взносы государств-членов ОИЯИ на 2025 г. с увеличением на 5 % по сравнению с 2024 г., за исключением Арабской Республики Египет, которая уплачивает взносы в бюджет ОИЯИ до 2028 г. на основании графика постепенного вхождения в уплату взносов;

— утвердить ориентировочные взносы государств-членов ОИЯИ на 2026, 2027, 2028 гг.;

— утвердить бюджет на 2025 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 1 486 726,7 тыс. рублей;

— одобрить сводную корректировку бюджета ОИЯИ на 2024 г. за 9 месяцев;

— разрешить директору ОИЯИ проиндексировать окладную и тарифную части заработной платы работников Института с учетом потребностей и возможностей бюджета ОИЯИ на 2025 г., в соответствии с Коллективным договором ОИЯИ на 2023–2026 гг.;

— отметить важность поиска совместных решений в текущих геополитических условиях по уплате взносов государств-членов в бюджет ОИЯИ.

По докладу начальника юридического отдела Института А. Ю. Харевича «Об утверждении Перечня должностных лиц ОИЯИ» Финансовый комитет рекомендовал КПП:

— утвердить перечень должностных лиц организации к Соглашению между Правительством РФ и ОИЯИ о местопребывании и об условиях деятельности ОИЯИ в Российской Федерации, подписанному в г. Дубне Московской обл. 23 октября 1995 г.;

— поручить дирекции Института провести переговоры с Правительством РФ о согласовании утвержденного перечня должностных лиц;

— уполномочить директора Института подписать утвержденный и согласованный с Правительством РФ перечень должностных лиц от имени ОИЯИ.

По докладу директора аудиторской компании «Корсаков и Партнеры» Д. А. Корсакова «Об итогах проведения аудиторской проверки финансовой деятельности Института за 2023 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить аудиторское заключение и бухгалтерский отчет ОИЯИ за 2023 г.

Финансовый комитет поблагодарил Н. Кучерку, заместителя директора ЛНФ им. И. М. Франка, за интересный и содержательный доклад «Прогресс в развитии исследований функциональных материалов и наносистем на реакторе ИБР-2».

Финансовый комитет выразил благодарность организаторам и полномочному представителю правительства Республики Беларусь в ОИЯИ за высокий уровень подготовки и проведения заседания Финансового комитета.

# ПРОГРАММНО-КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ КОМИТЕТЫ

## 59-я СЕССИЯ ПКК ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ, 22 января 2024 г.

59-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 22 января под председательством профессора И. Церруи в формате видеоконференции.

Председатель ПКК по физике частиц представил обзор выполнения рекомендаций, принятых на предыдущей сессии. Вице-директор ОИЯИ В. Д. Кекелидзе отдельно остановился на резолюции 134-й сессии Ученого совета ОИЯИ (сентябрь 2023 г.), касающейся ПКК по физике частиц, и решениях Комитета полномочных представителей ОИЯИ (ноябрь 2023 г.).

ПКК приветствовал принятие нового Семилетнего плана развития ОИЯИ и планы дирекции Института сконцентрировать усилия на приори-

тетной реализации крупных проектов, в том числе флагманского мегасайенс-проекта NICA.

ПКК заслушал доклад о ходе реализации проекта «Нуклотрон-NICA», представленный А. О. Сидориным. Комитет высоко оценил успешное завершение сборки станций прикладных исследований ИСКРА и СИМБО. В тоннеле продолжается монтаж магнитов коллайдера NICA. В частности, установлены элементы систем RF1 и RF2, проведен вакуумный отжиг и вакуумные испытания. Система электропитания элементов конструкции коллайдера готова к пусконаладке. ПКК был рад отметить начало программы обучения персонала в рамках подготовки к вводу коллайдера в эксплуатацию в 2025 г.



Дубна, 22 января. 59-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц

ПКК принял к сведению отчет о ходе развития инфраструктуры ЛФВЭ, в том числе установки нуклотрон, представленный Н. Н. Агаповым. Комитет с удовлетворением отметил, что полное завершение ввода в эксплуатацию криогенного комплекса NICA запланировано на август 2024 г.

ПКК принял к сведению отчет о реализации проекта MPD, представленный В. Г. Рябовым. Производство всех компонентов детектора первой стадии MPD идет с минимальными задержками. Дальнейший прогресс будет во многом зависеть от готовности инженерных систем в здании MPD, включая системы стабильного электроснабжения и водяного охлаждения, которые должны быть полностью готовы к работе в мае 2024 г.

ПКК высоко оценил прогресс в реализации проекта BM@N, представленный М. Н. Капишиным. Усилия команды BM@N были сосредоточены на юстировке детекторов, улучшении алгоритма реконструкции треков частиц, калибровке времяпролетной системы и исправлении наложений событий в передних детекторах для определения центральности. Первая обработка восстановленных данных, зарегистрированных в столкновениях Xe-Csl с энергией 3,8 ГэВ, была проведена с использованием системы DIRAC на компьютерах ЛИТ Tier-1/Tier-2.

ПКК принял к сведению отчет о подготовке технического проекта эксперимента SPD, представленный А. В. Гуськовым. Оценка стоимости проекта обновлена с учетом текущих цен и наличия материалов и оборудования. Комитет высоко оценил создание международного консультативного комитета по детектору (DAC) SPD и успехи в формировании сотрудничества SPD. ПКК рекомендовал новому DAC провести тщательный анализ обновленного TDR и представить отчет на следующей сессии ПКК.

ПКК поддержал планы по изучению образования  $\eta$ - и  $\Delta$ -ядер в проекте СКАН-3, представленные С. А. Афанасьевым. Разработана времяпролетная система на основе SiPM-матрицы и быстрого пластикового сцинтиллятора, собраны два счетчика нейтронов, модифицирован и оснащен соответствующей электроникой магнитный спектрометр, полученный из ФИАН, две струйдрейфовые камеры дополнили двухкоординатную пропорциональную камеру и микростриповый кремниевый вершинный детектор для трековой системы. ПКК рекомендовал продлить проект СКАН-3 на 3 года до конца 2027 г. с рейтингом А.

ПКК заслушал отчет о ходе реализации «домашнего» проекта АЛПОМ-2, представленный Н. М. Пискуновым. Основная цель проекта — измерение анализирующей способности реакций рассеяния поляризованных нуклонов на различных мишенях. Этот эксперимент обеспечит лидерство ОИЯИ в области поляриметрического оборудования и исследований. ПКК рекомендо-

вал продлить проект АЛПОМ-2 до конца 2027 г. с рейтингом А.

ПКК принял к сведению отчет о проведении эксперимента DSS на внутренней мишени нуклотрона, представленный В. П. Ладыгиным. ПКК отметил значительный прогресс в получении экспериментальных данных по энергетическому анализу в дейтрон-протонном упругом и протон-протонном квазиупругом рассеянии и рекомендовал продлить проект DSS до конца 2027 г. с рейтингом А.

Ввод в эксплуатацию установки NICA, включая ускорительный комплекс и эксперименты, а также высокий приоритет, отдаваемый флагманским экспериментам NICA — BM@N, MPD и SPD, ставят под сомнение возможность выделения пучкового времени для других экспериментов в ближайшие годы. Это может повлиять на своевременную реализацию проектов СКАН-3, АЛПОМ-2 и DSS. В связи с этим ПКК рекомендовал руководству ЛФВЭ и NICA определить общую стратегию доступности пучкового времени для пользователей на ближайшие 2–3 года.

ПКК заслушал предложение об открытии нового проекта «Фундаментальная и прикладная физика с использованием пучков релятивистских ускоренных электронов (FLAP)», представленное А. А. Балдиным. Коллаборация FLAP планирует проводить исследования на линейном ускорителе электронов Linac-200. Проект нацелен на изучение основ электромагнитных взаимодействий и на новые приложения. ПКК поддержал предложение развивать такого рода межлабораторную деятельность в ОИЯИ и рекомендовал открыть проект FLAP на период 2024–2028 гг. с рейтингом А.

ПКК с интересом заслушал предложение об открытии нового проекта под названием «ГиперНИС-SRC: странность в адронной материи и короткодействующие двухнуклонные корреляции», представленное А. В. Аверьяновым. Начальный этап экспериментальной программы направлен на изучение легчайших нейтронно-избыточных гиперядер, таких как  ${}^6_{\Lambda}H$ ,  ${}^4_{\Lambda}H$ ,  ${}^3_{\Lambda}H$ . ПКК поддержал предлагаемый эксперимент с гиперядрами на нуклотроне, планы по расширению установки для исследования SRC и рекомендовал одобрить этот проект до конца 2029 г. с рейтингом А.

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 отметил активное участие групп ОИЯИ в физическом анализе данных экспериментов и их заметный вклад в модернизацию детекторов для работы в условиях повышенной светимости HL-LHC.

## 58-я СЕССИЯ ПКК ПО ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД, 25 января 2024 г.

58-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред состоялась 25 января под председательством профессора Д. Л. Надя.

Председатель ПКК представил обзор выполнения рекомендаций предыдущей сессии ПКК, касающихся исследований ОИЯИ в области физики конденсированных сред. Вице-директор ОИЯИ Л. Костов проинформировал ПКК о резолюции 134-й сессии Ученого совета ОИЯИ (сентябрь 2023 г.) и решениях КПП ОИЯИ (ноябрь 2023 г.).

ПКК принял к сведению информацию о ходе получения лицензии на эксплуатацию ИЯУ ИБР-2 и о подготовительных работах по замене воздушных теплообменников второго контура охлаждения реактора, представленную Е. В. Лычагиным. ПКК одобрил планы и усилия ЛНФ по перезапуску работы ИЯУ ИБР-2 в 2024–2025 гг.

ПКК принял к сведению доклад М. В. Булавина о результатах работы в 2023 г. и планах на 2024 г. по проекту «Новый перспективный источник нейтронов в ОИЯИ». ПКК рекомендовал продолжить деятельность в рамках проекта нового источника нейтронов, в частности, по верификации модели динамики импульсных реакторов, по выбору оптимальной компоновки активной зоны и оптимизации конструкции корпуса и модулятора реактивности реактора. ПКК также одо-

брил продолжение создания перечня НИОКР для разработки полномасштабного макета модулятора реактивности реактора и создание концепции системы быстрой смены рабочего вещества в камере криогенного замедлителя реактора.

Заслушав доклад о текущем состоянии фурье-стресс-дифрактометра ФСД на канале 11А ИЯУ ИБР-2, представленный Г. Д. Бокучавой, ПКК отметил, что достижения ЛНФ в разработке метода корреляционной дифрактометрии весьма полезны для создания инструментов на новых источниках нейтронов с длинным импульсом, и поддержал дальнейшее развитие метода нейтронной корреляционной дифрактометрии.

ПКК с интересом заслушал научные доклады «Исследование механизма кристаллизации мембранных белков в бицеллярных системах» и «Научная и методическая программы работ на ускорителе Линак (ОИЯИ): коллаборация FLAP», представленные Т. Н. Муруговой и П. Каратаевым соответственно, и поблагодарил докладчиков.

ПКК принял к сведению новые правила подготовки проектов, введенные в ОИЯИ в 2023 г., и рекомендовал применять их на будущих сессиях.

ПКК рассмотрел 17 виртуальных стендовых сообщений молодых ученых в области физики конденсированных сред и связанных областях. Виртуальное сообщение А. Асадова «Фазовые переходы в оксидах Карпи-Гали  $\text{Ln}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  ( $\text{Ln} = \text{La}$ ,



Дубна, 25 января. 58-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред. С докладом выступает директор ЛНФ Е. В. Лычагин

Nd, Pr) при высоких давлениях» было признано лучшим на сессии и рекомендовано к представлению в виде устного доклада на сессии Ученого совета ОИЯИ в феврале 2024 г. ПКК также отметил высокий уровень двух других виртуальных сообщений: «Кинетика формирования двунитевых разрывов ДНК в зрелых нейронах первич-

ной культуры гиппокампа крыс при действии излучений разного качества», представленного Т. С. Храдко, и «Структурные особенности фрагментов чугуновых казанов времен средневековой Золотой Орды: нейтронная томография», представленного В. С. Смирновой.

## 58-я СЕССИЯ ПКК ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ, 29–30 января 2024 г.

58-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике проходила 29–30 января под председательством профессора В. В. Несвижевского.

В. В. Несвижевский представил сообщение о выполнении рекомендаций предыдущей сессии ПКК. Вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев проинформировал ПКК о резолюции 134-й сессии Ученого совета (сентябрь 2023 г.) и решениях Комитета полномочных представителей государств-членов ОИЯИ (ноябрь 2023 г.). Главный ученый секретарь ОИЯИ С. Н. Неделько прокомментировал принятый на КПП ОИЯИ Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 гг., в который включены основные темы и проекты исследований и развития инфраструктуры ОИЯИ на этот период.

Члены ПКК обсудили планы работ по научным исследованиям и развитию инфраструктуры лабораторий ОИЯИ в области ядерной физики в рамках тем и проектов на 2024 г.

ПКК заслушал доклад о плане работ в рамках темы «Нейтронная ядерная физика» и ее проектов на 2024 г., представленный Е. В. Лычагиным. Научная программа темы будет реализовываться в рамках трех проектов: двух научных («Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» и «TANGRA») и одного научно-технического («Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры»).

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

Проект «TANGRA» посвящен решению фундаментальных и прикладных задач с применением метода меченых нейтронов. Целью проекта являются ядерные реакции, происходящие под действием нейтронов с энергией около 14 МэВ.

В рамках проекта «Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры» планируется замена высоковольтной системы установки ЭГ-5, основным результатом которой

станет повышение тока ионного пучка с 2–3 до 100–250 мкА при сохранении его энергетической и пространственной стабильности.

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

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

По проекту «Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов» на фабрике СТЭ основное внимание будет уделено продолжению экспериментов по синтезу новых сверхтяжелых элементов с номерами 119 и 120 в реакции  $^{54}\text{Cr} + ^{238}\text{U}$  на ускорительном комплексе ДЦ-280, а также проведению первых экспериментов по спектроскопии изотопов сверхтяжелых элементов, образующихся в реакции  $^{48}\text{Ca} + ^{242}\text{Pu}$ . Эксперимент будет выполнен на сепараторе GRAND и детектирующей установке GABRIELA-2 с пятью детекторами клаверного типа из сверхчистого германия. На установке CORSET основное внимание будет уделено исследованию динамики протекания реакций многонуклонных передач с образованием двух или более тяжелых продуктов в выходном канале.

Основной задачей проекта «Легкие экзотические ядра на границах нуклонной стабильности» в 2024 г. станет подготовка и проведение первых экспериментов по исследованию структуры легких ядер, расположенных вблизи границ нуклонной стабильности на фрагмент-сепараторах ACCULINNA и ACCULINNA-2 модернизированного ускорителя У-400М. Исследования будут сфокусированы на изучении структуры тяжелых изотопов гелия  $^{6,7}\text{He}$ , а также механизмов реакций, ведущих к образованию несвязанных экзотических систем, таких как  $4n$ .

ПКК поддержал научно-технические программы по теме «Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности» и продолжение работ по проектам «Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов» и «Легкие экзотические ядра на границах стабильности нуклонов».



Дубна, 29–30 января. Президиум Программно-консультативного комитета по ядерной физике

Члены ПКК заслушали доклад о развитии ускорительной и экспериментальной базы ЛЯР, представленный В. А. Семиным. Основные усилия в рамках проекта в 2024 г. будут направлены на обеспечение пучками с требуемыми характеристиками для реализации программы экспериментальных исследований ЛЯР на действующих ускорительных комплексах ДЦ-280 и У-400, завершение модернизации и проведение пусконаладочных работ на ускорителе У-400М и обеспечение выполнения первых экспериментов на пучках радиоактивных ядер, а также на завершение создания комплекса ДЦ-140 для проведения прикладных исследований на пучках тяжелых ионов.

В рамках проекта «Создание ускорительного комплекса У-400Р» продолжится техническая проработка узлов модернизируемого ускорителя У-400Р, сооружение нового экспериментального зала, а также работа над проектами новых экспериментальных установок для размещения в этом зале.

Проект «Развитие экспериментальных установок для исследования химических и физических свойств сверхтяжелых элементов» направлен на создание многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра и пресепаратора GASSOL на базе газонаполненного сверхпроводящего соленоида.

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

Члены ПКК с интересом заслушали доклад о научной программе по ядерной физике в ЛЯР, представленный Е. А. Якушевым. Направления ядерно-физических исследований в лаборатории включают как классическую спектрометрию радиоактивных изотопов, так и исследование различных редких явлений методами ядерной физики. Тема «Неускорительная нейтринная

физика и астрофизика» нацелена на поиск доказательств существования новой физики за пределами Стандартной модели. В рамках темы реализуются три проекта: «Ядерная спектрометрия для поиска и исследования редких явлений», «Исследование реакторных нейтрино на короткой базе» и «Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины». Проекты дополняют друг друга, поскольку их реализация связана общими подходами и ресурсами.

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

ПКК рекомендовал продолжить поддержку реализации научной программы ЛЯП по ядерной физике, а также подчеркнул важность усилий по дальнейшему совершенствованию экспериментальной базы в ОИЯИ.

Члены ПКК заслушали два доклада: «О проверке Т-инвариантности в полном сечении взаимодействия нейтронов с неполяризованными ядрами с применением теоремы «поляризация-асимметрия»», представленный В. Р. Скоем, и «Исследование свойств и применение наноалмазных отражателей нейтронов низких энергий», представленный А. Ю. Незвановым. ПКК поддержал продолжение этих исследований.

Члены ПКК заслушали и обсудили 9 коротких докладов молодых ученых ЛНФ о новых результатах и проектах в области ядерной физики. Были отмечены три лучших доклада: «Усиленное направленное извлечение очень холодных нейтронов с помощью отражателя из порошка алмазных наночастиц», представленный А. Ю. Незвановым, «Накопление и распределение хрома, никеля и цинка в корнеплодах и листовых овощах, орошаемых промышленными стоками, — лабораторное исследование», представленный А. В. Кравцовой, и «Экспериментальная установ-

ка для элементного анализа с помощью мгновенных гамма-квантов на реакторе ИБР-2», представленный К. Храмо.

Доклад А. Ю. Незванова «Усиленное направленное извлечение очень холодных нейтронов

с помощью отражателя из порошка алмазных наночастиц» был выбран для представления на сессии Ученого совета ОИЯИ в феврале 2024 г.

## 59-я СЕССИЯ ПКК ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ, 13–14 июня 2024 г.

59-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике проходила под председательством профессора В. В. Несвижевского 13–14 июня.

Председатель ПКК представил сообщение о выполнении рекомендаций предыдущей сессии ПКК. Вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев проинформировал ПКК о резолюции 135-й сессии Ученого совета (февраль 2024 г.) и решениях Комитета полномочных представителей государств-членов ОИЯИ (март 2024 г.).

ПКК заслушал доклад о состоянии дел на ускорителе У-400М ЛЯР, представленный В. А. Семиным. Ввод У-400М в эксплуатацию и проведение на нем первых экспериментов запланированы на второе полугодие 2024 г. ПКК отметил большую работу, выполненную в рамках модернизации циклотрона У-400М, и рекомендовал обеспечить тщательный контроль во время ввода в эксплуатацию всех систем, чтобы обеспечить его надежную работу.

ПКК заслушал доклад «Синтез и изучение свойств распада изотопов сверхтяжелых элементов Ds и Lv», представленный Н. Д. Коврижных. На фабрике СТЭ были продолжены эксперименты по получению изотопов сверхтяжелых элементов  $^{275,276}\text{Ds}$  в реакции  $^{48}\text{Ca} + ^{232}\text{Th}$ , которая была изучена при четырех значениях энергии пучка выше кулоновского барьера. Кроме того, при двух максимальных энергиях зарегистрирована одна цепочка распада изотопа  $^{276}\text{Ds}$ , открытого в 2022 г., а также шесть цепочек распада нового изотопа  $^{275}\text{Ds}$ .  $^{275}\text{Ds}$  был впервые получен в реакции с  $^{48}\text{Ca}$  и идентифицирован методом последовательных  $\alpha$ -распадов, ведущих к известным ядрам  $^{271}\text{Hs}$ ,  $^{267}\text{Sg}$  и  $^{263}\text{Rf}$ , синтезированным ранее в реакции  $^{248}\text{Cm}(^{26}\text{Mg}, 3n)^{271}\text{Hs}$ . Впервые в реакции  $^{238}\text{U} + ^{54}\text{Cr}$  синтезирован новый изотоп  $^{288}\text{Lv}$  и измерено его сечение — около 70 фб. Отметив, что выполненный эксперимент является важным шагом для подготовки экспериментов по синтезу элементов с  $Z > 118$ , ПКК рекомендо-



Дубна, 13–14 июня. 59-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике

вал продолжить работы по синтезу и изучению свойств распада изотопов сверхтяжелых элементов, в частности, в реакциях на пучках  $^{54}\text{Cr}$  и  $^{50}\text{Ti}$ .

ПКК заслушал доклад, представленный В. Худобой, о результатах первых экспериментов, проведенных на сепараторе ACCULINNA-2 в 2018–2020 гг., и научной программе на 2024 г. в рамках проекта «Легкие экзотические ядра на границах нуклонной стабильности». В докладе представлены интересные и важные данные о низкоэнергетических спектрах несвязанных ядерных систем  $4n$ ,  $^{5-7}\text{H}$ ,  $^{7,9}\text{He}$ ,  $^{8,10}\text{Li}$ , полученных в реакциях передачи. ПКК отметил важные результаты анализа экспериментов, в которых были измерены основные состояния  $^6\text{H}$  и  $^7\text{H}$  с предельно малыми сечениями.

ПКК заслушал предложение о проекте «Ядерный болометр», представленный В. Н. Трофимовым. Данный проект является частью программы «Исследование когерентного упругого рассеяния нейтрино на атомах, ядрах и электронах и изменение электромагнитных характеристик нейтрино с использованием интенсивного тритиевого источника антинейтрино» (проект SATURNE: SARov Tritium neutRiNo Experiment), финансируемой федеральным бюджетом РФ и ГК «Росатом». ПКК согласился с тем, что развитие новейших систем детектирования, предназначенных для исследования редких событий в области низких энергий, является важным и актуальным. Проект «Ядерный болометр» не требует дополнительного финансирования со стороны ОИЯИ, и ПКК рекомендовал осуществлять данные работы как активность в рамках темы «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика».

ПКК заслушал доклад «Статус и перспективы радиохимических исследований в Лаборатории ядерных проблем», представленный А. Баймухановой. Проводимые радиохимические исследования осуществляются в рамках проекта «Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины». ПКК высоко оценил радиохимические исследования, проводимые в ЛЯП, их качественные и прецизионные результаты, отметил значительный вклад данных исследований в ядерную медицину, спектрометрию и астрофизику и рекомендовал продолжить работы по радиохимическим исследованиям в рамках этого проекта.

ПКК с интересом заслушал научные доклады «Суперкомпьютер “Говорун” для задач ОИЯИ», представленный Д. В. Подгайным, и «Радиобиологические исследования в ОИЯИ: приложения в радиационной медицине и исследованиях космоса», представленный А. Н. Бугаем.

ПКК заслушал 6 кратких сообщений по ядерной физике молодых ученых ЛЯП, отметив высокое качество научных и методических работ и их хорошую презентацию. Были отмечены три лучших доклада: «Отслеживание многоканальных оповещений телескопом Baikal-GVD в режиме реального времени» (В. Дик), «Получение трехвалентных радионуклидов для ядерной медицины и их анализ ядерно-спектрометрическими методами» (Е. С. Куракина) и «Статус эксперимента Ricochet» (Д. В. Пономарев). ПКК рекомендовал доклад «Отслеживание многоканальных оповещений телескопом Baikal-GVD в режиме реального времени» для представления на сессии Ученого совета ОИЯИ в сентябре 2024 г.

## 60-я СЕССИЯ ПКК ПО ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ, 17 июня 2024 г.

60-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 17 июня под председательством профессора И. Церруи.

Председатель ПКК представил обзор выполнения рекомендаций, принятых на предыдущей сессии. Вице-директор ОИЯИ В. Д. Кекелидзе отдельно остановился на резолюции 135-й сессии Ученого совета ОИЯИ (февраль 2024 г.) в части, касающейся ПКК по физике частиц, и решениях КПП ОИЯИ (март 2024 г.).

ПКК приветствовал планы дирекции Института по обеспечению полноценного сотрудничества ученых и специалистов стран-участниц ОИЯИ с ЦЕРН, а также предпринимаемые усилия по установлению новых научных связей с Мексикой, Бразилией и Китаем.

ПКК заслушал доклад о ходе реализации проекта «Нуклотрон–NICA», представленный А. О. Сидориным. Комитет высоко оценил успешное завершение первого этапа мегасайенс-проекта NICA: введен в эксплуатацию инжекционный комплекс коллайдера, включающий источник тяже-

лых ионов «Крион-6Т», NICA, бустер, нуклотрон и линии транспортировки пучка; на установках с фиксированной мишенью стартовала программа фундаментальных и прикладных исследований. ПКК поздравил команду NICA с этими достижениями. Запуск экспериментальной программы на коллайдере запланирован на 2025 г. с постепенным увеличением светимости. ПКК рекомендовал продлить проект «Нуклотрон–NICA» до конца 2027 г. с рейтингом А.

ПКК принял к сведению отчет о реализации проекта MPD, представленный В. Г. Рябовым. Производство всех компонентов детектора первой стадии MPD идет с минимальными задержками. В начале 2024 г. соленоид MPD был охлажден до 70 К. Детектор должен быть готов к перемещению в положение пучка к июлю 2025 г., чтобы соответствовать графику ускорителя NICA.

ПКК принял к сведению доклад о реализации проекта VM@N, представленный М. Н. Капишиным. Усилия команды VM@N сосредоточены на калибровке времяпролетной системы и разра-

ботке методов определения центральности в столкновениях Xe–CsI с энергией 3,8 ГэВ, зарегистрированных в 2023 г. Команда BM@N представила состояние физического анализа образования  $\Lambda$ -гиперонов и  $K_S^0$ -мезонов, а также прямого потока протонов в столкновениях Xe–CsI.

ПКК принял к сведению статус проекта SPD, представленный А. В. Гуськовым. После подготовки концептуального проекта международная коллаборация SPD, в которую в настоящее время входят более 400 ученых из более чем 30 исследовательских центров, подготовила технический проект (TDR) эксперимента SPD, посвященного изучению спиновой структуры протона и дейтрона, и планирует приступить к созданию подсистем первой фазы эксперимента.

Консультативный комитет по детектору (DAC SPD) провел тщательный анализ обновленного TDR SPD. Председатель DAC SPD профессор И. Б. Логашенко представил экспертный отчет DAC. ПКК высоко оценил достижения команды SPD в обновлении физической программы эксперимента и выполнении многочисленных НИОКР для подготовки концептуального и технического проектов детектора и рекомендовал продлить проект SPD до конца 2029 г. с рейтингом А.

ПКК принял к сведению отчет о статусе эксперимента NA61/SHINE на SPS (ЦЕРН), представленный А. В. Дмитриевым. Экспериментальная программа включает измерения в области физики тяжелых ионов, нейтрино и космических лучей.

Принимая во внимание значимость проекта для NICA и для обучения молодых исследователей в рамках эксперимента NA61/SHINE, ПКК призвал команду ОИЯИ постепенно переключить внимание на собственные флагманские проекты и рекомендовал продлить участие группы ОИЯИ в NA61/SHINE до конца 2026 г. с рейтингом В.

ПКК принял к сведению отчет об участии ОИЯИ в эксперименте NA62 на SPS (ЦЕРН), представленный Д. Т. Мадогожиным. Цель эксперимента — измерить очень редкий распад  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$  с точностью около 10 %, провести ряд дополнительных исследований редких распадов каонов для проверки Стандартной модели и уточнить параметры киральной теории возмущений. ПКК высоко оценил достижения команды ОИЯИ, участвующей в эксперименте NA62, и рекомендовал продолжить участие в нем до конца 2027 г. с рейтингом А.

Комитет принял к сведению результаты, полученные группой ОИЯИ в эксперименте STAR на коллайдере RHIC (США), представленные А. А. Апариним. Зависимость фемтоскопических параметров от энергии и центральности ядерных столкновений изучалась для энергий  $\sqrt{s_{NN}} = 3,0\text{--}7,7$  ГэВ. ПКК призвал команду ОИЯИ в STAR постепенно переключить свое внимание на эксперименты NICA и рекомендовал продлить участие ОИЯИ в эксперименте STAR до конца 2026 г. с рейтингом В.



Дубна, 17 июня. 60-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц

ПКК принял к сведению отчет об участии группы ОИЯИ в проекте COMET в J-PARC, представленный З. Цамалаидзе. Эксперимент направлен на изучение физики за пределами СМ путем поиска возможного нарушения аромата заряженных лептонов (CLFV) посредством безнейтринного процесса перехода мюон–электрон. ПКК с удовлетворением отметил важную роль, которую группа ОИЯИ играет в разработке и создании основных подсистем установки COMET, а также высоко оценил участие представителей группы ОИЯИ в структурах управления коллаборацией COMET и рекомендовал продлить участие группы ОИЯИ в эксперименте COMET до конца 2029 г. с рейтингом А.

ПКК заслушал предложение об открытии нового проекта «Разработка метода регистрации частиц в будущих экспериментах с участием ОИЯИ», представленное Ю. И. Давыдовым. Проект направлен на разработку новых детекторов и методов обработки и анализа экспериментальных данных с учетом современных тенденций

достижения максимальных энергий и интенсивностей пучков частиц. ПКК рекомендовал подготовить более подробную программу с изложением конкретных целей и задач проекта, представив ее на сессии ПКК через год, и рекомендовал открыть новый проект сроком на один год с рейтингом А.

ПКК принял к сведению доклад о научных результатах, полученных группами ОИЯИ в экспериментах на LHC в ЦЕРН, представленные Б. В. Батюней (ALICE), И. В. Елецких (ATLAS) и В. Ю. Каржавиным (CMS). ПКК отметил активное участие групп ОИЯИ в физическом анализе данных экспериментов и их заметный вклад в модернизацию детекторов для работы в условиях повышенной светимости HL-LHC.

Победителем конкурса докладов молодых ученых стала К. А. Алишина с докладом «Исследование образования  $\Lambda$ -гиперонов при столкновениях углерода с твердыми мишенями в эксперименте BM@N».

## 59-я СЕССИЯ ПКК ПО ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД, 24–25 июня 2024 г.

59-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред состоялась 24–25 июня под председательством профессора Д. Л. Надя.

Председатель ПКК представил обзор выполнения рекомендаций предыдущей сессии ПКК, касающихся исследований ОИЯИ в области физики конденсированных сред. Вице-директор ОИЯИ Л. Костов проинформировал ПКК о резолюции 135-й сессии Ученого совета ОИЯИ (февраль 2024 г.) и решениях КПП ОИЯИ (март 2024 г.).

Приняв к сведению представленную Е. В. Лычагиным информацию об усилиях коллектива ЛНФ по созданию нового источника нейтронов, ПКК рекомендовал продолжить работы по проекту нового источника нейтронов и выразил согласие с предложением дирекции ЛНФ сконцентрироваться в настоящее время на следующих вопросах: 1) развитие концепции нового источника; 2) развитие математических моделей, описывающих процессы, приводящие к колебаниям энергии импульсов на основе опыта эксплуатации ИБР-2; 3) продолжение разработки научной программы нового реактора с концепцией приборной базы; 4) продолжение работ по созданию концепции системы быстрой смены рабочего вещества в камере криогенного замедлителя реактора, а также деятельности по определению оптимальной конфигурации камеры криогенного замедлителя нового источника нейтронов с рабочим веществом на основе водородосодержащих материалов.

ПКК принял к сведению информацию о ходе получения лицензии на эксплуатацию ИЯУ ИБР-2

и о подготовительных работах по замене воздушных теплообменников второго контура охлаждения реактора, представленную Б. Мухаметулы. ПКК высоко оценил и поддержал планы и усилия ЛНФ по перезапуску работы ИЯУ ИБР-2 в 2024–2025 гг. и возобновлению работы программы пользователей в 2025 г., а также отметил необходимость привлечения достаточного количества экспертов для рассмотрения проектов.

ПКК принял к сведению информацию о состоянии и ходе модернизации спектрометров ИБР-2, представленную В. И. Боднарчуком, и поддержал общий ход работ по подготовке спектрометров и оборудования для запуска реактора в конце 2024 г. Все важные элементы и детекторные системы спектрометров проходят проверку и настройку для корректной работы. Два новых сцинтилляционных детектора (АСТРА-М, ДОР) установлены на пучках ИБР-2 и готовы для проведения тестовых измерений после старта реактора. В настоящее время реализуется проект VJN и создание установки SANSARA. ПКК высоко оценил ход реализации проекта VJN и рекомендовал продолжить создание этой установки.

Заслушав доклад о текущем состоянии дифрактометра ДН-6 для исследования материалов при сверхвысоких давлениях, представленный Е. В. Лукиным, ПКК одобрил модернизацию установки, что позволит существенно увеличить интенсивность падающего нейтронного потока и улучшить качество получаемых экспериментальных данных. Учитывая, что дифрактометр ДН-6 по своим параметрам является одной из передовых установок в мире для нейтронных иссле-



Дубна, 24–25 июня. 59-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред

дований материалов в экстремальных условиях, ПКК поддержал дальнейшее его развитие.

ПКК рекомендовал открыть новый проект «Высокочувствительные сенсоры, работающие на принципах молекулярного узнавания для детектирования вирусов», представленный А. Н. Нечаевым, для реализации в 2025–2029 гг. Актуальной задачей проекта является изучение и оптимизация структур оптических аптасенсоров, работающих на эффекте гигантского комбинационного рассеяния (ГКР), для высокоспецифичного детектирования биологических агентов с целью разработки тест-системы, способной за несколько минут выявлять такие биологические агенты, как вирусы, бактерии, токсины, низкомолекулярные продукты жизнедеятельности клеток в сложных биологических жидкостях.

ПКК с удовлетворением отметил работы в рамках проекта «Защита от физико-химических стрессов с помощью белков тихоходок (TARDISS)», представленного М. П. Зарубиным, и рекомендовал продлить этот проект. В секторе молекулярной генетики клетки ЛЯП исследуются свойства, молекулярная структура и возможности практического применения радиопротекторного белка тихоходок Dsup (Damage suppressor). В ходе совместных с ЛНФ экспериментов по изучению структуры и свойств белка было показано, что Dsup является неупорядоченным белком, образующим высокодинамический комплекс с ДНК, и не подвержен радиационной деградации. На

основе новых данных о белке Dsup совместно с Центром прикладной физики ЛЯР был создан композитный биоматериал — трековые мембраны, модифицированные белком Dsup, способные к селективному выделению внеклеточной ДНК из растворов.

ПКК с интересом заслушал научные доклады «Функционально-ренормгрупповой подход к некоторым задачам физики конденсированного состояния» и «Исследование фазовых переходов в катодных материалах для натрий-ионных аккумуляторов», представленные Г. А. Калаговым и Н. Ю. Самойловой соответственно.

По итогам рассмотрения виртуальных стендовых сообщений молодых ученых ПКК избрал виртуальное сообщение О. Н. Лис «Влияние высокого давления на кристаллическую, магнитную структуры и колебательные спектры ван-дер-ваальсовых соединений» лучшим на сессии и рекомендовал представить данное сообщение в виде доклада на сессии Ученого совета ОИЯИ в сентябре 2024 г. ПКК также отметил высокий уровень двух других виртуальных сообщений: «Сверточные нейронные сети для реконструкции трехмерных моделей нейтронной томографии по неполным данным», представленного Б. А. Бакировым, и «Влияние ионов кальция на структуру и морфологию липидных мембран в присутствии пептида Ab(25–35)», представленного С. А. Куракиным.

## ПРЕМИИ ОИЯИ

**Премия им. Н. Н. Боголюбова** была присуждена А. де Рухуле (ЦЕРН) и И. Тодорову (ИЯИиЯЭ БАН, Болгария) за выдающиеся достижения в области

теоретической и математической физики и развитие международного сотрудничества.

## ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ОИЯИ

### За научно-исследовательские теоретические работы

#### **Первая премия**

«Теоретические достижения в структурной характеристике сложных систем: фракталы, иерархические и многофазные материалы».

*Автор:* Е. М. Аницаш.

#### **Вторые премии**

«Упругое рассеяние адронов при высоких энергиях от  $\sqrt{s} = 3,6$  ГэВ до  $\sqrt{s} = 13$  ТэВ».

*Автор:* О. В. Селюгин.

«Новые физические эффекты, обусловленные гравитационным полем объектов, движущихся со скоростью света».

*Авторы:* Е. А. Давыдов, И. Г. Пироженок, В. А. Тайнов, Д. В. Фурсаев.

### За научно-исследовательские экспериментальные работы

#### **Первая премия**

«Структура  ${}^7\text{He}$  из реакции дейтронного срыва».

*Авторы:* А. А. Безбах, Р. Вольски, М. С. Головкин, А. В. Горшков, А. С. Деникин, С. А. Крупко.

#### **Вторые премии**

«Нуклонные и кластерные передачи в реакции с ядром  ${}^9\text{Be}$ ».

*Авторы:* А. К. Ажибеков, Д. Азнабаев, Т. К. Жолдыбаев, Т. Исатаев, С. М. Лукьянов, В. А. Маслов, К. Мендибаев, М. А. Науменко, Ю. Э. Пенионжкевич, В. В. Самарин.

«Индукцированные давлением фазовые переходы в перовскитоподобных слоистых титанатах».

*Авторы:* А. Г. Асадов, С. Е. Кичанов, Д. П. Козленко, Е. В. Лукин, А. Мамедов, Р. Мехдиева.

### За научно-методические и научно-технические работы

#### **Первая премия**

«Создание спектрометра VM@N на ускорительном комплексе NICA».

*Авторы:* С. Н. Базылев, Н. И. Замятин, М. Н. Капишин, Е. М. Кулиш, А. М. Маканькин, С. М. Пядин, М. М. Румянцев, С. А. Седых, С. В. Хабаров, В. И. Юревич.

#### **Вторые премии**

«Разработка комплекса программных систем для реализации единой архитектуры распределенной обработки и хранения данных эксперимента VM@N/NICA».

*Авторы:* Е. И. Александров, И. Н. Александров, Н. А. Балашов, К. В. Герценбергер, П. А. Климай, А. А. Мошкин, И. С. Пелеванюк, И. А. Филозова, А. И. Чеботов, Г. В. Шестакова.

«Создание технологического комплекса полного цикла для разработки, изготовления и тестирования координатных детекторов Micro-megas».

*Авторы:* А. Гонгадзе, И. Б. Гонгадзе, Л. А. Гонгадзе, Д. В. Дедович, Н. Н. Каурцев, Н. А. Ковязина, И. В. Ляшко, И. Минашвили, И. Н. Потрап, Т. О. Руденко.

#### **Третьи премии**

«Эксперимент MONUMENT: исследование обычного мюонного захвата для  $0\nu\beta\beta$ -распада».

*Авторы:* В. В. Белов, К. Н. Гусев, И. В. Житников, Д. Р. Зинатулина, С. В. Казарцев, Н. С. Румянцев, Е. А. Шевчик, М. В. Ширченко, М. В. Фомина.

«Создание аппаратно-программного комплекса для изучения характеристик катодно-

стриповых камер установки CMS на LHC в протон-протонных взаимодействиях и исследование особенностей работы камер в условиях больших фоновых загрузок».

*Авторы:* Н. Н. Войтишин, А. О. Голунов, Н. В. Горбунов, А. Ю. Каменев, В. Ю. Каржавин, А. В. Ланев, В. А. Матвеев, В. В. Пальчик, В. В. Перельгин, С. В. Шматов.

«Вычислительные методы и проблемно-ориентированные комплексы программ решения некоторых уравнений в частных производных физических процессов и систем».

*Авторы:* А. А. Гусев, О. Чулуунбаатар, Я. Буша, С. И. Виноцкий, Т. Жанлав, Б. Батгэрэл, В. Л. Улзийбаяр, Л. Л. Хай, П. В. Вэнь.

## **За научно-технические прикладные работы**

### ***Первая премия***

«Методы глубокого обучения для решения различных задач в сельском хозяйстве».

*Авторы:* А. В. Ужинский, Г. А. Ососков, А. В. Нечаевский.

### ***Вторые премии***

«Разработка и внедрение методов энергочувствительной компьютерной томографии с высокоселективным контрастированием для биомедицинских исследований».

*Авторы:* В. А. Рожков, Р. В. Сотенский, Г. А. Шелков, Е. В. Сулова, Д. А. Шашурин, О. С. Медведев.

«Композиционные и гибридные функциональные наноматериалы на основе трековых мембран».

*Авторы:* А. Н. Нечаев, П. Ю. Апель, А. Руссо, И. И. Виноградов, О. В. Криставчук, Е. В. Андреев, Л. И. Кравец, В. И. Кукушкин, Б. Л. Горберг, Л. Ф. Петрик.



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ  
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

# ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМ. Н. Н. БОГОЛЮБОВА

В 2024 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 430 статей в рецензируемых журналах и трудах конференций, 98 статей в составе крупных коллабораций и 2 монографии. Ряд исследований был выполнен в сотрудничестве с учеными из стран-участниц ОИЯИ, Бразилии, Германии, Индии, Италии, Китая, Южно-Африканской Республики и других стран.

Ежегодно ЛТФ является местом проведения научных мероприятий самого высокого уровня: в 2024 г. лабораторией было проведено 8 конференций и рабочих совещаний, а также 3 школы для студентов и молодых ученых. Они проводились как в очном, так и в смешанном форматах.

Среди организованных конференций стоит выделить два крупных мероприятия: Научную сессию секции ядерной физики ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий» и 73-ю Международную конференцию по ядерной физике «Ядро-2023: Фундаментальные вопросы и приложения». Сотрудники и визитеры лаборатории сделали 94 доклада на тематических научных семинарах ЛТФ.

Международное сотрудничество ЛТФ было поддержано грантами полномочных представителей правительств Беларуси, Болгарии, Вьетнама, Египта, Казахстана, дирекции ОИЯИ, совместными программами с Сербией и ЮАР. Продолжалось сотрудничество с теоретиками ЦЕРН, Азиатско-Тихоокеанского центра теоретической физики (Республика Корея), Института теоретической физики АН КНР. 7 исследовательских проектов были поддержаны 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 теоретической физики»



Дубна, 1–5 апреля. Научная сессия секции ядерной физики Отделения физических наук РАН, посвященная 300-летию Российской академии наук



11 ноября, Пекин (Китай). Подписано Соглашение о сотрудничестве между Институтом теоретической физики Китайской академии наук и Лабораторией теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова ОИЯИ

(DIAS-TH). ЛТФ 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 2024 г. сотрудниками ЛТФ защищены 5 кандидатских и 3 докторские диссертации.

## НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Фундаментальные взаимодействия полей и частиц

В 2024 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».

Впервые получены точные аналитические результаты для трехпетлевой спектральной плотности собственной энергии фотона в квантовой электродинамике с  $N$  сортами фермионов. Выражения представлены в терминах повторных интегралов, которые либо сводятся к обобщенным полилогарифмам Гончарова, либо могут быть записаны в виде однократных интегралов от произведения гармонических полилогарифмов и полных эллиптических интегралов. Рассмотрены околопороговые ( $q^2 = 4m^2$ ,  $q^2 = 16m^2$ ) и высокоэнергетические асимптотики спектральной плотности, и показано, что использование последних позволяет получать результаты с высокой точностью для всего интервала значений энергии [1].

Изучен вклад тяжелых кварков в поляризованное правило сумм Бьёркена. Найдено хорошее согласие между экспериментальными данными и предсказаниями аналитической КХД. При исследовании предела фоторождения использовано новое представление пертурбативной части поляризованного правила сумм Бьёркена, предложенное авторами ранее [2].

Впервые получены точные аналитические выражения для электромагнитных поправок пятого порядка по постоянной тонкой структуры  $\alpha$  (десятого порядка по КЭД заряду) к аномальным магнитным моментам лептонов  $a_L$  ( $L = e, \mu, \tau$ ) от фейнмановских диаграмм со всевозможными вставками поляризационного оператора из четырех лептонных петель: а) лептоны все одинаковые ( $l$ ) и отличны от исходного ( $L$ ), б) две петли образованы лептонами сорта  $l$ , а две другие — такими же, как исходный лептон  $L$ , в) одна из петель образована лептонами того же сорта, что и внешний, а три другие — лептонами сорта  $l$ , г) три петли образованы лептонами того же сорта, что и внешний  $L$ , а одна — другого сорта  $l$ . Развитый подход основан на последовательном применении дисперсионных соотношений для поляризационного оператора и использовании преобразования Меллина-Барнса для пропагаторов массивных частиц [3].

В различных моделях инфляционной космологии вычислены квантовые поправки к эффек-

тивному потенциалу. Показано, что поправки приводят к модификации начального потенциала, повышая его значение в минимуме, что может быть интерпретировано как космологическая постоянная/темная энергия. Особое внимание уделяется моделям альфа-аттракторов, в рамках которых демонстрируется, что можно естественным образом получить малые значения космологической постоянной. В модели квинтэссенции тот же механизм изменяет значение темной энергии в настоящее время [4].

Ширины лептонных распадов тяжелых кваркониев являются дополнительными наблюдаемыми величинами при изучении полуплептонных распадов тяжелых мезонов и дают дополнительное представление о возможном нарушении универсальности аромата лептонов. Выполнен подробный анализ данных распадов в рамках ковариантной модели кварков с использованием нового подхода к описанию радиальных возбуждений кваркониев, основанного на оригинальном условии ортогональности радиальных состояний. Оказалось возможным описать экспериментальные данные в рамках Стандартной модели без привлечения дополнительных операторов, ответственных за эффекты новой физики [5].

Проведен теоретический расчет формфакторов  $B_s \rightarrow \gamma^*$  в КХД, где данные величины выражаются через волновую функцию  $B_s$ -мезона на световом конусе. Путем сравнения наших результатов с предсказаниями для формфакторов  $B_s \rightarrow \gamma^*$  в подходах, не использующих волновую функцию  $B_s$ -мезона, было извлечено значение важного параметра для  $B$ -физики — обратного момента амплитуды распределения кварков в  $B_s$ -мезоне,  $\lambda_{B_s}(\mu \simeq m_b)$ :  $\lambda_{B_s}(\mu \simeq m_b) = (0,62 \pm 0,10)$  ГэВ [6].

Найден класс моделей, в которых массы легких нейтрино, барионная асимметрия Вселенной и частицы темной материи имеют общее происхождение. Благодаря симметриям модели майорановские массы активных нейтрино генерируются механизмом обратного seesaw, в котором майорановские массы правых нейтрино возникают в трех петлях. Последнее обеспечивается остаточными дискретными симметриями, которые также гарантируют стабильность темной материи. Поскольку малость масс нейтрино обеспечивается петлевым подавлением, то юкавские константы связи могут достигать значений  $O(1)$ , что допускает богатую феноменологию. В частности, скорости процессов, нарушающих ароматы заряженных лептонов  $\mu \rightarrow e\gamma$ ,  $\mu \rightarrow eee$ , и электрон-мюонная конверсия могут достигать значений, лежащих в пределах досягаемости будущих экспериментов [7].

Изучены спиновые осцилляции нейтрино, рассеиваемых вращающейся (керровской) черной дырой, окруженной толстым намагниченным аккреционным диском. Рассмотрены как тороидальные, так и полоидальные магнитные

поля внутри диска. Прецессия спина нейтрино обусловлена взаимодействием его магнитного момента с этими полями. Обработка спиновых осцилляций нейтринных потоков основана на численном моделировании распространения большого числа входящих тестовых нейтрино с использованием высокопроизводительных параллельных вычислений на суперкомпьютере «Говорун» ОИЯИ. Обсуждаются возможные приложения моделирования к экспериментам по обнаружению астрофизических нейтрино и возможность исследования распределений магнитных полей вблизи черных дыр [8].

Показано преобладание образования закрученных (вихревых) частиц при нецентральных столкновениях тяжелых ионов. При таких столкновениях фотоны, испускаемые вследствие вращения зарядов, сильно закручены. Заряженные частицы рождаются в нерасплывающихся многоволновых состояниях и имеют значительные орбитальные угловые моменты. Можно ожидать, что эмиссия любых закрученных частиц, проявляющаяся в специфических эффектах, является весьма обычной. Частицы, испускаемые при сильных взаимодействиях, закручены, если исходные взаимодействующие партнеры находятся в закрученном состоянии, и не закручены в противном случае. Завихренность ядерной материи играет важную роль в образовании закрученных частиц [9].

Вычислены Т-нечетные и Т-четные адронные структурные функции для процесса Дрелла-Яна в рамках пертурбативной КХД в коллинеарном приближении. Получено разложение для малого  $Q_T/Q$  предела структурных функций. Проведены численный анализ угловых коэффициентов и сравнение с данными эксперимента ATLAS [10].

Впервые показано, что значения отношений масс кварков  $x = m_u/m_d$  и  $y = m_s/m_d$  принадлежат алгебраической кривой третьего порядка  $f(x, y) = 0$ . Два параметра кривой являются дробно-линейными функциями квадратов масс  $\pi$ - и  $K$ -мезонов и при выполнении теоремы Дашена совпадают со значениями  $x_w = 0,56$  и  $y_w = 20,18$ , полученными Вайнбергом из алгебры токов. Показано, что кривая стабильна, т. е. не меняется при учете киральных поправок в массовых формулах псевдоскаляров, и универсальна: любые две независимые дробно-линейные функции ведут к одной и той же кривой. Отрезок кривой, отвечающий физическим значениям масс кварков, можно выделить, если воспользоваться отношением  $m_s/m_{ud} = 27,23(10)$ , известным из вычислений на решетке, что дает  $m_u/m_d = 0,455(8)$ ,  $m_s/m_d = 19,81(10)$ . Величина низкоэнергетической константы  $B_0(2 \text{ ГэВ}) = 2,682(36)(39)$  ГэВ (также известная из вычислений на решетке) позволяет получить абсолютные значения масс легких кварков:  $m_u = 2,14(7)$  МэВ,  $m_d = 4,70(12)$  МэВ,  $m_s = 93,13(2,25)$  МэВ (все величины относятся к MS-бар схеме на шкале 2 ГэВ) [11].



1 июля. На открытии 74-й Международной конференции по ядерной физике «Ядро-2024: Фундаментальные вопросы и приложения»

Получены аналитические выражения для поправок к излучению из начального состояния в электрон-позитронной аннигиляции в виртуальный Z-бозон или фотон. Исправлены некоторые имеющиеся в литературе результаты. Исследована зависимость от выбора масштаба факторизации, и выбрано его значение, позволяющее улучшить сходимость ряда теории возмущений по степеням большого логарифма [12].

Получены аналитические выражения для КЭД-поправок высших порядков к энергетическому спектру электрона в распаде поляризованного мюона. Уточнены некоторые результаты, имеющиеся в литературе. Изучена зависимость величины поправок от выбора масштаба факторизации [13].

С помощью основанного на первопринципах решеточного моделирования была найдена новая пространственно неоднородная фаза в  $N_c = 3$  глюонной плазме при однородном вращении. Эта смешанная фаза в тепловом равновесии одновременно содержит области как в фазе конфайнмента, так и деконфайнмента. Оказывается, что локальная критическая температура фазового перехода на оси вращения не зависит от угловой скорости с точностью в несколько процентов. Кроме того, аналитическое продолжение результатов в область действительных значений угловой скорости показывает, что закон Толмана-Эренфеста не дает исчерпывающего описания системы в окрестности фазового перехода, когда фаза конфайнмента возникает вдали от оси вращения, а фаза деконфайнмента — вблизи оси вращения [14].

Установленная ранее дуальность между транспортными коэффициентами в ускоренной и вращающейся среде и гравитационной аномалией обобщена на случай ненулевой космологической константы. Это открывает принципиальную возможность исследования проявлений космологической константы посредством изучения аномального транспорта — кинематического вихревого эффекта — в соударениях тяжелых ионов [15].

С использованием набора из 162 чисто нуклонных, гиперонных и кварковых уравнений состояния из базы данных ComrOSE и некоторых других работ проверено, что гипероны приводят к существенной разнице в радиусах звезд с массой 1,4 и 2,0 солнечных, которая уменьшается в присутствии кварков. Проведено сравнение форм кривых масса–радиус, и продемонстрировано, что в присутствии гиперонов и кварков в ядрах нейтронных звезд предпочтительной является форма кривой с обратным изгибом, которая контролируется зависимостью энергии ядерной симметрии от плотности. Отмечено существование класса чисто адронных релятивистских среднеполевых уравнений состояния с адронными массами и константами связи, зависящими от скалярного поля, которые удовлетворяют известным ограничениям на уравнения

состояния, включая анализ новых данных NICER и требование незначительного изменения радиусов нейтронных звезд [16].

Представлены результаты моделирования направленного потока различных адронов в столкновениях Au + Au при энергиях столкновения  $\sqrt{s_{NN}} = 3$  и 4,5 ГэВ. Моделирование выполнено в рамках модели трехжидкостной динамики и генератора событий (THESEUS), построенного на ее основе. Результаты сравнены с недавними данными STAR. Направленные потоки различных частиц предоставляют информацию о динамике в различных частях и на различных стадиях сталкивающейся системы в зависимости от частицы. Однако информация об уравнении состояния не всегда доступна напрямую из-за сильного влияния стадии дожига или недостаточно равновесного вещества. Установлено, что кроссоверный сценарий дает наилучшее общее описание данных. Это кроссоверное уравнение состояния является мягким в адронной фазе. Переход в QGP в столкновениях Au + Au происходит при энергиях столкновения между 3 и 4,5 ГэВ, при плотностях барионов  $n_B \gtrsim 4n_0$  и температурах  $\approx 150$  МэВ. Обсуждены эффекты среды в направленном потоке (анти)каонов [17].

## Теория ядерных систем

В 2024 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 основе экспериментальных данных из  $(e, e')$ ,  $(p, p')$  и  $(\gamma, \gamma')$  реакций предсказано существование низкоэнергетических  $E1$  тороидальных состояний в  $^{58}\text{Ni}$ . В рамках самосогласованного приближения хаотических фаз с силами Скирма проведен детальный анализ данных  $(e, e')$ . Показано, что  $(e, e')$  трансверсальные формфакторы могут быть использованы для индикации тороидальных возбуждений [18].

Продемонстрирована корреляция между силой спин-орбитального взаимодействия и эффективной массой нуклона для различных функционалов плотности энергии Скирма без тензорной силы. Показано, что использование полученного соотношения между силой спин-орбитального взаимодействия и эффективной массой позволяет сократить число параметров функционала, не ухудшая описание энергий связи, спин-орбитального расщепления и зарядовых радиусов [19].

Ножничная мода исследована в области актинидов, включая четно-четные сверхтяжелые ядра до  $^{256}\text{No}$ , в рамках метода моментов функции Вигнера. Расчеты позволяют сделать вывод, что двугорбая структура спектра ножниц, на-

блюдаемая в легчайших актинидах, обусловлена энергетическим разделением возбуждений орбитальных и спиновых ножниц. Предсказаны энергетические центроиды и интегральные вероятности  $M1$ -переходов для трансурановых нуклидов до  $^{256}\text{No}$ . Результаты расчетов для  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{254}\text{No}$  согласуются с имеющимися экспериментальными данными [20].

Простая полуаналитическая коллективная модель, принимающая во внимание ограниченность интервала изменения коллективной переменной, предложена для описания киральной динамики в неаксиальной нечетно-нечетных ядрах при фиксированной частично-дырочной конфигурации. Построен коллективный гамильтониан с потенциальной энергией, полученной с использованием анзаца для построения волновой функции, симметричной относительно кирального преобразования. Найдены волновые функции низжайших состояний, и показано, как эволюционирует энергетическое расщепление киральных дублетов при переходе от киральных вибраций к киральным вращениям [21].

Путем аппроксимации зависимости вероятности реакции от углового момента при заданной энергии бомбардировки путем смещения энергии на центробежную энергию и с использованием аналитической формулы для вероятности упругого рассеяния были выведены новые аналитические формулы для сечения реакций тяжелых ионов и универсальной функции реакции. Установлено, что эти новые формулы хорошо описывают экспериментальные данные и могут быть использованы для анализа и предсказаний сечений реакций тяжелых ионов [22].

Изучены спонтанное деление и  $\alpha$ -распад из  $K$ -изомерных состояний в рамках модели двойной ядерной системы. Все процессы рассматривались как эволюция ядра по координате зарядовой (массовой) асимметрии. Для четно-четных, четно-нечетных актинидов и сверхтяжелых ядер времена жизни  $K$ -изомерных состояний по отношению к спонтанному делению и  $\alpha$ -распаду рассчитаны и сравнены с экспериментальными данными. Была объяснена причина подавления спонтанного деления из изомерных состояний с большими  $K$  [23].

Наблюдаемое сечение синтеза тяжелых изотопов сверхтяжелого элемента дармштадтия в реакции горячего синтеза  $^{48}\text{Ca} + ^{232}\text{Th}$  значительно меньше, чем в реакции холодного синтеза  $^{64}\text{Ni} + ^{208}\text{Pb}$ . Слияние ядер в реакции горячего синтеза  $^{48}\text{Ca} + ^{232}\text{Th}$  рассмотрено как эволюция двойной ядерной системы к стабильному составному ядру изотопа  $^{280}\text{Ds}$ . Квазиделение является одной из причин, обуславливающих малость выхода продуктов остатков испарения в этой реакции. Другой причиной этого феномена является уменьшение барьера деления изотопов  $^{275-285}\text{Ds}$ , связанное с оболочечными эффектами в их нейтронной структуре [24].

Разработана модель для динамического описания процесса ядерного деления в области тяжелых ядер на основе подхода двойной ядерной системы (ДЯС). После пересечения барьера деления делящееся ядро рассматривалось как суперпозиция ДЯС. Распределение первичных фрагментов деления описывалось как результат конкуренции между эволюцией первоначально образованной ДЯС и ее распадом по координате относительного расстояния. Плотности уровней, необходимые для расчетов, были получены микроскопически с учетом эффектов деформации и энергии возбуждения. Расчеты, выполненные для четных изотопов  $^{244-260}\text{Fm}$ , дают хорошее описание массовых распределений и распределений нейтронных множественностей. Для описания резкого перехода к симметричному делению в  $^{258}\text{Fm}$  делящееся ядро рассматривалось как суперпозиция ДЯС при меньших удлинениях, чем для более легких изотопов Fm, что согласуется со значительным уменьшением периода полураспада для  $^{258}\text{Fm}$ . Результаты указывают на наличие бимодальности из-за сосуществования сферической и деформированной мод деления при симметричном массовом распределении [25].

Предложен надежный способ вычисления ширины  $\Gamma$  экстремально узкого квантового резонанса. Предлагаемый метод основан на разложении функции Йоста в ряд Тейлора около резонансной энергии  $E_r$  и нахождения нуля функции в ближайшей комплексной точке  $E_r - i\Gamma/2$ . Коэффициенты такого разложения могут быть получены из решения системы связанных дифференциальных уравнений. Эффективность и точность метода проверена на примере двух точно решаемых моделей [26].

Представлена численная схема решения временного уравнения Шредингера, основанная на использовании параболических волновых пакетов (PWP). В качестве простейшего приложения метода был рассмотрен атом водорода в лазерном поле [27].

Канальные (2D локализованные дискретные) состояния, встроенные в континуум, изучены для частицы, взаимодействующей с тонким 3D-слоем 2D периодических потенциалов нулевого радиуса. Представлен общий анализ для «молекулярного монослоя», полученного путем 2D периодического отображения  $N$  различных рассеивателей нулевого радиуса. Численные расчеты канальных состояний выполнены для случая атомного бислоя на квадратной решетке. Для рассеяния частиц на этой системе продемонстрированы проявления канальных состояний в зависимости от энергии удара и углов удара вероятностей полного отражения/пропускания. Также проанализированы особые случаи, когда собственные значения энергии канальных состояний стремятся к порогам рассеяния [28].

Проведено обобщение квантово-механического четырехчастичного уравнения Фаддее-

ва-Якубовского на релятивистский случай. Полученное уравнение применено для изучения ядра  ${}^4\text{He}$ . С использованием однорангового сепарабельного потенциала нуклон-нуклонного взаимодействия была вычислена энергия связи ядра. Результат расчета существенно отличается от нерелятивистского [29].

Получено новое релятивистское выражение для фактора Зоммерфельда-Гамова-Сахарова ( $S$ -фактор) для составной системы частиц со спином  $1/2$  и произвольных масс, взаимодействующих посредством кулоновского хромодинамического потенциала. Анализ выполнен в рамках релятивистского квазипотенциального подхода, основанного на гамильтоновой формулировке ковариантной квантовой теории поля в релятивистском конфигурационном представлении, предложенном А. А. Логуновым, А. Н. Тавхелидзе и В. Г. Кадышевским. Рассмотрены псевдоскалярная, векторная и псевдовекторная системы, и подробно исследовано поведение  $S$ -фактора вблизи порога и в релятивистском пределе. Утверждается, что при пороговом значении вклад спинов значительно снижает эффект Зоммерфельда, в то время как при ультрарелятивистских скоростях их роль уменьшается и  $S$ -фактор становится в основном таким же, как и для систем без спина [30].

Проведен теоретический анализ реакций жесткого выбивания протона протоном из ядра углерода  ${}^{12}\text{C}(p, 2pn_s){}^{10}\text{B}$  и  ${}^{12}\text{C}(p, 2pp_s){}^{10}\text{Be}$  в обратной кинематике при импульсе налетающего ядра  $48 \text{ ГэВ}/c$ , которые недавно исследовались коллаборацией BM@N. Здесь  $n_s$  и  $p_s$  — медленный нуклон в системе покоя  ${}^{12}\text{C}$ , входящий в коррелированную на малых расстояниях  $NN$ -пару. Спектроскопическая амплитуда системы  $NN-B$ , где  $B$  — остаточное ядро, вычислялась в рамках трансляционно-инвариантной модели оболочек. Взаимодействие протона-мишени с  $NN$ -парой налетающего ядра рассматривалось в приближении искаженных волн. При этом учтены эффекты сильного поглощения и однократного зарядового обмена благодаря взаимодействиям в начальном и конечном состояниях. Получено хорошее описание формы экспериментальных распределений по относительным углам и импульсам частиц в системе покоя  ${}^{12}\text{C}$ , а также даны предсказания по абсолютной величине соответствующих дифференциальных сечений [31].

Изучены термодинамические свойства системы, образующейся в ультрарелятивистских столкновениях тяжелых ионов. Параметры были получены из распределений поперечного импульса конечных частиц на основе нескольких теоретических моделей. Использован известный гидродинамический подход «ударной волны», основанный на статистике Больцмана. Кроме того, применен новый подход, основанный на  $q$ -дуальной статистике, который может предоставить больше информации о системе, в частности, ее химическом потенциале, и измерить отличие

полученной системы от классического равновесия. Обнаружено, что кинетические параметры замораживания зависят от центральности столкновения и энергии. Результаты, полученные для модели «ударной волны», согласуются с ранее опубликованными. Для  $q$ -дуальной статистики найдено, что в периферических столкновениях система менее уравновешена, что приводит к увеличению отклонения от классического распределения [32].

На основе теории нелинейных многофотонных квантовых процессов впервые проведены предсказательные расчеты поляризаационных эффектов в комптоновском рассеянии ультрарелятивистских электронов интенсивными лазерными пучками в широком интервале значений энергии электронов и интенсивности лазера [33].

## Теория сложных систем и перспективных материалов

Исследования в 2024 г. проводились в рамках следующих проектов:

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

Изучены корреляционные свойства случайной плотной упаковки дисков, подчиняющихся степенному закону распределения по размерам, в термодинамическом пределе. В этом пределе предполагается, что общее число дисков бесконечно возрастает, а средняя плотность центров дисков и диапазон их распределения по размерам остаются постоянными. Исследована зависимость структурного фактора от импульса передачи для различного числа дисков, полученные результаты экстраполированы на термодинамический предел. Фрактальный диапазон структурного фактора в импульсном пространстве соответствует диапазону распределения по размерам в реальном пространстве, при этом фрактальная размерность совпадает со степенью в распределении частиц по размерам. Исследована зависимость структурного фактора от плотности: при уменьшении плотности упаковки показатель степени убывания во фрактальном диапазоне остается неизменным, но сам диапазон сужается [34].

В рамках обобщенных уравнений Гросса-Питаевского, являющихся упрощенной версией приближения Хартри-Фока-Боголюбова, изучены резонансы, индуцированные конфайнментом, для бозонов, заключенных в квазидвумерную и квазидвумерную оптические ловушки. Хотя метод Хартри-Фока-Боголюбова считается применимым только для слабых взаимодействий между частицами, резонансные знаменатели для химического потенциала получены как в квазидвумерном, так и в квазидвумерном случаях. Для цилиндрического конфайнмента получено полезное интегральное представление одно-

частичной функции Грина. Найдено положение резонанса для химического потенциала в квази-двумерной геометрии при положительной длине рассеяния [35].

Численные и экспериментальные методы использованы для исследования магнитных свойств материала  $\text{SrCoGe}_2\text{O}_6$ , пироксена с магнитными ионами кобальта. Недавно было предложено, что в системах с октаэдрами лигандов с общим ребром ионы кобальта  $2^+$  могут иметь сильное китаевское взаимодействие, которое приводит к фрустрациям и усилению квантовых эффектов. С помощью неупругого нейтронного рассеяния извлечены обменные интегралы, и показано, что китаевское взаимодействие по порядку величины сопоставимо с гейзенберговским. Первопринципные расчеты теории функционала плотности подтверждают данный результат [36].

Предложен метод экстраполяции пертурбативных разложений по степеням асимптотически малых параметров связи или других переменных на область конечных переменных и даже на область переменных, стремящихся к бесконечности. Метод включает в себя комбинацию идей из теории ренормгруппы, теории приближений, динамической теории и теории оптимального управления. Экстраполяция осуществляется с помощью автомодельных фактор-аппроксимантов, контрольные параметры которых могут быть определены однозначно. Метод позволяет найти поведение искомых функций при больших значениях переменных, зная только их разложения при малых значениях. Сходимость и точность метода проиллюстрированы явными примерами, включая так называемую нульмерную теорию поля и ангармонический осциллятор. Найдено поведение функций Гелл-Манна-Лоу в многокомпонентной теории поля, квантовой электродинамике и квантовой хромодинамике в областях бесконечно больших переменных, основанное на их слабосвязанных пертурбативных разложениях [37].

Проведены численные исследования позитронной аннигиляции в ди-бориде циркония ( $\text{ZrB}_2$ ), вольфраме и карбиде вольфрама ( $\text{W}$ ,  $\text{WC}$ ). Задача рассматривалась в рамках изучения радиационной стойкости материалов в экспериментах с гамма-облучением и последующим анализом дефектообразования с помощью позитронной спектроскопии, проводимых в ЛЯР, ЛНФ и ЛЯП [38].

Получены точные значения плотности петель в  $O(1)$  модели плотной упаковки петель на квадратной решетке, свернутой в цилиндр с нечетной длиной окружности. Эти плотности равны плотностям перколяционных кластеров в модели критического реберного просачивания на свернутой в цилиндр, повернутой на  $45^\circ$  квадратной решетке со специальными граничными условиями, обеспечивающими самодвойственность конфигураций кластеров просачивания по отношению к повороту цилиндра на  $180^\circ$  [39].

Полностью асимметричный процесс с простыми запретами (ПАППЗ) с обобщенными правилами обновления — вариант ПАППЗ с дискретным временем, в который добавлено дополнительное управляющее степенью кластеризации частиц взаимодействие между частицами. Хотя ранее было показано, что модель интегрируема на кольце и на бесконечной решетке, на открытой цепочке она изучалась в основном численно, в то время как аналитические результаты не были получены даже для ее фазовой диаграммы. В данной работе для модели на конечной цепочке предложены новые граничные условия, ассоциированные с трансляционно-инвариантными стационарными состояниями модели в бесконечной системе, с которыми удалось аналитически построить точную фазовую диаграмму модели. Дано подробное описание фазовой диаграммы, которое подтверждено обширным численным моделированием [40].

Исследованы свойства квантового запутывания основного состояния в одномерной антиферромагнитной модели Гейзенберга со спином 1 с внешним магнитным полем  $B$  и одноионной анизотропией  $D$ . Получена логарифмическая отрицательность для ближайших и не ближайших соседних узлов на конечных цепочках. Получена фазовая диаграмма в плоскости  $B$ - $D$ , определена линия, где плотность энергии не зависит от размера системы, и показано, что она заканчивается тройной точкой. Наконец, представлены результаты для логарифмической отрицательности на конечных цепочках при конечной температуре в зависимости от  $B$  и  $D$  [41].

Изучено происхождение суперконформных индексов, сыгравших ключевую роль в теоретико-групповой интерпретации эллиптических гипергеометрических интегралов. Обнаружена прямая связь со старыми работами по модифицированной суперсимметричной квантовой механике, проводимой либо заменой фермиона на парафермион второго порядка, либо переходом к нелинейной деформации алгебры суперсимметрии. Эти модели напрямую связаны с моделью слабой суперсимметрии А. Смильги с алгеброй суперсимметрии  $su(2|1)$ . Дана полная классификация возможных значений суперконформного индекса в моделях со слабой суперсимметрией — их оказалось пять типов. Показано, что во всех случаях индекс Виттена для систем с квадратичным гамильтонианом в алгебре, обладавший необычными свойствами, эквивалентен суперконформному индексу [42].

Топологическая сверхпроводимость с нулевыми майорановскими модами имеет фундаментальное научное значение вследствие ее предполагаемого применения в квантовых вычислениях. Предложена система, состоящая из одномерной цепочки сильно коррелированных фермионов, размещенных на сверхпроводящей подложке, которая демонстрирует спин-синглетное  $s$ -волновое спаривание. Показано, что сильная электронная корреляция преобразует



15–19 июля. 2-я Международная конференция  
«Современные проблемы теории конденсированных сред»

s-волновой сверхпроводник в топологический сверхпроводник, который содержит майорановские фермионы. В отличие от подходов, основанных на трактовках среднего поля, для получения такого эффекта не требуется зеemanовского или обменного магнитного поля. Предложены возможные пути экспериментальной реализации рассмотренной системы [43].

Показаны уникальные проявления резонанса и синхронизации в джозефсоновском переходе сверхпроводник–ферромагнетик–сверхпроводник во внешнем электромагнитном поле, когда учитывается не только электрическая, но и магнитная составляющая внешнего излучения. Благодаря связи сверхпроводимости и магнетизма в этой системе прецессия магнитного момента ферромагнитного слоя, вызванная магнитной составляющей внешнего излучения, синхронизирует джозефсоновские осцилляции, что приводит к появлению ступенек особого типа на вольт-амперной характеристике, отличных от известных ступенек Шапиро. Эти ступеньки названы ступеньками Буздина в случае, когда система реагирует только на магнитную компоненту, и химерными в случае, когда присутствуют как магнитная, так и электрическая компоненты. В отличие от ступенек Шапиро, где магнитный момент остается постоянным в области синхронизации, здесь он изменяется вдоль ступеньки. Спин-орбитальная связь вносит существенный вклад в ширину ступенек. Сочетание джозефсоновского и киттельевского ферромагнитных резонансов с различными типами синхронизации,

ярко выраженными в динамике и на вольт-амперных характеристиках, делает физику этой системы очень интересной и открывает ряд новых приложений [44].

Исследована теоретико-полевая модель магнитной гидродинамики с нарушенной пространственной четностью в режиме развитой турбулентности, вычислены все константы ренормировки в двухпетлевом приближении, которые определяют поведение магнитных спектров системы, находящейся в режиме развитой турбулентности. В результате вычислений было обнаружено, что в системе с ненарушенной пространственной четностью спектр магнитных энергий ведет себя почти как  $k^{-2}$ . Это может свидетельствовать в пользу того, что феноменологическая теория, которая может описывать данный тип систем, есть так называемая теория Голдриха-Шридхара. Дальнейший анализ этих систем проводился в фазе со спонтанно нарушенной симметрией, что соответствует режиму динамо, т. е. появлению ненулевого однородного магнитного поля в системе, которое ее стабилизирует [45].

Методом ренормгруппы рассчитан четвертый порядок  $\epsilon$ -разложения в модели бесконечномерной турбулентности с использованием метода гиперлогарифмов [46].

Предложен наиболее общий вид динамических стохастических уравнений для описания критической динамики в критической области сверхпроводящего фазового перехода [47].

## Современная математическая физика: гравитация, суперсимметрия и струны

Исследования по теме в 2024 г. были сосредоточены на следующих направлениях:

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

Рассмотрены конечно-температурные голографические РГ-потоки в калибровочной усеченной супергравитации  $D = 3$ ,  $N = (2,0)$ , связанной с сигма-моделью с гиперболическим целевым пространством. В контексте голографической дуальности неподвижные точки (конформные теории поля) при конечной температуре описываются антидеситтеровскими (AdS) черными дырами. Сделан переход от гравитационных уравнений движения к трехмерной автономной динамической системе, критические точки которой могут быть связаны с неподвижными точками (конформные теории поля) дуальных теорий поля. Решения типа черных дыр вблизи горизонта соответствуют бесконечным точкам рассматриваемой автономной динамической системы. Для проектирования системы, заданной в  $R^3$ , на внутренность двумерного единичного цилиндра использованы преобразования Пуанкаре таким образом, что бесконечные точки отображаются на границу цилиндра. Пространство решений исследовано численно. Показано, что точный РГ-поток при нулевой температуре является сепаратрисой для семейства решений асимптотически AdS черных дыр, если потенциал имеет один экстремум, в то время как для потенциала с тремя экстремумами сепаратрисами являются РГ-потоки между неподвижными точками, соответствующими пространствам AdS. Найдены аналитические решения вблизи горизонта для асимптотически AdS черных дыр. Представлен метод построения полных аналитических решений асимптотически AdS черных дыр в области главного экстремума потенциала [48].

Проведены исследования лагранжевой геометрии многообразий Грассмана  $Gr(1, n)$ : построены примеры лагранжевых подмногообразий типа Миронова для всех степеней однородности  $k = 0, \dots, n$ . Кроме того, в процессе построения циклов Миронова был найден еще один способ построения, который увеличил ряд новых топологических типов гладких лагранжевых подмногообразий в грассманиане  $Gr(1, n)$  в полтора раза. До появления этих работ имелся только один универсальный пример, построенный почти полвека назад И. Гельфандом, а именно — лагранжев тор [49].

Представлена новая модель частицы бесконечного спина в искривленном пространстве. Модель описывается коммутирующими дополнительными спинорными координатами. Доказано, что такая модель непротиворечива только во внешнем гравитационном поле, соответст-

вующем пространствам постоянной кривизны. Получены лагранжиан и калибровочные преобразования для свободной бозонной теории поля бесконечного спина в пространстве AdS4. Показано, что в рассматриваемой модели поля бесконечного спина в пространстве AdS4 описываются наиболее вырожденными представлениями группы  $SO(2,3)$  [50].

Построена  $N = 2$  суперконформная кубическая вершина для гипермультиплета, взаимодействующего с калибровочным  $N = 2$  супермультиплетом произвольного спина на общем фоне конформной  $N = 2$  супергравитации. Выведены  $N = 2$ , 4D аналитические суперконформные калибровочные потенциалы для произвольного целого спина. С использованием подхода гармонического суперпространства построены на линейризованном уровне  $N = 2$  суперсимметричные кривизны, обобщающие скалярную кривизну, кривизну Риччи и тензор Вейля.  $N = 2$  тензор супер-Вейля был обобщен на высшие спины, а затем использован для построения сохраняющихся  $N = 2$  супертоков высших спинов [51].

Показано, что теорема Майо–Бекенштейна может быть нарушена в теории самодействующих скалярных калибровочных полей, минимально связанных с гравитацией. Найдены решения, описывающие статические черные дыры с электрическим и магнитным зарядами и абелевыми скалярными полями материи (волосами). Построены сферически-симметричные дионные решения в модели со скалярным мультиплетом. Их свойства во многом похожи на решения с электрическим зарядом, в частности, выполняется условие резонанса на горизонте черной дыры Райснера–Нордстрема. Однако наличие у черной дыры магнитного заряда не дает возможности существования регулярного солитонного предела дионных решений [52].

Геометрия гравитационной ударной волны определяется тем, что ее фронт является нулевой гиперповерхностью, при пересечении которой компоненты тензора кривизны изменяются скачкообразно. Для описания воздействия гравитационной ударной волны на полевые системы разработан общий подход, применимый к полям с различными спинами. Возмущения, вызывающие ударную волну, найдены как решения характеристической задачи Коши с начальными данными на волновом фронте, определяемыми супертрансляцией входящих полей. Предсказаны новые физические эффекты, такие как излучение электромагнитных и гравитационных волн из-за взаимодействия точечных зарядов или масс с гравитационной ударной волной, возникновение вторичных ударных волн в самих полевых системах и ряд других эффектов. Подход применим к гравитационным ударным волнам общего класса, включая геометрии, источниками которых являются нулевые частицы и нулевые браны [53].

Показано, что нулевые космические струны возмущают гравитационные поля массивных тел таким образом, что возмущения достаточно быстро принимают форму расходящихся от источника гравитационных волн. Соответствующее пространство-время, порождаемое струной и источником, имеет так называемую асимптотически полиоднородную структуру. Вычислен поток гравитационного излучения в таких пространствах, и показано, что усредненная по времени интенсивность максимальна в направлении движения струны. Также проанализирована возможность экспериментального наблюдения данного типа гравитационных волн [54].

Нулевые космические струны возмущают электромагнитные поля заряженных источников и порождают исходящие электромагнитные волны. Для источников магнитодипольного типа поток излучения зависит от ориентации магнитного момента источника по отношению к струне. Сделаны оценки, показывающие, что пиковая мощность излучения может быть достаточно высокой для нулевых струн, движущихся мимо пульсаров, и особенно велика при движении мимо магнетаров. Это означает, что индуцированные струнами вариации светимости звезд могут быть использованы как экспериментальные свидетельства существования нулевых космических струн [55].

Исследована динамика скалярного поля в моделях модифицированной гравитации Эйнштей-

на-Гаусса-Боне с динамической компактификацией. Показано, что если поле не минимально связано с кривизной, его асимптотическое значение может не совпадать с минимумом потенциала при определенных параметрах. Это означает, что благодаря влиянию дополнительных измерений скалярное поле с простым потенциалом четвертого порядка может стабилизироваться вдали от нулевого значения поля, что означает эффективное нарушение симметрии в такой системе [56].

С помощью расщепленных операторов Казимира найдено разложение антисимметричной части AdS5. Это разложение содержит представления, которые появились при разложении AdS4, и только одно новое представление X5. Размерность этого представления была предложена ранее в статье Macfarlane A. J., Pfeiffer H. (J. Phys. A: Math. Gen. 2003. V. 36. P. 2305). Найденное разложение справедливо для всех алгебр Ли [57].

Дана гамильтонова формулировка новой модели  $N = 8$  суперсимметричной механики, недавно предложенной С. Федоруком и Е. Ивановым, и показано, что она обладает динамической  $N = 8$  суперконформной симметрией  $osp(8|2)$ . Бозонная часть гамильтониана — это всего лишь свободная частица на восьмимерном конусе, вложенном в девятимерное псевдоевклидово пространство, а фермионную часть можно интерпретировать как спин-орбитальное взаимодействие [58].

## ДУБНЕНСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКОЛА СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (DIAS-TH)

В рамках образовательной программы DIAS-TH в 2024 г. были организованы 3 школы для студентов, аспирантов и молодых ученых.

Зимняя школа DIAS-TH «Многочастичные системы: от конденсированных сред к кваркам и звездам» проходила с 29 января по 3 февраля. Ее основными темами были: теоретическое описание взаимодействующих фермионных систем,

холодные фермионные газы, нестабильность вакуума и фазовые переходы, свойства КХД-материи, проблема конфинмента, свойства компактных звезд. В школе приняли участие 53 человека. Они представляли МГУ, МИФИ, МФТИ, ФТИ им. А. Ф. Иоффе, НИУ ВШЭ, СПбГУ, ОИЯИ. В школе также приняла участие группа студентов из Босфорского университета (Стамбул, Турция).



29 января – 3 февраля. 18-я Зимняя школа «Многочастичные системы: от конденсированных сред к кваркам и звездам»



11–17 февраля. Международная школа «Теория ядра и астрофизические приложения»

Школа «Теория ядра и астрофизические приложения» проходила 11–17 февраля. На ней обсуждались исследования структуры ядер, реакции синтеза и многонуклонной передачи, кластерные подходы к описанию ядер, новые подходы к ядерному делению, ядерные реакции, представляющие интерес для астрофизики, взаимодействие нейтрино с ядрами / ядерной материей и сверхновыми. Участниками школы стали 78 студентов, аспирантов и молодых ученых из Белгорода, Владивостока, Воронежа, Дубны, Иркутска, Казани, Москвы, Новосибирска, Омска, Санкт-Петербурга, Саратова, Сарова, Томска, Хабаровска, Якутска.

На традиционной международной Летней школе DIAS-TH «Перспективные методы современной теоретической физики: интегрируемые и стохастические системы» (21–26 июля) были представлены курсы лекций о теоретико-полевых, функциональных и статистических методах, которые используются при изучении неравновесных квантовых и классических систем, о методах теории интегрируемых систем, а также обсуждались актуальные вопросы теории гравитационных волн. В работе школы приняли участие более 60 человек из ведущих научных центров России, Болгарии и Словакии, университетов Москвы, Санкт-Петербурга, Казани, Томска.

## КОНФЕРЕНЦИИ, СОВЕЩАНИЯ, СОТРУДНИЧЕСТВО

В 2024 г. было организовано 8 конференций и рабочих совещаний и три школы для студентов и молодых ученых: Зимняя школа DIAS-TH «Многочастичные системы: от конденсированных сред к кваркам и звездам» (29 января – 3 февраля, Дубна), международная школа «Теория ядра и астрофизические приложения» (11–17 февраля, Дубна), международное рабочее совещание «Проблемы современной математической физики» (19–23 февраля, Дубна), Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий» (1–5 апреля, Дубна), 22-й Международный семинар по физике высоких энергий «Кварки-2024» (20–24 мая, Переславль-Залесский), 74-я Международная конференция по ядерной физике «Ядро-2024: Фунда-

ментальные вопросы и приложения» (1–5 июля, Дубна), международная конференция «Современные проблемы теории конденсированных сред» (15–19 июля, Дубна), международная школа «Перспективные методы современной теоретической физики: интегрируемые и стохастические системы» (21–26 июля, Дубна), международное совещание «Суперсимметрии и квантовые симметрии — SQS'24» (29 июля – 3 августа, Дубна), международная школа — рабочее совещание по малочастичным системам (29 сентября – 4 октября, Хабаровск), 12-е совместное рабочее совещание ИТФ / Академия наук Китая – ЛТФ/ОИЯИ по физике сильно взаимодействующих систем (4–8 ноября, Хучжоу, Китай).



19–23 февраля. Международная конференция «Проблемы современной математической физики»

## КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В 2024 г. на рабочих местах установлены более десяти новых ПК с процессорами Intel 12-го и 14-го поколений. Для расширения возможностей файлового сервера ЛТФ приобретены диски большой емкости и системный блок на современном процессоре. В больших аудиториях ЛТФ

точки доступа Wi-Fi заменены на более производительные устройства стандарта 802.11ax. Запущен новый веб-сервер лаборатории bltp.jinr.ru. В вестибюле ЛТФ установлен информационный киоск. Продлены на 1 год подписки на обновления программ Maple и OriginPro.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Onishchenko A. I. // *Natural Sci. Rev.* 2024. No. 1. 2.
2. Gabdrakhmanov I. R., Gramotkov N. A., Kotikov A. V., Teryaev O. V., Volkova D. A., Zemlyakov I. A. // *JETP Lett.* 2024. V. 120. P. 804.
3. Solovtsova O. P., Lashkevich V. I., Kaptari L. P. // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55. P. 725; *J. Phys. G.* 2024. V. 51. P. 055001; *Nonlinear Dynamics and Applications.* 2024. V. 30. P. 195.
4. Filippov V. A., Iakhibbaev R. M., Kazakov D. I., Tolkahev D. M. // *Natural Sci. Rev.* 2024. No. 1. 3.
5. Dubnicka S., Dubnickova A. Z., Ivanov M. A., Liptaj A., Tyulemissova A., Tyulemissov Zh. // *Phys. Rev. D.* 2024. V. 110. 056030.
6. Ivanov M., Melikhov D., Simula S. // *Phys. Rev. D.* 2024. V. 110. 094048.
7. Abada A., Bernal N., Cárcamo Hernández A. E., Kovalenko S. G., de Melo T. B. // *JHEP.* 2024. V. 05. 035.
8. Deka M., Dvornikov M. // *Phys. At. Nucl.* 2024. V. 87. P. 483.
9. Liping Zou, Pengming Zhang, Silenko A. J. // *J. Phys. G.* 2023. V. 50. 015003; Silenko A. J., Pengming Zhang, Liping Zou // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55. P. 1080.
10. Lyubovitskij V. E., Zhevlakov A. S., Anikin I. A. // *Phys. Rev. D.* 2024. V. 110. 074028; Lyubovitskij V. E., Vogelsang W., Wunder F., Zhevlakov A. S. // *Phys. Rev. D.* 2024. V. 109. 114023.
11. Osipov A. A. // *Phys. Rev. D.* 2024. V. 110. 014044; Ocunov A. // *Письма в ЖЭТФ.* 2024. Т. 119. С. 869.
12. Arbuzov A. B., Voznaya U. E. // *Phys. Rev. D.* 2024. V. 109. 113002.
13. Arbuzov A. B., Voznaya U. E. // *Phys. Rev. D.* 2024. V. 109. 053001.
14. Braguta V. V., Chernodub M. N., Roenko A. A. // *Phys. Lett. B.* 2024. V. 855. 138783.
15. Khakimov R. V., Prokhorov G. Yu., Teryaev O. V., Zakharov V. I. // *Phys. Rev. D.* 2024. V. 109. 105001.

16. Kolomeitsev E. E., Voskresensky D. N. // Phys. Rev. C. 2024. V. 110. 025801.
17. Ivanov Yu. B., Kozhevnikova M. // Phys. Rev. C. 2024. V. 110. 014907.
18. von Neumann-Cosel P., Nesterenko V. O., Brandherm I., Vishnevskiy P. I., Reinhard P.-G., Kvasil J., Matsubara H., Repko A., Richter A., Scheck M., Tamii A. // Phys. Rev. Lett. 2024. V. 133. 232502.
19. Arsenyev N. N., Severyukhin A. P., Adamian G. G., Antonenko N. V. // Phys. Rev. C. 2024. V. 110. 034312.
20. Balbutsev E. B., Molodtsova I. V. // Eur. Phys. J. A. 2024. V. 60. P. 185; Intern. J. Mod. Phys. E. 2024. 2441016.
21. Jolos R. V., Kolganova E. A., Khamitova D. R. // Front. Phys. 2024. V. 19. 24303.
22. Adamian G. G., Antonenko N. V., Lenske H., Sargsyan V. V. // Phys. Rev. C. 2024. V. 109. 014602.
23. Rogov I. S., Adamian G. G., Antonenko N. V. // Phys. Rev. C. 2024. V. 110. 014606.
24. Nasirov A. K., Yusupov A. R., Kayumov B. M. // Phys. Rev. C. 2024. V. 110. 014618.
25. Rahmatinejad A., Andreev A. V., Bezbakh A. N., Isaev A. V., Mukhin R. S., Shneidman T. M. // Intern. J. Mod. Phys. E. 2024. 2441018.
26. Rakityansky S. A., Ershov S. N. // Phys. Rev. C. 2024. V. 109. 034610.
27. Zaytsev A., Zaytseva D., Zaytsev S., Ancarani L. U., Popov Yu., Kouzakov K. // Eur. Phys. J. Plus. 2024. V. 139. P. 199.
28. Grozdanov T., Solov'ev E. A. // Eur. Phys. J. Plus. 2024. V. 139. P. 425.
29. Bondarenko S., Yurev S. // Phys. At. Nucl. 2024. V. 87. P. 822.
30. Solovtsova O. P., Chernichenko Yu., Kaptari L. P. // Phys. At. Nucl. 2024. V. 87. P. 1083.
31. Larionov A. B., Uzikov Yu. N. // Phys. Rev. C. 2024. V. 109. 064601.
32. Nedorezov E. V., Parvan A. S., Aparin A. A. // Phys. Part. Nucl. 2024. V. 55. P. 984.
33. Titov A. I. // Eur. Phys. J. D. 2024. V. 78. P. 31.
34. Cherny A. Yu., Anitas E. M., Vladimirov A. A., Osipov V. A. Dense Random Packing of Disks with a Power-Law Size Distribution in Thermodynamic Limit // J. Chem. Phys. 2024. V. 160. 024107.
35. Cherny A. Yu. Confinement-Induced Resonance from the Generalized Gross-Pitaevskii Equations // Phys. Rev. A. 2024. V. 110. 023309.
36. Maksimov P. et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. 2024. V. 121(43). e2409154121.
37. Yukalov V. I., Yukalova E. P. // Ann. Phys. (N. Y.). 2024. V. 467. P. 169716.
38. Popov E. P., Donkov A. A. et al. // J. Nucl. Mater. 2024. V. 599. 155242; Intern. J. of Refractory Metals and Hard Materials. 2024. V. 124. 106850.
39. Povolotsky A. M., Trofimova A. A. // J. Stat. Mech.: Theory and Experiment. 2024. 123101.
40. Bunzarova N. Z., Pesheva N. C., Povolotsky A. M. Phase Diagram of Generalized Totally Asymmetric Simple Exclusion Process on an Open Chain: Liggett-Like Boundary Conditions // Phys. Rev. E. 2024. V. 109. 044132.
41. Papoyan V. V., Gori G., Papoyan (Jr.) V. V., Trombettaoni A., Ananikian N. // Phys. E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures. 2024. V. 158. 115899.
42. Spiridonov V. P. // Phys. Lett. B. 2024. V. 856. 138889.
43. Kesharpu K. K., Kochetov E. A., Ferraz A. // Phys. Rev. B. 2024. V. 109. 115140.
44. Shukrinov Yu. M., Kovalenko E., Tekic J., Kulikov K., Nashaat M. // Phys. Rev. B. 2024. V. 109. 024511.
45. Hnatic M., Lucivjansky T., Mizisin L., Molotkov Y., Ovsiannikov A. // Universe. 2024. V. 10. P. 6.
46. Adzhemyan L. Ts., Evdokimov D. A., Kompaniets M. V. // Nucl. Phys. B. 2024. V. 1008. 116716.
47. Гостева Л. А., Халимов М. Ю., Яшугин А. С. // ТМФ. 2024. Т. 221. С. 444.
48. Golubtsova A. A., Nikolaev A., Podoinitsyn M. A. // Phys. Rev. D. 2024. V. 110. 06601.
49. Тюрин Н. А. // Матем. заметки. 2024. Т. 116(6). С. 998; Матем. сб. 2024. Т. 215(10). С. 167.
50. Buchbinder I. L., Fedoruk S. A., Isaev A. P., Krykhtin V. A. // Phys. Lett. B. 2024. V. 853. 138689; Eur. Phys. J. Plus. 2024. V. 139. P. 621.
51. Buchbinder I., Ivanov E., Zaigraev N. // JHEP. 2024. V. 2408. P. 120; Ivanov E., Zaigraev N. // Phys. Rev. D. 2024. V. 110. 066020; Zaigraev N. // Phys. Lett. B. 2024. V. 858. 139056.
52. Kunz J., Loiko V., Shnir Y. // Phys. Rev. D. 2024. V. 110. 125020; Herdeiro C., Radu E., Shnir Y. // Phys. Lett. B. 2024. V. 856. 138912; Dzhunushaliev V., Folomeev V., Kunz J., Shnir Y. // Phys. Lett. B. 2024. V. 855. 138812; Kirichenkov R., Kunz J., Sawado N., Shnir Y. // Phys. Rev. D. 2024. V. 109. 045002.
53. Fursaev D. V., Davydov E. A., Pirozhenko I. G., Tainov V. A. // JHEP. 2024. V. 11. 039.
54. Fursaev D. V., Davydov E. A., Pirozhenko I. G., Tainov V. A. // Phys. Rev. D. 2024. V. 109. 125009.
55. Fursaev D. V., Pirozhenko I. G. // Phys. Rev. D. 2024. V. 109. 025012.
56. Chirkov D., Giacomini A., Toporensky A., Tretyakov P. // General Relativity and Gravitation. 2024. V. 56. P. 110.
57. Isaev A. P., Krivonos S. O. // Izv. Math. 2025. V. 89. P. 15.
58. Khastyan E., Krivonos S., Nersessian A. // Intern. J. Mod. Phys. A. 2025. V. 40. 2450165.

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

Основные усилия сотрудников Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина в 2024 г. были сосредоточены на создании, развитии и вводе в эксплуатацию

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

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ В РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА «НУКЛОТРОН–NICA»

В июне 2024 г. Президент РФ в ходе своего визита в ОИЯИ дал старт испытаниям технологического оборудования (технический пуск) коллайдера комплекса NICA, инжекционная часть

которого была запущена в 2023 г. и продемонстрировала стабильную работу в сеансе пусконаладки с ускоренным пучком, выведенным на экспериментальную установку для физических



Дубна, 13 июня. Президент РФ В. В. Путин на экскурсии в Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина

исследований VM@N. Полным ходом идет монтаж магнитно-криостатной системы коллайдера, ВЧ-станций и квадрупольных линз участка встречи пучков, объединение секций высоковакуумного объема в западной и восточной дугах, монтаж криогенного оборудования и источников питания в здании коллайдера, подключение и тестирование систем электроснабжения, электропитания и эвакуации энергии. Завершается создание инженерной инфраструктуры. Начаты испытания источников питания сверхпроводящих магнитов коллайдера. Разработана детальная программа подготовки к физическому запуску комплекса, включающая последовательную настройку элементов комплекса параллельно с завершением монтажа подсистем коллайдера. Старт испытаний технологического оборудования коллайдера и магнита MPD выводит подготовку запуска всего комплекса NICA на финальную стадию.

Идет модернизация оборудования источника тяжелых ионов, линейного ускорителя, бустера и нуклотрона, имеющая целью существенное повышение интенсивности ускоренных пучков тяжелых ионов. Подготовлен режим накопления



пучка в бустере за счет многократно повторяемой инжекции.

В ходе опытно-конструкторских работ изготовлен уникальный, не имеющий аналогов быстроциклирующий сверхпроводящий магнит с максимальным полем до 1,8 Тл и темпом изменения поля до 10 Тл/с, что дает возможность дальнейшего повышения интенсивности пучков в коллайдере NICA [1-6].



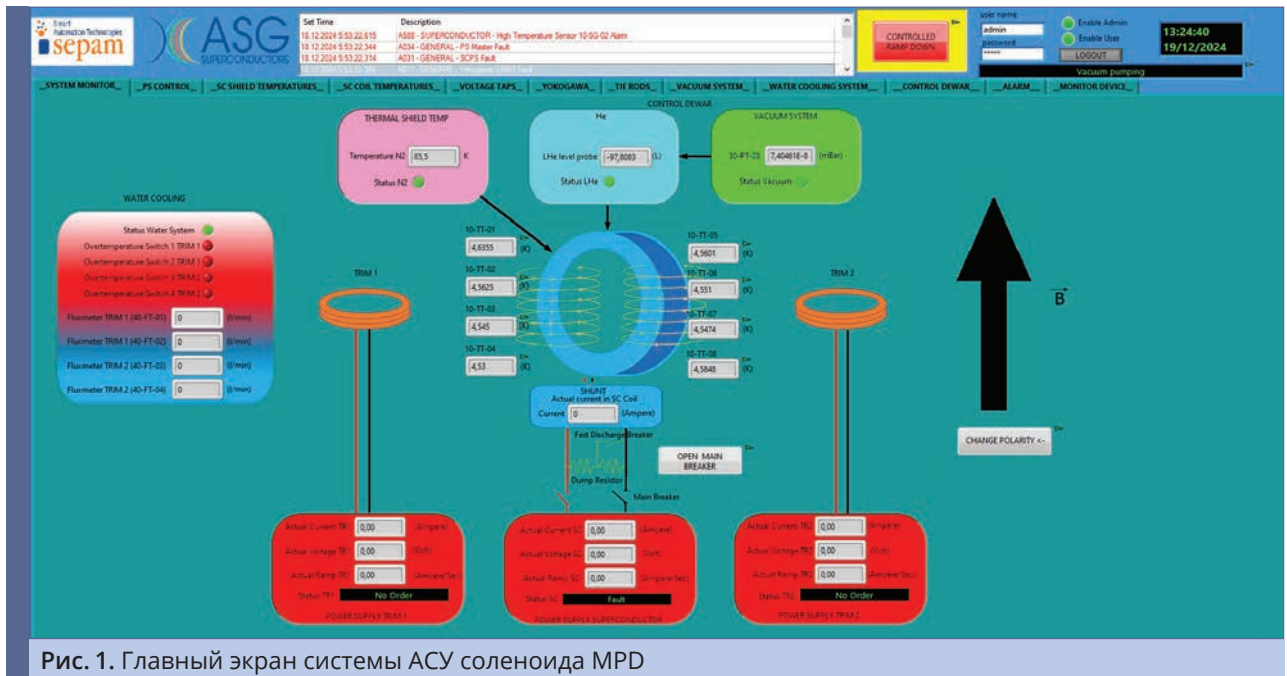


Рис. 1. Главный экран системы АСУ соленоида MPD

Важнейшим результатом работы коллаборации MPD в 2024 г. было успешное охлаждение сверхпроводящего соленоидального магнита, основного узла установки (длина 7 м, диаметр 5 м, масса 70 т), до рабочей температуры. В состав системы охлаждения входит сам соленоид с трубопроводами и коллекторами, расположенными на поверхности опорного цилиндра и тепловых экранов, контрольный сосуд Дьюара, являющийся буфером для ввода криогенных жидкостей и тока в соленоид, сателлитный рефрижератор, обеспечивающий подачу гелия с заданными расходом и температурой, система регулирования температуры азота для тепловых экранов соленоида, криогенные и тепловые трубопроводы, емкости хранения и выдачи технических газов, вакуумная система, система управления и защиты. Оборудование было собрано, произведены необходимые расчеты, доработано программное обеспечение, отображающее все жизненно важные параметры работы соленоида. На рис. 1

представлен главный экран ПО MasterSCADA. Данные на экране соответствуют стационарному режиму работы соленоида, охлажденному до температур сверхпроводимости в декабре 2024 г. Из рисунка видно, что катушка охлаждена до 4,5 K, азотные экраны до 85 K, вакуум внутри соленоида  $7 \cdot 10^{-8}$  мбар.

По результатам испытаний соленоида было установлено отсутствие «холодных» течей, а повышение температуры (при выдержке только под азотными экранами) составило не более 1 K/сут в объеме соленоида. Продолжились работы по обвязке сигнальными и питающими кабелями источников подачи тока в соленоид и корректирующие катушки, внешнего сопротивления разрядки и датчика срыва сверхпроводимости. Наряду со сборкой объемного измерителя велась разработка стационарных мониторов поля, которые будут установлены на внутренней поверхности кожуха соленоида.

Время-проекционная камера TPC — основной трековый детектор установки MPD. С помощью этого детектора восстанавливаются треки заряженных частиц и осуществляется их идентификация по удельным потерям в рабочем газе детектора. TPC состоит из четырех цилиндров (из кевлара) с высокой жесткостью (прогиб по центру не более 0,1 мм) и малым количеством вещества на пути частиц (0,4 г/см<sup>2</sup>).

На каждом торце TPC устанавливается по 12 камер. Взаимная непараллельность двух фланцев и высоковольтного электрода между собой не более  $\pm 0,5$  мм. Установлены 24 трубы системы field cage на внутреннем диаметре TPC. Подготовлены к установке трубы внешнего диаметра (24 шт.). В 8 трубах смонтированы микроскопа системы лазерной калибровки TPC. Были изготовлены 3 испытательных стенда с система-



Склейка двух фланцев и высоковольтного электрода с трубой C1-C2



Дубна, 24 мая. Комплекс NICA

ми сбора данных со считывающей камеры ROC. На рис. 2 представлена визуальная картина RMS шумов каналов электроники считывания, подключенных к пэдovým площадкам ROC камеры. Красным цветом обозначены каналы с небольшим превышением шума относительно референсного значения  $RMS = 1,2ch \text{ ADC}$ .

Продолжались работы по интеграции оборудования детектора TPC в установку MPD. На 4-м этаже «северной» (электронной) платформы расположены 8 стоек для оборудования TPC. Разработана схема заполнения этих 8 стоек. На «южной» платформе располагаются системы охлаждения для детекторов TPC и ECal (рис. 3).

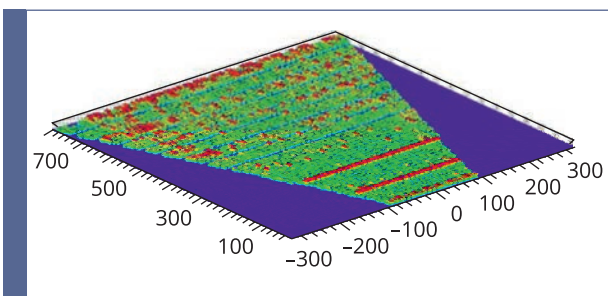


Рис. 2. RMS шумов для 3968 каналов ROC

Времяпролетная система (ToF) является базовой системой идентификации заряженных адронов многоцелевого детектора MPD. В начальной конфигурации ToF будет представлена как цилиндр длиной около 6 м и диаметром 3 м, собранный из 28 модулей (рис. 4). Каждый модуль ToF состоит из 10 идентичных многозачерных резистивных плоскопараллельных камер (МРПК) с 24 каналами считывания каждый. Производство 300 МРПК и 28 модулей ToF завершено в 2023 г. Все модули ToF проходили долгосрочное тестирование на космическом излучении в течение всего

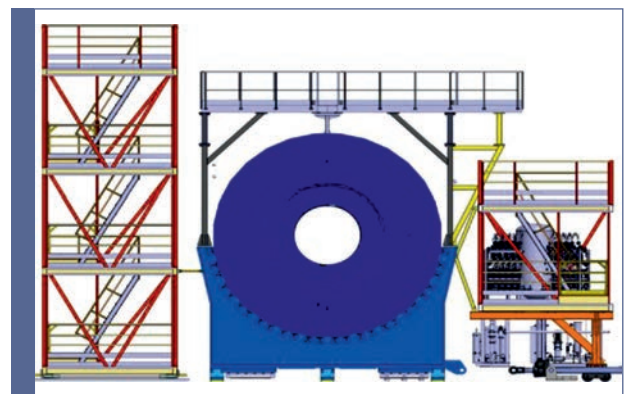


Рис. 3. Платформы MPD для оборудования



Рис. 4. Геометрия ToF в MPDRoot

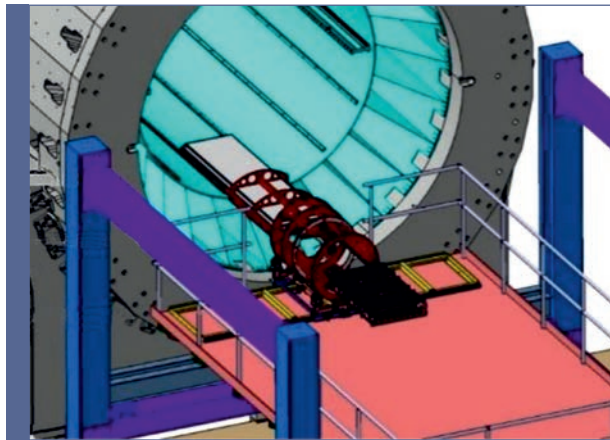
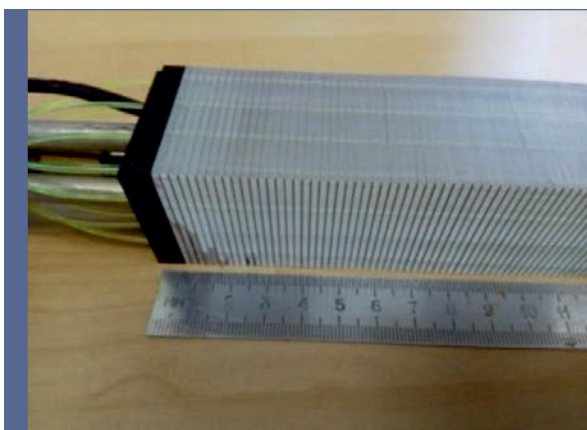


Рис. 5. Интеграционное оборудование ToF

2024 г. Монтаж модулей ToF в магните начнется после завершения установки электромагнитного калориметра ECal. Каждый модуль ToF будет устанавливаться на свое место с обеих сторон ядра магнита. Установка будет осуществляться при помощи уже изготовленной мобильной опорной конструкции (рис. 5). Детекторы ToF будут работать с негорючей газовой смесью, содержащей 90 %  $C_2H_2F_4$  + 5 %  $i-C_4H_{10}$  + 5 %  $SF_6$ . Общий объем газа в барреле ToF составляет ~3000 л с учетом объема, занимаемого детекторами. В связи с таким большим объемом газа принято решение использовать замкнутую систему газоснабжения с рециркуляцией и очисткой газовой смеси. В 2024 г. закупка оборудования для газовой системы была завершена, велись монтажные работы. Спроектирована система воздушного охлаждения накамерной электроники.

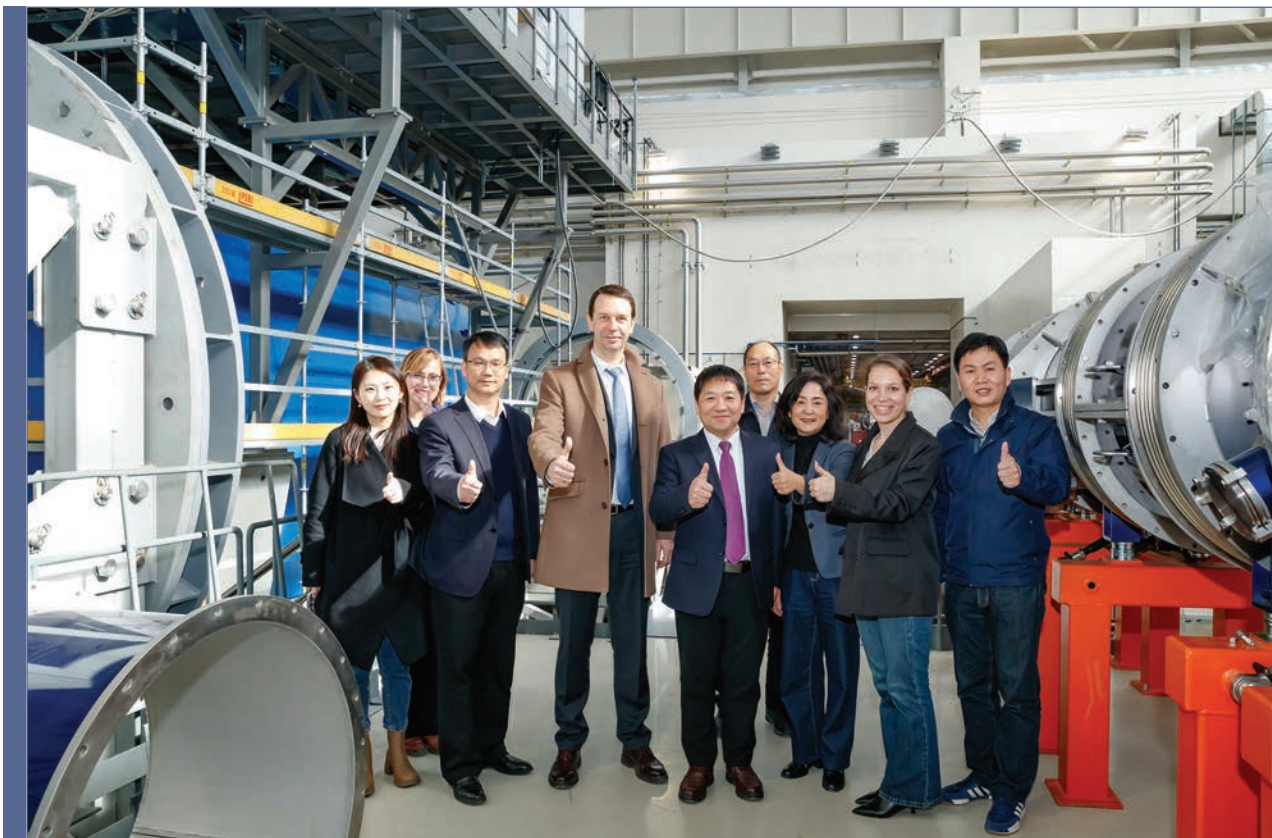
ECal — цилиндрический крупноразмерный (длина 6 м, диаметр 4,5 м) электромагнитный калориметр MPD типа «шашлык», выполненный в проективной геометрии, перекрывает центральную область псевдобыстрот  $|\eta| < 1,2$ . Он оптимизирован для обеспечения точных измерений положений хитов и энергий для фотонов и электронов в энергетическом интервале от 40 МэВ до 2–3 ГэВ. Для обеспечения возможности работы в условиях высокой множественности вторичных частиц в центральных столкновениях ионов золота ECal имеет мелкую сегментацию, составленную из 38 400 ячеек («башен»), собранных в модули. Каждая «башня» состоит из структуры чередующихся 210 сцинтилляторов из полистирола и 210 свинцовых пластин, через которую проходят 16 спектросмещающих волокон (WLS) для сбора сцинтилляционного света.



Слева — структура «башни» ECal. Справа — модуль ECal



Рис. 6. Расположение модулей в полусекторе



28 марта. Визит в ОИЯИ представителей Хэфэйского института физических наук (HFIPS) и Института физики плазмы Академии наук КНР (ASIPP)

Полная толщина ECal ограничена геометрией установки до  $11 X_0$ , при этом утечки энергии из калориметра не превышают величину 10–12 %.

ECal модуль состоит из 16 склеенных друг с другом «башен». Геометрия каждого модуля зависит от его положения вдоль направления пучка по отношению к точке пересечения пучков. Весь ECal будет состоять из 2400 модулей 8 различных типов. Изготовление модулей ECal поделено между производственными площадками в России и КНР. Изготовленные модули проходят предварительную калибровку и тестирование на космических мюонах. В настоящее время протестированы 1499 модулей. Тесты прототипов модулей на пучках электронов были выполнены ранее на пучках электронов в DESY (Гамбург, Германия) и ФИАН (Троицк, Россия). Недавние тесты одиночного модуля ECal на пучке электронов относительно низких энергий в Троицке показали хорошее согласие с результатами моделирования Монте-Карло, что позволило сделать предварительную оценку ожидаемого энергетического разрешения ECal:

$$\Delta E/E \approx \frac{3,0\%}{\sqrt{E \text{ (ГэВ)}} \oplus 2,4\%.$$

Геометрически ECal разделен на 25 секторов или 50 полусекторов; каждый полусектор — это склейка из 48 модулей восьми различных типов (рис. 6). Модули помещены в контейнер полусек-

тора («корзину»), сделанный из стекловолокна. Примерно 800 модулей были изготовлены в четырех университетах в КНР и 1320 — в России (Протвино, «Армул» и «Тензор»). К концу 2024 г. все эти модули были склеены в 40 полусекторов, что составляет 80 % от общего числа башен в ECal. Контракты на производство недостающих компонентов и модулей подписаны с отечественными производителями.

Для установки полусекторов ECal в силовой каркас MPD было спроектировано и изготовлено специальное устройство. Оно позволяет осуществлять точное позиционирование и вращение полусектора массой 1,5 т в трехмерном пространстве, а также перемещение полусектора с малым трением вдоль оси устройства. Устройство было доставлено в ОИЯИ в октябре 2024 г. для окончательной настройки.

В 2024 г. реализовывалась комплексная программа изучения характеристик и физических возможностей детектора MPD в коллайдерном режиме работы с пучками тяжелых ионов. Результаты исследований были представлены на международных конференциях, где члены коллаборации выступили с более чем 40 устными докладами, готовится коллаборационная публикация [7–11]. В качестве примера на рис. 7 приведены дифференциальные выходы, полученные для реконструированных  $\pi^0$ - и  $\eta$ -мезонов, в зависимости от их поперечного импульса в централь-

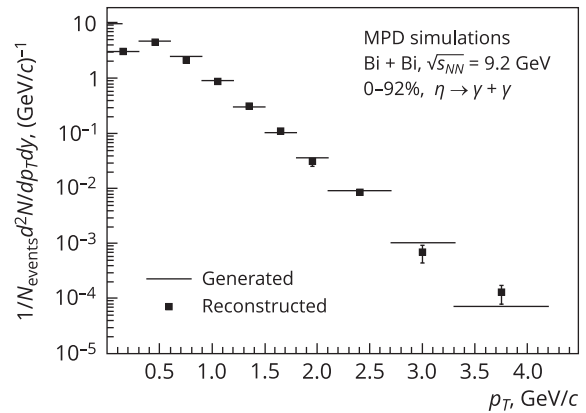
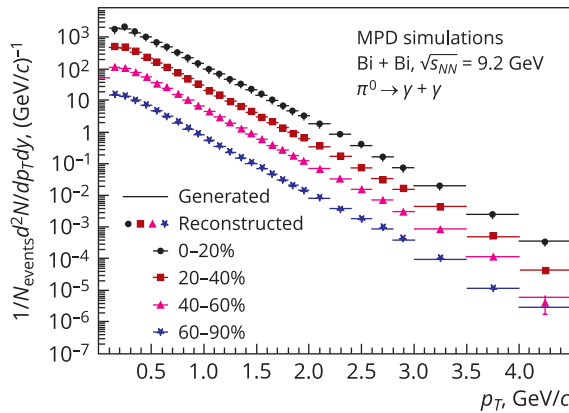


Рис. 7. Дифференциальные спектры рождения  $\pi^0$ - и  $\eta$ -мезонов в столкновениях  $Bi + Bi$  при  $\sqrt{s_{NN}} = 9,2$  ГэВ. Результаты для  $\pi^0$ -мезона показаны для различных интервалов центральности. Измеренные точки сравниваются с истинно сгенерированными спектрами, показанными гистограммами



Устройство для установки полусекторов

ных столкновениях  $Bi + Bi$  при  $\sqrt{s_{NN}} = 9,2$  ГэВ. Реконструированные спектры сравниваются со сгенерированными, показанными гистограммами, и не различаются в пределах статистических неопределенностей.

Участники эксперимента **BM@N** подготовили публикацию [12] с описанием полной конфигурации детекторов **BM@N** в первом физическом сеансе во взаимодействиях пучка ионов  $Xe$  с мишенью  $CsI$  (рис. 8).

Получены и представлены на конференции [13] физические результаты по исследованию

образования протонов, дейтронов и тритонов в аргон-ядерных взаимодействиях при энергии 3,2 А ГэВ. Во взаимодействиях  $Xe + CsI$  при энергии 3,8 А ГэВ была измерена величина  $v_1$  прямого потока протонов [14] в различных выборках событий (рис. 9) и проведено сравнение с моделью **JAM**. Экспериментальные данные и предсказания модели **DCM-QGSM** для эмиссии нейтронов на большие углы представлены на рис. 10.

Участники эксперимента сделали свыше 20 докладов на различных конференциях. В настоящее время идет подготовка к сеансам на нуклотроне с пучками ионов ксенона при энергиях от 2 до 3 А ГэВ.

В 2024 г. участники коллаборации **SPD** завершили работу над техническим проектом установки [15], международный консультативный комитет по детектору **SPD** провел независимую экспертизу проекта, ПКК по физике частиц одобрил данный документ и рекомендовал приступить к созданию первой фазы установки.

Продолжились работы по созданию и тестированию прототипов основных подсистем установки. Прототип модуля мюонной системы **SPD** протестирован на космическом излучении и подготовлен к работе с пучком в тестовой зоне **SPD**. Прототипы трековых детекторов на основе строутрубок и **Micromegas** в ходе тестов на адронных пучках в **ЦЕРН** показали необходимое разрешение в 150 и 80 мкм соответственно. Ведется подготовка участков для массового производства строутрубок в **ОИЯИ** и **ИЯП АН Казахстана**. Создан прототип торцевой части трекера на основе строутрубок, изучены его механические свойства. Идут испытания модулей электромагнитного калориметра. Завершается подготовка документации на сверхпроводящий соленоид **SPD**, готовятся закупки оборудования для криогенной инфраструктуры детектора.

В ходе подготовки ко второй фазе эксперимента достигнута договоренность о создании

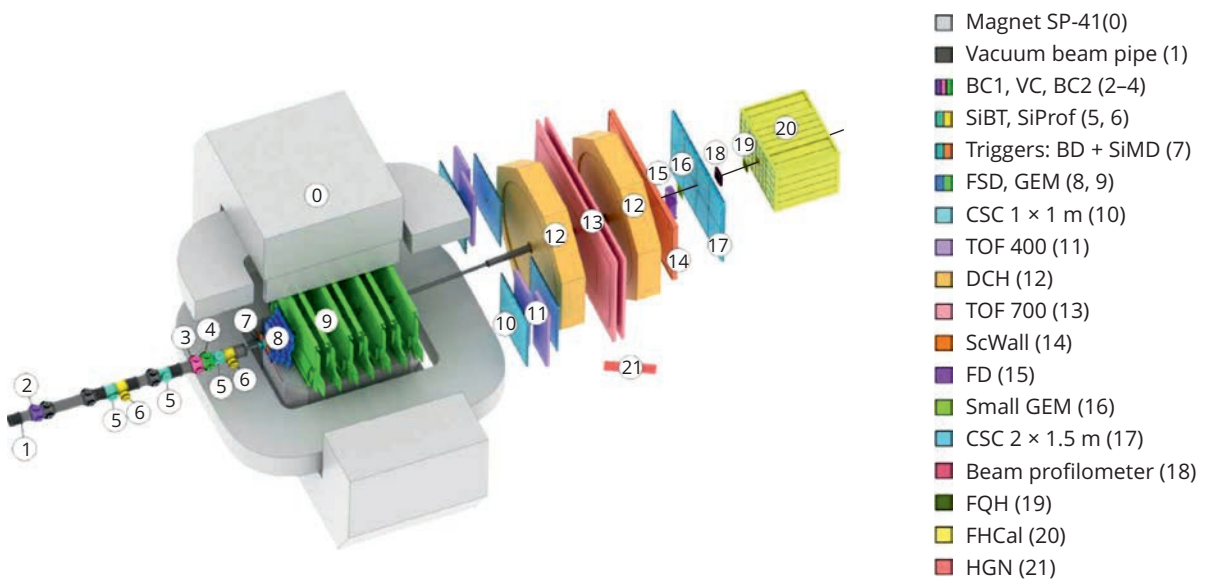


Рис. 8. Полная конфигурация детекторов BM@N в сеансе Xe + CsI

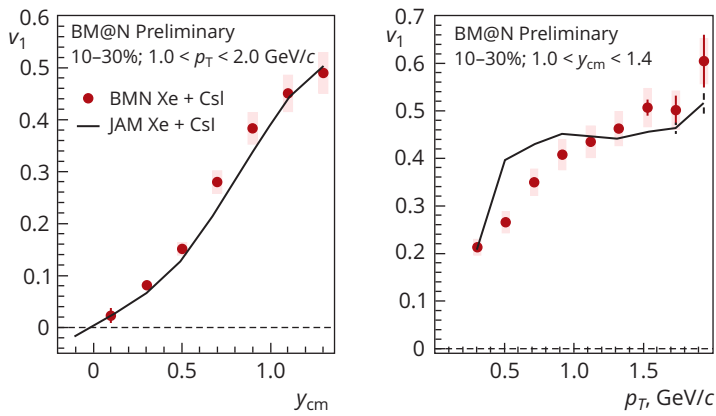


Рис. 9. Прямой поток протонов в зависимости от быстроты  $y$  и поперечного импульса во взаимодействиях Xe + CsI с центральностью 10–30 % при энергии 3,8 А ГэВ

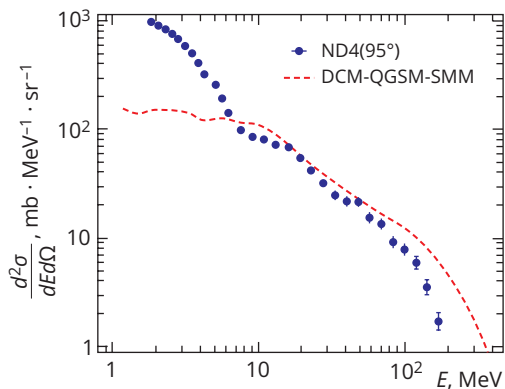
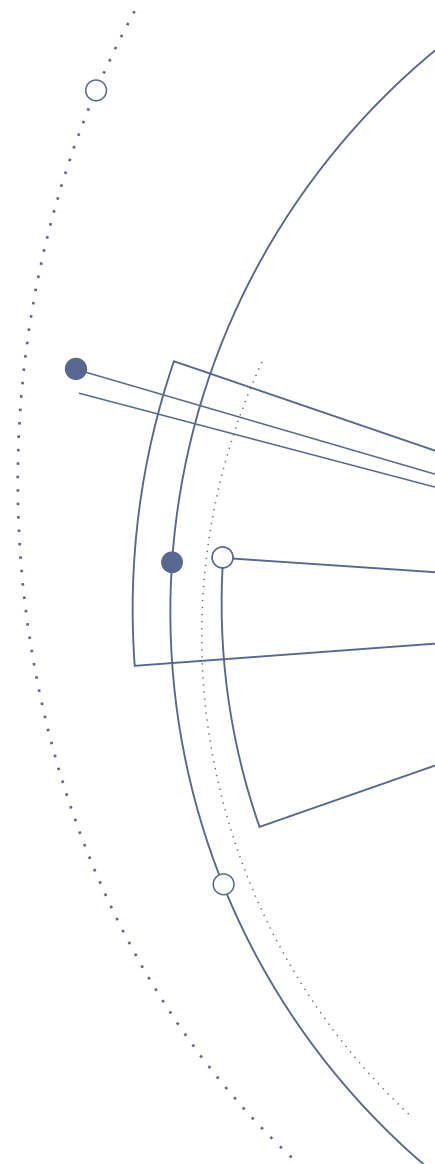


Рис. 10. Дифференциальное сечение образования нейтронов под углом 95° к пучку во взаимодействиях Xe + CsI при энергии 3,8 А ГэВ





5-8 ноября. Участники 8-го коллаборационного совещания по эксперименту SPD



Декабрь. Участники создания ускорительного комплекса NICA

на базе ННЛА (Ереван) совместной с ОИЯИ лаборатории для тестирования и изучения свойств аэрогеля, создаваемого для детектора FARICH в Новосибирске.

Важные результаты получены в разворачивании IT-инфраструктуры эксперимента. Впервые осуществлен массовый запуск задач на кластере ПИЯФ в рамках системы GRID. В ЛИТ создана лаборатория по работе с прототипом системы сбора данных SPD.

В 2024 г. к коллаборации SPD присоединились два новых члена: Институт физики НАН Беларуси и Университет науки и технологий МИСИС. Было проведено два коллаборационных совещания — в Алматы, организованном ИЯП АН Казахстана, и в ОИЯИ, в которых приняли участие более 180 человек. За год участниками проекта SPD было представлено более 30 докладов на международных конференциях и опубликовано 7 работ в реферируемых научных журналах [16, 17].

В 2024 г. в эксперименте DSS был проведен анализ данных по угловым и энергетическим зависимостям дейтронных анализирующих способностей  $A_y$ ,  $A_{yy}$  и  $A_{xx}$  упругого дейтрон-протонного рассеяния при энергиях дейтрона 700–1800 МэВ, полученных на внутренней мишени нуклотрона. В рамках релятивистской модели многократного рассеяния выполнены теоретические расчеты для интерпретации полученных экспериментальных данных по дейтрон-протонному упругому рассеянию назад с учетом возбуждения дельта-изобары в промежуточном состоянии. Результаты работ были представлены на международной конференции ICPPA-2024. Подготовлена статья в журнал «Ядерная физика» по

результатам анализа угловой зависимости анализирующей способности  $A_y$  реакции квазиупругого протон-протонного рассеяния при энергиях 200–650 МэВ/нуклон. На международную конференцию «Ядро-2024» представлен анализ экспериментальных данных по корреляциям трех заряженных частиц во взаимодействии  $\text{Xe} + \text{W}$  при энергии 3,0 ГэВ/нуклон, полученных на нуклотроне [18–21].

На установке ALPOM-2 завершены испытания новой дрейфовой камеры [22], адронный калориметр установлен в рабочее положение на канале в корпусе № 205. Продолжается обновление системы сбора данных и их обработки.

В рамках реализации проекта «ГиперНИС-SRC» начаты работы по восстановлению канала 4В в корпусе № 205: подготовлено техническое задание на проект обоснования радиационной безопасности установки, получены предварительные расчеты существующей биологической защиты экспериментальной зоны, восстановлен пучковый затвор канала 4В, начато восстановление электропитания и водоохлаждения элементов магнитной оптики канала, конструкторским бюро совместно с группами SRC и ГиперНИС создана 3D-модель экспериментальной установки и разработаны новые рамные опоры для плечевых детекторов эксперимента SRC, проведена замена высоковольтного питания пропорциональных камер на новые источники питания CAEN NDT1471, идет профилактическое обслуживание оборудования. Проводится анализ данных, накопленных в 2022 г. в эксперименте SRC на установке BM@N.

## УЧАСТИЕ ВО ВНЕШНИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

На установке NA61/SHINE в ЦЕРН введено в эксплуатацию плечо времяпролетного детектора, разработанного и созданного в ОИЯИ и имеющего высокое временное разрешение 50 пс. При анализе экспериментальных данных соударений  $\text{Be} + \text{Be}$  в области энергий  $\sqrt{s_{NN}}$  от 6 до 11 ГэВ выполнены расчеты выходов  $K^+/\pi^+$  и  $K^-/\pi^-$ -мезонов в рамках модели BMLZ (Baldin-Malakhov-Lykasov-Zaitsev). Показано, что данная модель обеспечивает наилучшее согласие с экспериментом (рис. 11) [23–25].

Продолжался анализ экспериментальных данных экспериментов NA48/2 и NA62.

Получено однозначное подтверждение регистрации сверхредкого распада  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ . В результате анализа данных, собранных детектором NA62 в период с 2016 по 2022 г., удалось измерить долю заряженных каонов, распадающихся на пион и пару нейтрино, составившую  $(13,0^{+3,3}_{-2,9}) \cdot 10^{-11}$ . Всего в сигнальных областях был обнаружен 51 кандидат в распады  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ , тогда как ожидаемый фон составляет  $18^{+3}_-1$  собы-

тий. Результат на 50 % превышает предсказания Стандартной модели, но все же совместим с ней, с учетом его общей неопределенности (рис. 12).

Опубликованы окончательные результаты анализа никогда ранее не наблюдавшегося редкого распада  $K_{\mu 4}^{00}$  [26]. На основе 2437 обнаруженных кандидатов сигнала при отношении сигнала к фону около 6 была определена относительная вероятность распада с высокой точностью. Результат для полного фазового пространства  $\text{Br}(K_{\mu 4}^{00}) = (3,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$  находится в разумном согласии с предсказанием, полученным при использовании формфактора  $R$  из однопетлевого приближения киральной теории возмущений.

В режиме сброса пучка NA62 выполнен поиск распадов темных фотонов в электрон-позитронные пары на лету, для чего был использован набор данных, соответствующий  $1,4 \cdot 10^{17}$  сброшенных на поглотитель протонов, собранный в 2021 г. [27]. Доказательств сигнала темного фотона обнаружено не было. Получен объединенный результат для поиска темных фотонов

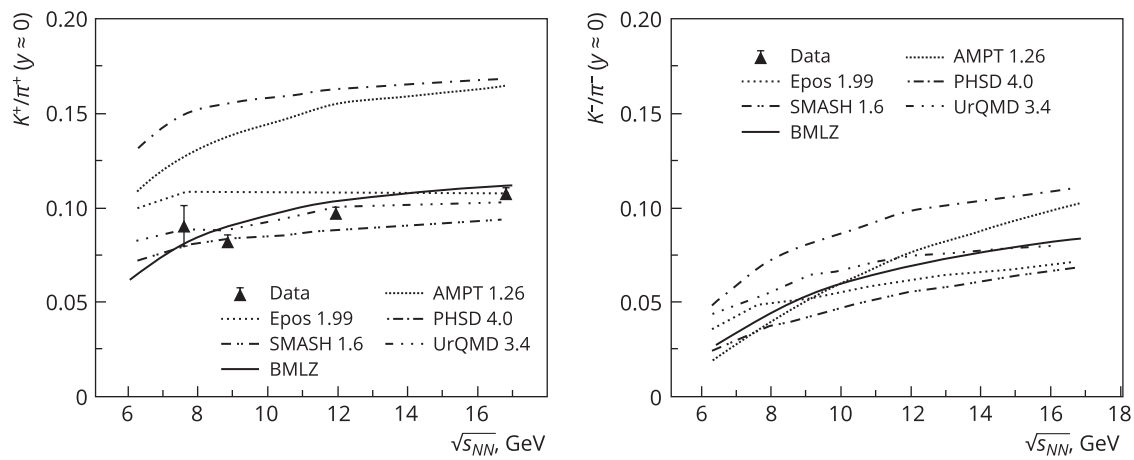


Рис. 11. Зависимости отношений выходов  $K^+/\pi^+$  и  $K^-/\pi^-$  для  $\text{V}_0 \approx 0$  для  $\text{V}_0 + \text{V}_0$  столкновений. Приведены расчеты по различным моделям

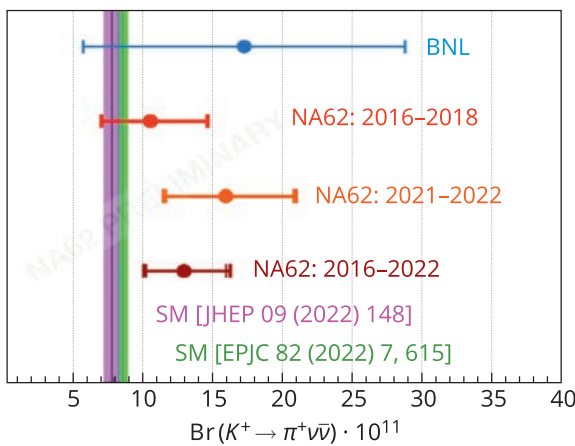


Рис. 12. Сравнение последних предварительных результатов NA62 с более ранними измерениями и теоретическими предсказаниями, основанными на Стандартной модели

в конечных состояниях лептон-антилептон, и определенная область параметров была исключена на уровне достоверности 90 %, что привело к улучшению экспериментальных пределов этих параметров при значениях массы темного фотона между 50 и 600 МэВ/с<sup>2</sup> и константы связи в диапазоне от 10<sup>-6</sup> до 4 · 10<sup>-5</sup>.

Группа ОИЯИ в эксперименте **NA64** 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. В 2024 г. состоялись два сеанса набора данных.

Один из новых результатов, опубликованных в 2024 г. коллаборацией, получен путем анализа данных, набранных на мюонном пучке SPS для проверки моделей, связанных с объяснением

$(g-2)_\mu$ -аномалии за счет дополнительного  $Z'$ -бозона, взаимодействующего в основном со 2-м и 3-м поколениями лептонов (рис. 13) [28, 29].

По результатам работы членами группы ОИЯИ были представлены многочисленные доклады на международных конференциях и семинарах.

В группе **ALICE** в ОИЯИ продолжалось изучение фемтоскопических [30, 31] корреляций и особенностей рождения векторных мезонов в ультрапериферических столкновениях (УПС)  $\text{Pb-Pb}$ . Для анализа фемтоскопических корреляций пар  $K^+K^-$  в  $p\text{-Pb}$  столкновениях при энергии 5,02 ТэВ использовалась корреляционная функция

$$C(q) = 1 + \lambda(C_{a_0 f_0}^{\text{FSI}}(q, R) + C_\phi(q, R))$$

из модели Ледницкого-Любошица, где  $q = (p_1 - p_2)$ ,  $p_1$  и  $p_2$  — 4-импульсы каонов;  $C^{\text{FSI}}$  — корреляционная функция в модели для учета влияния взаимодействия в конечном состоянии через резонансы  $a_0$  и  $f_0$ ;  $C_\phi$  — конволюция функций Гаусса и Брейта-Вигнера для рождения  $\phi$ -мезона;  $R$  — радиус источника эмиссии каонов, а  $\lambda$  — параметр силы корреляции. Результаты фитирования экспериментальных данных событий в сравнении с данными, полученными ранее для пар идентичных каонов, представлены на рис. 14. Известное сильное падение  $R$  является следствием коллективного эффекта, предсказанного в гидродинамических моделях. Видно также некоторое отличие значений  $R$  для неидентичных и идентичных каонных пар, что противоречит результатам, полученным ранее для  $\text{Pb-Pb}$  столкновений.

Новые результаты получены для когерентного фоторождения четырех пионов ( $\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$ ) в УПС  $\text{Pb-Pb}$  соударениях при 5,02 ТэВ [32]. Наилучшее описание спектра инвариантной массы четырех пионов получается с использованием двух функций Брейта-Вигнера для вкладов двух  $\rho_0$  резонансных состояний и интерференции между ними. Полученные величины для масс и

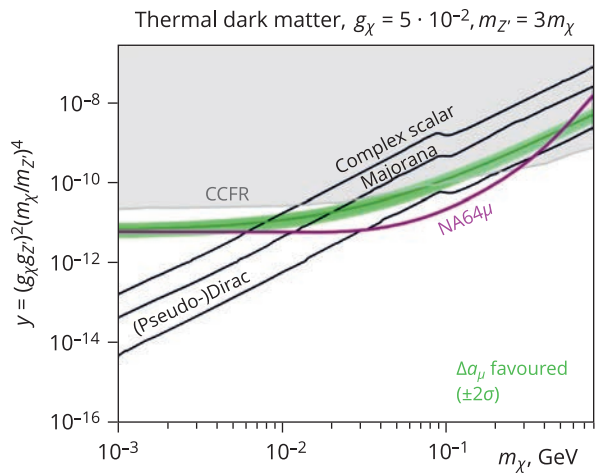
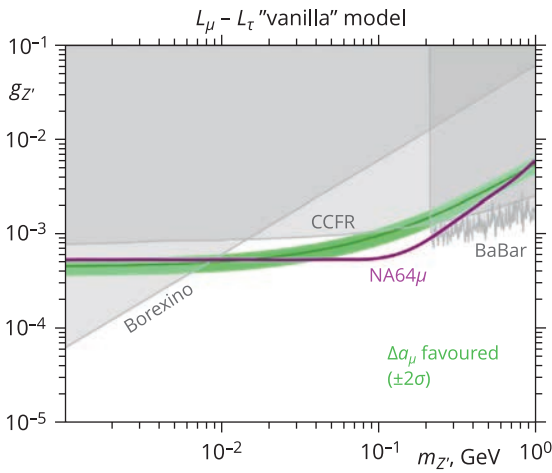


Рис. 13. Слева: установленная NA64 $\mu$  область исключения на уровне достоверности 90 % для константы связи  $g_{Z'}$  как функция  $m_{Z'}$  для простой модели  $L_\mu - L_\tau$ . Также показан диапазон  $2\sigma$  вклада  $Z'$  в  $(g-2)_\mu$ -аномалию вместе с ограничениями, полученными в рамках эксперимента ВаБар и в таких нейтринных экспериментах, как Borexino и CCFR. Справа: установленная NA64 $\mu$  область исключения на уровне достоверности 90 % в плоскости параметров  $(m_\chi, y)$  для термальной темной материи в рамках калибровочной группы  $U(1)L_\mu - L_\tau$  с  $m_{Z'} = 3m_\chi$  и с константой связи  $g_\chi = 5 \cdot 10^{-2}$  для  $2 \cdot 10^{10}$  mot (muons on target)

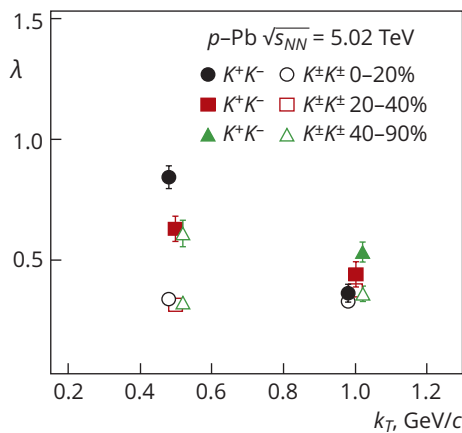
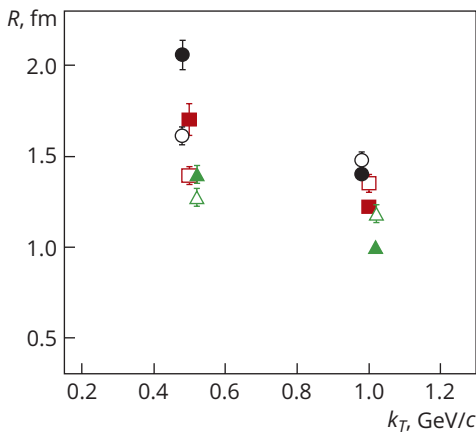


Рис. 14. Параметры  $R$  и  $\lambda$  в зависимости от поперечного импульса пар каонов и от центральности  $p$ -Pb столкновений

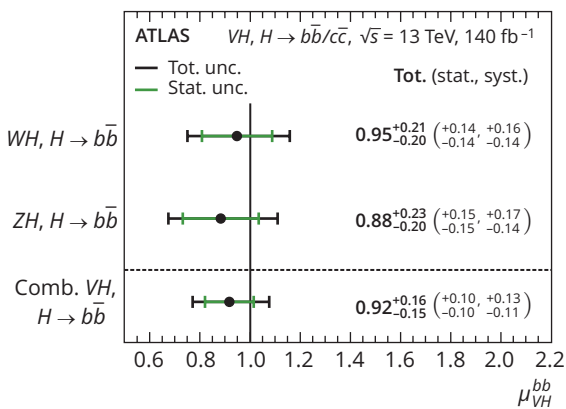


Рис. 15. Измеренные величины силы сигнала в  $VH$ -процессах ( $V = W/Z$ ) и их комбинация

ширин соответствуют в пределах ошибок табличным значениям PDG для состояний  $\rho(1450)$  и  $\rho(1700)$ . В рамках программы модернизации установки ALICE на ускорителе SPS ЦЕРН проведены испытания модулей PHOS с SiPM-детекторами Hamamatsu и монокристаллами PWO4. На электронном пучке в интервале значений энергии 1–10 ГэВ было получено временное разрешение 100 пс и энергетическое разрешение на уровне 1 %.

С участием группы ОИЯИ в эксперименте ATLAS получены новые результаты по изучению бозона Хиггса в процессах ассоциативного рождения с  $W$ - или  $Z$ -бозоном и последующим распадом на пару  $b$ -кварков [33]. На рис. 15 представлена полученная в эксперименте величина «силы сигнала»  $H \rightarrow b\bar{b}$  — отношение измеренно-

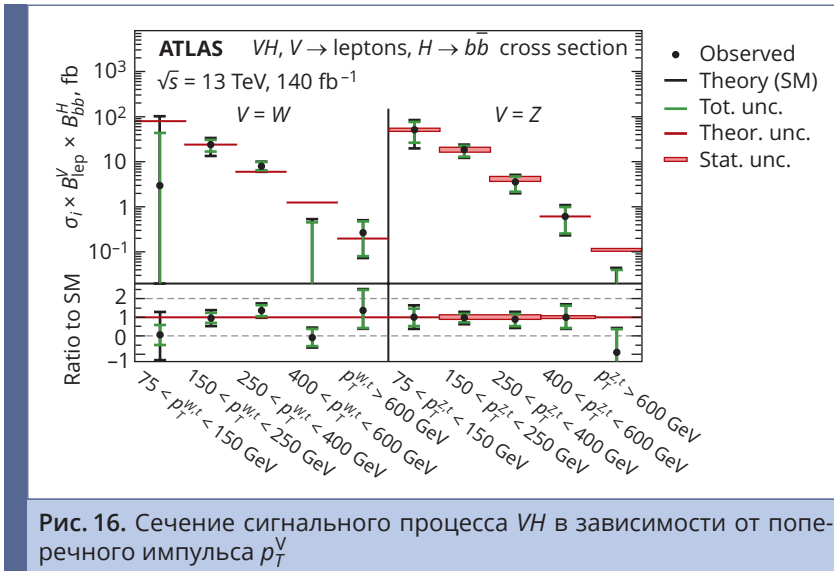


Рис. 16. Сечение сигнального процесса  $VH$  в зависимости от поперечного импульса  $p_T^V$

го сечения к ожидаемому в Стандартной модели (СМ) — в процессах  $WH$  и  $ZH$ , отдельно и вместе. Наблюдаемая (ожидаемая) значимость сигнала в  $ZH$ -процессе оказалась равной 4,9 (5,6) стандартного отклонения, а в  $WH$  — 5,3 (5,5).

Сечение сигнального процесса было измерено для различных областей поперечного импульса векторного бозона  $V$  и представлено на рис. 16. В целом измеренные величины сечений согласуются с предсказаниями СМ в пределах 90 %.

Сотрудники группы ОИЯИ в эксперименте **CMS** продолжали поиск частиц-кандидатов на роль темной материи в канале образования калибровочного бозона  $Z_0$  с большой долей недостаю-

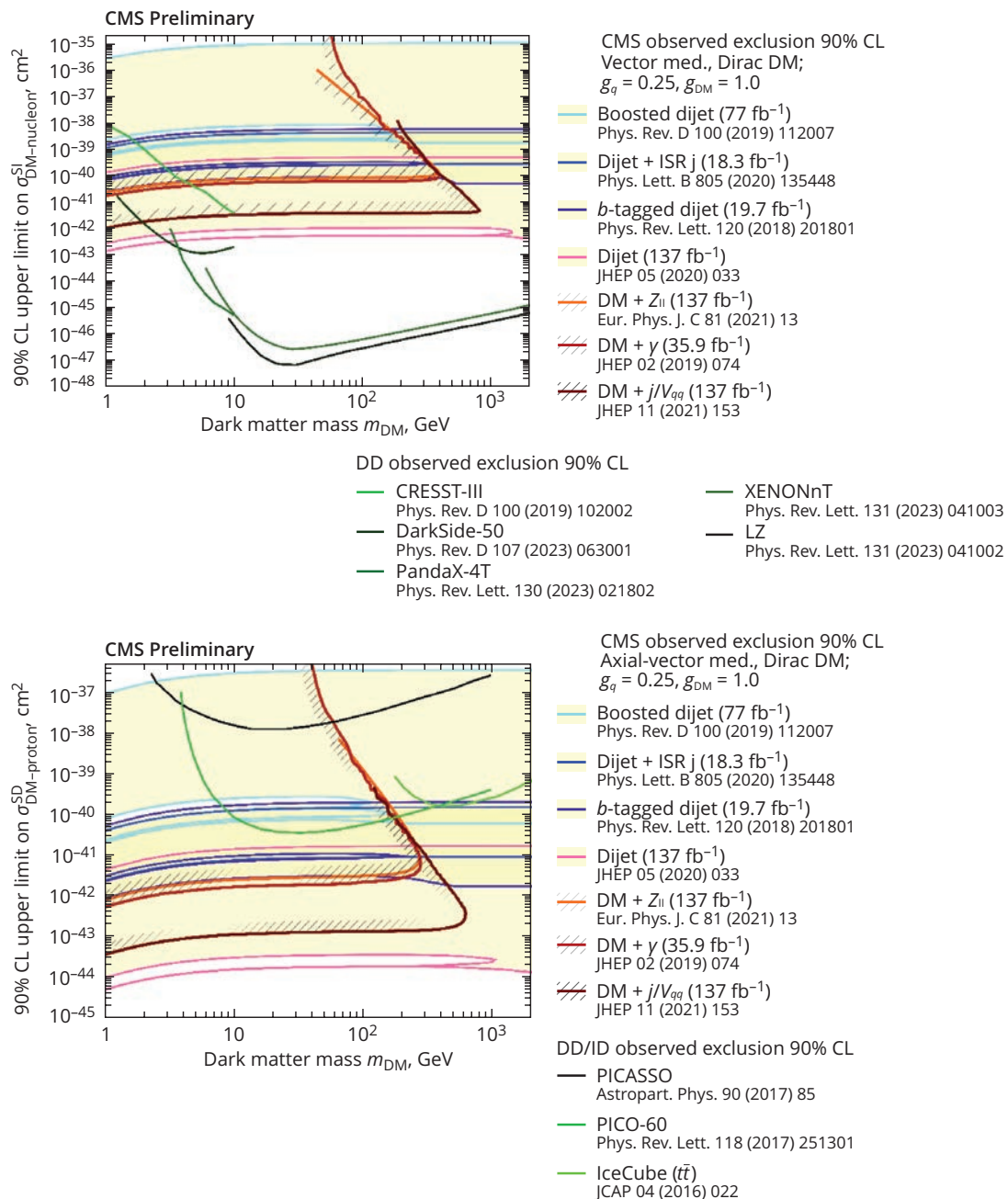
щей поперечной энергии. В комбинации с другими каналами наблюдения получены уникальные ограничения на сечения взаимодействия частиц темной материи с веществом (рис. 17).

Продолжен анализ спектров пар мюонов, нацеленный на поиск сигналов новой физики и проверку предсказаний СМ [34, 35]. Обработан полный набор данных Run 3 при  $\sqrt{s} = 13,6$  ТэВ по димюонным событиям. Показано совпадение с предсказаниями СМ (рис. 18).

Продолжен экспериментальный поиск кандидата в темную материю в рамках Inert Doublet Model при энергии 13 ТэВ ( $138 \text{ fb}^{-1}$ ). Проведено исследование реконструированных событий в сравнении с моделированием Монте-Карло,



Теплоизолированные камеры стенда для проверки кассет калориметра высокой гранулярности HGCal, CMS



**Рис. 17.** Верхние пределы (95 % CL) на сечения взаимодействия частиц темной материи с нуклонами в предположении аксиального (вверху) и векторного (внизу) переносчиков взаимодействий. Рассмотрен случай дираковских частиц ТМ с константами взаимодействия  $g_q = 0,25$  и  $g_{\text{DM}} = 1,0$ . Также приведены результаты подземных экспериментов

и получены ожидаемые пределы на сечение в зависимости от параметров модели [36].

На данных Run 2 подготовлена публикация анализа по поиску бозона Хиггса, рождаемого в процессе слияния слабых векторных бозонов (VBF) с последующим распадом на пару  $b$ -кварков ( $H \rightarrow b\bar{b}$ ) [37]. Анализ проводился с использованием данных CMS 2016 и 2018 гг. ( $\sim 91 \text{ fb}^{-1}$ ). VBF-сигнал наблюдался со значимостью  $2,4\sigma$  относительно предсказаний чистого фона, тогда как ожидаемая значимость составляла  $2,7\sigma$ .

Продолжен анализ экспериментальных данных по рождению лептонных пар для установления новых ограничений на константы аномального четырехфермионного взаимодействия с нарушением лептонного аромата в формализме эффективной теории поля и ее расширений [38]. Методика отбора событий была также проверена на открытых наборах данных CMS и ATLAS. Проведен анализ влияния поляризационных эффектов на величину достижимых ограничений на аномальные трехбозонные кон-

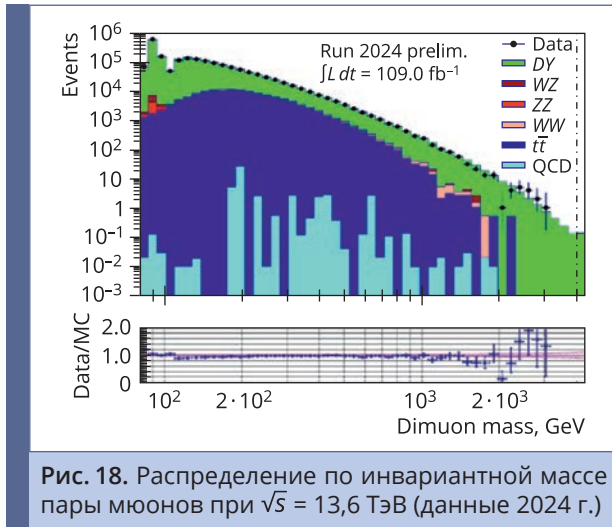


Рис. 18. Распределение по инвариантной массе пары мюонов при  $\sqrt{s} = 13,6$  ТэВ (данные 2024 г.)

станты связи в реакции рождения поляризованных  $W$ -бозонов в условиях Run 3 в рамках формализма эффективной теории поля. Закончена и отправлена для публикации в журнал первая работа коллаборации CMS по CP-нарушению в секторе очарованных адронов. С использованием данных Run 3 исследованы другие каналы распада и методы тагирования аромата  $D^0$ -мезона для последующего анализа. Предложен и внедрен в анализ данных на CMS метод расчета модельной неопределенности для измерения долей кварковых ( $q$ ) и глюонных ( $g$ ) струй [39, 40].

Группа ОИЯИ принимала участие в обслуживании и эксплуатации катодно-стриповых камер (CSC) торцевой части установки CMS (ME) и адронного калориметра HCal. В течение набора данных для бесперебойной работы HCal проводился контроль качества данных, выравнивание амплитуды сигналов и калибровка каналов. Произведены перенос и наладка компонентов системы лазерной калибровки калориметра. Анализ экспериментальных данных Run 3 показывает стабильную и эффективную работу детекторов CSC в мюонной системе торцевой части установки CMS. В рамках модернизации установки CMS для работы в условиях высокой светимости HL-LHC группа ОИЯИ принимает активное участие в создании калориметра с высокой гранулярностью HGCal и в модернизации мюонной системы ME.

Для моделирования, обработки и хранения данных эксперимента CMS активно использовалась грид-инфраструктура ОИЯИ, включающая центры уровней Tier-1 и Tier-2. В 2024 г. на Tier-1 было обработано более 2,1 млрд событий, что является вторым значением среди всех центров Tier-1 для эксперимента CMS в мире. На Tier-2 ОИЯИ было успешно выполнено более 1,2 млн задач CMS по анализу данных и их моделированию. В 2024 г. физики ОИЯИ внесли определяющий вклад в подготовку 35 научных работ. Результаты работ были представлены более чем

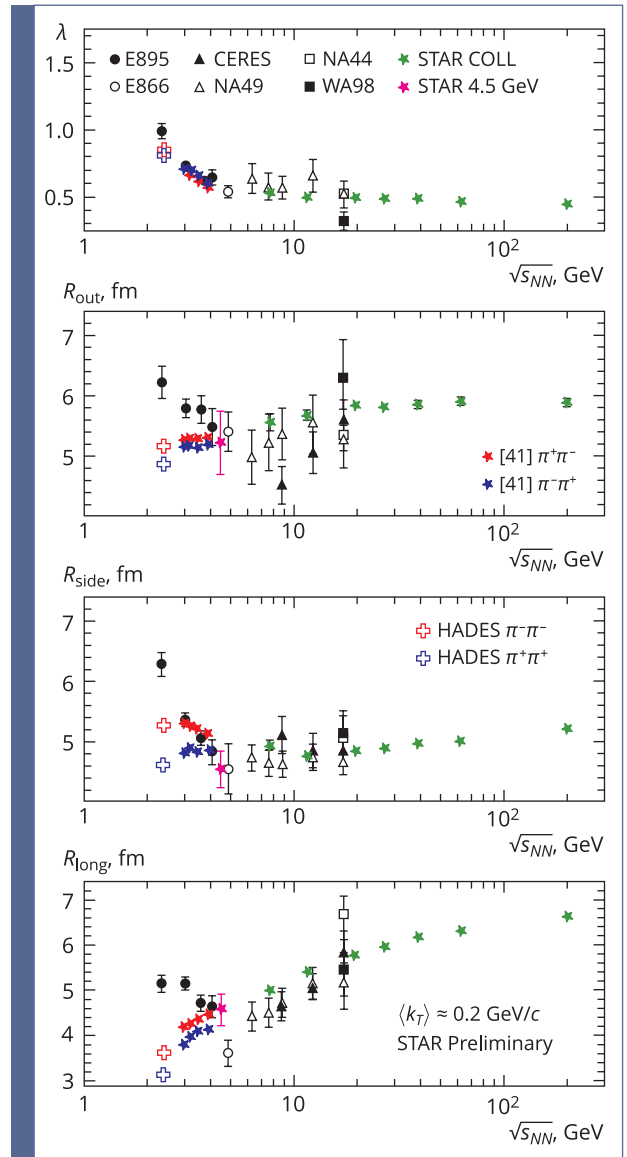


Рис. 19. Энергетическая зависимость фемтоскопических параметров тождественных пионов в центральной области быстрой с поперечным импульсом  $\langle k_T \rangle \approx 0,2$  ГэВ/с в центральных Au + Au, Pb + Pb и Pb + Au столкновениях

в 50 докладах на различных конференциях, рабочих совещаниях, семинарах.

Коллаборацией STAR на RHIC в BNL проведено изучение интерферометрии двух тождественных пионов в Au–Au столкновениях в диапазоне значений энергии 3,0–3,9 ГэВ [41] и получены зависимости корреляционных параметров — силы корреляций ( $\lambda$ ) и фемтоскопических радиусов ( $R_{out}$ ,  $R_{side}$ ,  $R_{long}$ ) — от поперечного импульса, быстроты пары, класса центральности (0–10 %, 10–30 %, 30–50 %) и энергии столкновения.

На рис. 19 показана зависимость этих параметров от энергии столкновения для пионов, рождающихся в центральной области быстрой  $|y| < 0,5$  и со средним поперечным импульсом 0,2 ГэВ/с в наиболее центральных (0–10 %)

Аи-Аи столкновениях, и для сравнения приведены данные других экспериментов. На основании проведенного анализа были установлены: зависимость фемтоскопических параметров тождественных пионов при энергиях  $\sqrt{s_{NN}} = 3,0\text{--}3,9$  ГэВ

от быстроты и энергии столкновения, уменьшение радиуса  $R_{\text{side}}$  с ростом значения быстроты, отличие между измеренными радиусами для  $\pi^-\pi^-$  и  $\pi^+\pi^+$  пар при этих энергиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kolokolchikov S. et al. Transition Energy Crossing of Polarized Proton Beam at NICA // Phys. At. Nucl. 2024. V. 87, No. 3. P. 212–215.
2. Шандов М. М. и др. Измерения магнитооптических характеристик бустера NICA // Письма в ЭЧАЯ. 2024. Т. 21, № 3(254). С. 375–384.
3. Зрелов П. В. и др. Квантовое интеллектуальное управление давлением азота в криогенной установке испытательного стенда фабрики магнитов // ЭЧАЯ. 2024. Т. 55, № 3. С. 677–683.
4. Бровко О. И. и др. Работа ВЧ-систем в ходе совместных сеансов бустера и нуклотрона // Сиб. физ. журн. 2024. Т. 19, № 2. С. 71–79.
5. Николайчук И. Ю. и др. Разработка программного обеспечения диагностики и коррекции замкнутой орбиты пучка в бустере инжекционного комплекса коллайдера NICA // ПТЭ. 2024. Т. 5.
6. Николайчук И. Ю. и др. Статус измерений положения магнитной оси квадрупольных магнитов коллайдера NICA // Сиб. физ. журн. 2024. Т. 19, № 1. С. 68–79.
7. Nazarova E. (MPD Collab.). Performance Study of the Hyperon Global Polarization Measurements with MPD at NICA // Eur. Phys. J. A. 2024. V. 60, No. 4. P. 85.
8. Zinchenko A. (MPD Collab.). A Monte Carlo Study of Hyperon Production with the MPD and BM@N Experiments at NICA // Particles. 2023. V. 6, No. 2. P. 485–496.
9. Mamaev M. (MPD Collab.). Toward the System Size Dependence of Anisotropic Flow in Heavy-Ion Collisions at 2–5 GeV // Particles. 2023. V. 6, No. 2. P. 622–637.
10. Segal I. (MPD Collab.). Centrality Determination in Heavy-Ion Collisions Based on Monte-Carlo Sampling of Spectator Fragments // Particles. 2023. V. 6, No. 2. P. 568–579.
11. Peresunko D. (MPD Collab.). Direct Photon Production in Heavy-Ion Collisions: Theory and Experiment // Particles. 2023. V. 6, No. 1. P. 173–187.
12. Afanasiev S. et al. The BM@N Spectrometer at the NICA Accelerator Complex // Nucl. Instr. Meth. A. 2024. V. 1065. 169532.
13. Kolesnikov V. et al. Recent Results on Proton and Light Nuclei ( $d$ ,  $t$ ) Production from the BM@N Experiment at NICA // HSI'2024, Gatchina, July 2024.
14. Mamaev M. Directed Flow of Protons in Xe + Cs Collisions at  $E_{\text{kin}} = 3.8$  A GeV in the BM@N Experiment // ICPPA-2024, Moscow, 22–26 Oct. 2024.
15. Abazov V. et al. Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA // Natural Sci. Rev. 2024. No. 1. 1.
16. Zhrebchevsky V. et al. Silicon Detector Systems for Investigating Superdense Nuclear Matter at the NICA Accelerator Complex // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2024. V. 88, No. 8. P. 12.
17. Petrosyan A. et al. SPD Offline Computing System // Phys. Part. Nucl. 2024. V. 55, No. 3. P. 450–452.
18. Volkov I. et al. Measurements of the Deuteron and Proton Beam Polarizations at Nuclotron // Phys. Part. Nucl. Lett. 2024. V. 21, No. 4. P. 654–657.
19. Volkov I. et al. Vector Analyzing Power in Quasi-Elastic Proton-Proton Scattering at an Energy of 500 MeV/nucleon // Phys. Part. Nucl. Lett. 2024. V. 21, No. 1. P. 43–54.
20. Tsyplakov E. et al. Deuteron Spin-Flip System Based on Quadrupole Correctors of the Nuclotron (JINR) // Phys. Part. Nucl. 2024. V. 55, No. 4. P. 736–740.
21. Filatov Yu. et al. Compensation of the Effect of the Imperfection of the Nuclotron JINR Lattice on the Proton Polarization near an Integer Spin Resonance (Brief Review) // JETP Lett. 2024. V. 120, No. 10. P. 679–687.
22. Druzhinin A. et al. New Drift Chambers for the ALPOM-2 Experiment // Phys. Part. Nucl. 2024. V. 55, No. 4. P. 1086–1090.
23. Lykasov G. et al. Gluon Distribution in Nucleon and Its Application to Analysis of  $ep$  DIS,  $pp$  and  $AA$  Collisions at High Energies and Mid-Rapidity // Phys. Part. Nucl. 2024. V. 55, No. 4. P. 941–949.
24. Бабкин В. А. и др. Времяпролетная система идентификации частиц в эксперименте NA61/SHINE в ЦЕРН // Письма в ЭЧАЯ. 2024. Т. 21, № 2(233). С. 131.
25. Adhikary H. et al. (NA61/SHINE Collab.). Search for a Critical Point of Strongly-Interacting Matter in Central  $^{40}\text{Ar} + ^{45}\text{Sc}$  Collisions at (13–75) A GeV/c Beam Momentum // Eur. Phys. J. C. 2024. V. 84, No. 7. P. 741.
26. Batley R. J. et al. (NA48/2 Collab.). First Observation and Study of the  $K^{\pm} \rightarrow \pi^0 \pi^0 m \pm \nu$  Decay // JHEP. 2024. V. 03. P. 137.
27. Cortina G. E. et al. (NA62 Collab.). Search for Leptonic Decays of Dark Photons at NA62 // Phys. Rev. Lett. 2024. V. 133, No. 11. 111802.
28. Andreev Yu. (NA64 Collab.). First Results in the Search for Dark Sectors at NA64 with the CERN SPS High Energy Muon Beam // Phys. Rev. Lett. 2024. V. 132, No. 21. 211803.
29. Andreev Yu. (NA64 Collab.). First Constraints on the  $L_{\mu}-L_{\tau}$  Explanation of the Muon  $g-2$  Anomaly from NA64-e at CERN // JHEP. 2024. V. 07. P. 212.
30. Rogochaya E. (ALICE Collab.). Particle Emitting Source Dynamics via Femtoscopy at the LHC Energies with ALICE // 29th Intern. Symp. on Particles, String and Cosmology (PASCOS 2024), Quy Nhon, Vietnam, 7–13 July 2024.
31. Acharya S. et al. (ALICE Collab.). Femtoscopic Correlations of Identical Charged Pions and Kaons in  $pp$

- Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 13$  TeV with Event-Shape Selection // *Phys. Rev. C*. 2024. V. 109, No. 2. 024915.
32. *Acharya S. et al. (ALICE Collab.)*. Exclusive Four Pion Photoproduction in Ultraperipheral Pb–Pb Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV. arXiv:2404.07542, 2024.
  33. *Aad G. et al. (ATLAS Collab.)*. Measurements of  $WH$  and  $ZH$  Production with Higgs Boson Decays into Bottom Quarks and Direct Constraints on the Charm Yukawa Coupling in 13 TeV  $pp$  Collisions with the ATLAS Detector. arXiv:2410.19611v1 [hep-ex].
  34. *Ланёв А. В.* Димьюнная физика в эксперименте CMS на LHC // ЭЧАЯ. 2024. Т. 55, №1. С. 204–221; *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 1. P. 123–131.
  35. *Жижин И. А. и др.* Оптимизация методов отбора событий с парой мюонов и моделирование фонов // ЭЧАЯ. 2024. Т. 55, №1. С. 277–284; *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 1. P. 183–187.
  36. *Curtis E. et al.* Searches for the Inert Doublet Model in the Dilepton Final State. AN-24-040, CERN. 2024. Version 2 of Nov. 2024.
  37. *Hayrapetyan A. et al. (CMS Collab.)*. Measurement of the Higgs Boson Production via Vector Boson Fusion and Its Decay into Bottom Quarks in Proton–Proton Collisions at 13 TeV // *JHEP*. 2024. V. 01. P. 173.
  38. *Andreev V. et al.* Constraints on the Anomalous CP-Even Constants of Three-Boson Vertices in Boson Decays at CMS LHC // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 1. P. 137–142.
  39. *Shulha S.* Model Uncertainty in Measuring the Gluon Jet Fraction at the Hadron Collider // *Phys. At. Nucl.* 2024. V. 87, No. 4. P. 509–519.
  40. *Shulha S., Budkouski D.* Measuring the Fractions of Quark and Gluon Jets in Hadron–Hadron Collisions // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 1. P. 180–182.
  41. *Luong V. et al. (STAR Collab.)*. Identical Pion Interferometry from Au + Au Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 3, 3.2, 3.5, \text{ and } 3.9$  GeV in the STAR Experiment at RHIC // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 4. P. 822–826.

# ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ им. В. П. ДЖЕЛЕПОВА

## ФИЗИКА НЕЙТРИНО И РЕДКИХ ПРОЦЕССОВ, АСТРОФИЗИКА

С завершением работы зимней экспедиции 2024 г. на озере Байкал количество регистрирующих оптических модулей в составе глубоководного нейтринного телескопа **Baikal-GVD** превысило 4100, а его эффективный объем в задаче регистрации событий от нейтрино высоких энергий (свыше 100 ТэВ) составил более 0,6 км<sup>3</sup>.

Анализ каскадных событий от нейтрино, полученных при работе детектора в конфигурациях 2018–2023 гг., позволил сделать вывод, что поток галактических нейтрино с энергией выше 200 ТэВ намного выше, чем предсказывается современными моделями (рис. 1). Этот результат **Baikal-GVD** подтверждается анализом общедоступных данных нейтринного телескопа IceCube с энергией  $E > 200$  ТэВ. Комбинированный результат двух экспериментов указывает на актуальность развития новых представлений о происхождении и распространении космических лучей в нашей Галактике и требует более точных экспериментальных измерений [1].

В эксперименте **JUNO** завершена сборка центрального детектора (диаметр 35 м) и подключение электроники (18 000 фотоумножителей).

С декабря 2024 г. началось заполнение детектора, которое продлится до сентября 2025 г., после чего начнется физический набор данных. В 2024 г. была получена новая оценка чувствительности эксперимента к упорядоченности масс нейтрино, учитывающая наиболее точные и актуальные характеристики детектора: **JUNO** достигнет  $3\sigma$  за 7 лет набора данных [2]. Велись работы по подготовке кремниевых умножителей для ближнего детектора ТАО [3]. Группа из ОИЯИ успешно и в полном объеме выполняет свои обязательства по подготовке эксперимента **JUNO**.

В 2024 г. были представлены результаты анализа данных по измерению параметров осцилляций нейтрино в ускорительных нейтринных экспериментах, активную роль в проведении которых сыграли сотрудники ОИЯИ. Коллаборациями **NOvA** и **T2K** был измерен ряд осцилляционных параметров с лидирующей точностью. Кроме того, эти коллаборации представили первый совместный анализ по измерению параметров трехфлейворных осцилляций нейтрино. До этого времени ни в одном нейтринном эксперименте не делался полноценный совместный анализ данных с другими экспериментами. Полученные значения параметров осцилляций нейтрино являются более точными по сравнению с индивидуальными результатами.

В эксперименте **FASER** измерены сечение взаимодействия мюонного нейтрино и потоки нейтрино в диапазоне энергий LHC [4]. В эксперименте **DsTau** на основе данных пилотного набора был проверен разработанный анализ и получены результаты исследования взаимодействий протонов с ядрами [5].

В эксперименте **vGeN** по результатам анализа данных 2022–2023 гг. были получены новые верхние ограничения на регистрацию эффекта упругого когерентного рассеяния реакторных антинейтрино (**CEvNS**) (рис. 2). Существенных отличий спектров в области интереса при работающем и остановленном реакторе пока не было обнаружено [6, 7]. Полученные новые

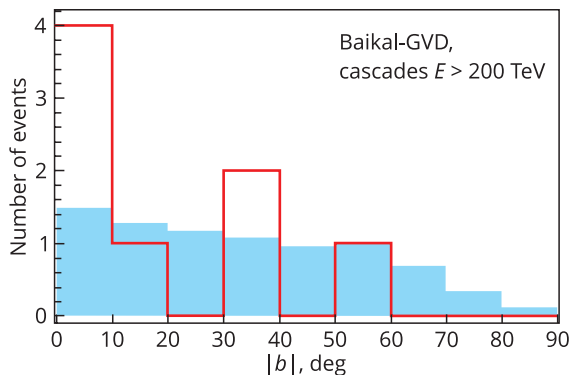


Рис. 1. Распределение каскадных событий **Baikal-GVD** с энергией выше 200 ТэВ по галактической широте (значения  $|b|$ ): наблюдаемых (красная гистограмма) и ожидаемых (заштрихованная)



Байкал, 6 марта. Участники рабочего совещания по проекту Baikal-GVD в ледовом лагере по разворачиванию глубоководного нейтринного телескопа.  
Фото: © Иркутский государственный университет



Дубна, 30 мая – 2 июня. Участники рабочего совещания коллаборации «Байкал»



Байкал, апрель. Монтаж гирлянды оптических модулей нейтринного телескопа Baikal-GVD

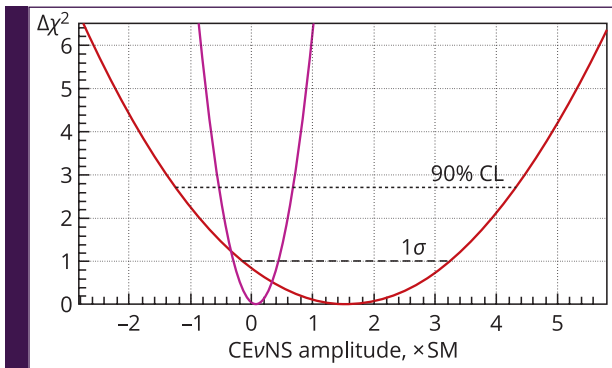


Рис. 2. Профили распределений  $\chi^2$  в зависимости от интенсивности спектра CEvNS, полученные в результате подгонки данных для двух моделей квантинга ядер отдачи: красный — модель эксперимента CONUS, фиолетовый — Dresden-II

ограничения на число ожидаемых событий от CEvNS не подтверждают положительный результат эксперимента на реакторе Dresden-II. Была определена чувствительность эксперимента к поиску магнитного момента нейтрино [8]. Проведено дополнительное исследование фоновых условий на Калининской АЭС, создан мюонный телескоп для изучения потока космических мюонов в месте измерений.

В эксперименте DANSS достигнута рекордная статистика в 7,7 млн зарегистрированных антинейтринных событий от реактора № 4 на Калининской АЭС, что позволило получить новые ограничения на параметры осцилляций в стерильные нейтрино [9]. Также проведен анализ работы сцинтилляционных ячеек детектора из полистирола за 6,5 лет измерений. Установленная деградация световых выходов составляет  $(0,55 \pm 0,05)\%$  в год, что заметно ниже, чем в аналогичных экспериментах. Наблюдается сокращение длины затухания света в спектросмещающих волноводах на  $(0,26 \pm 0,04)\%$  в год [10].

В 2024 г. завершён монтаж установки **Ricochet** на площадке у ядерного реактора ILL (Гренобль, Франция). В настоящее время в ILL проводятся пусконаладочные работы и тестовые измерения с двумя NTD-HPGe детекторами, работающими при температуре  $\sim 20$  мК. Детекторы имеют энергетическое разрешение на уровне  $\sim 35$  эВ [11]. Целью дальнейшей оптимизации с предварительным усилителем на основе HEMT является достижение разрешения уровня 20 эВ, что будет лидирующим для экспериментов по изучению CEvNS. Накопленные данные с работающим/выключенным реактором используются для первой оценки характеристик детекторов в созданной установке.

В начале 2024 г. в первой фазе эксперимента **LEGEND (LEGEND-200)** в Национальной лаборатории Гран-Сассо (Италия) продолжалось накопление данных ( $\sim 140$  кг обогащенного  $^{76}\text{Ge}$ , 101 детектор). Чувствительность экспери-

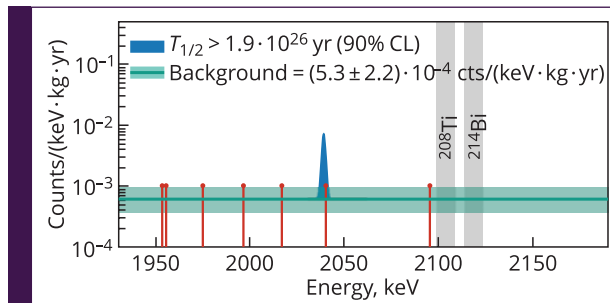


Рис. 3. Энергетический спектр LEGEND-200 в области поиска  $0\nu\beta\beta$ -распада

мента (совместно с GERDA и Majorana) достигла  $2,8 \cdot 10^{26}$  лет, а объединённый предел на период двойного безнейтринного бета-распада составил  $> 1,9 \cdot 10^{26}$  лет (рис. 3).

Оцененный индекс фона эксперимента хотя и остается лучшим в мире, все же превышает расчетные значения. В связи с этим проект переключили на поиск и оценку возможных источников повышенного фона. Были проведены несколько специальных серий набора данных, а затем полная разборка массива детекторов и новые измерения уровня радиоактивных загрязнений. При определяющем участии специалистов ОИЯИ была отремонтирована и заново запущена система аргонового вето. В 2025 г. планируется вновь собрать массив обогащенных германиевых детекторов и перезапустить набор данных.

В рамках проекта **MONUMENT** совместно с немецкими (Технический университет Мюнхена, TUM) и швейцарскими (Институт Пауля Шеррера, PSI) коллегами, а также группой из Малайзии (UTM) в течение 2024 г. проводился анализ данных [12]. Готовится публикация по полным скоростям мюонного захвата в  $^{136}\text{Ba}$  и  $^{76}\text{Se}$ .

Эксперимент **Cupid-Mo** проводился в криостате EDELWEISS в подземной лаборатории LSM (Франция). Болومترическая техника с двойным считыванием использовалась для изучения двойного бета-распада  $^{100}\text{Mo}$  с суммарной накопленной экспозицией в 1,47 кг·лет. На основе накопленных данных в 2024 г. были установлены новые лучшие ограничения на  $0\nu\beta\beta$ -распад с испусканием одного или нескольких майоронов, на нарушение лоренц-инвариантности в  $2\nu\beta\beta$ -распаде и на  $2\nu\beta\beta$ -распад с испусканием стерильного нейтрино [13].

Демонстратор **SuperNEMO** в LSM в настоящее время набирает данные от  $\beta$ -источника  $^{82}\text{Se}$  массой 6,3 кг с полностью работающими трекером и калориметром. Энергетическая и временная калибровка детектора выполняется с использованием калибровочных источников, также ведется изучение внутренних и внешних фонов.

Чтобы уменьшить фон, вызванный радоном, вокруг детектора был установлен антирадоновый тент, под который нагнетается воздух,





Дубна, 14 декабря. Торжественный вечер, посвященный празднованию 75-летия Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова



Сотрудники научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии обсуждают применение спектрометрического усилителя в будущих измерениях

очищенный от радона. Для подавления фона от внешнего потока фотонов установлена защита из железных пластин толщиной 18 см. Также была установлена нейтронная защита, выпол-

ненная из заполненных водой полиэтиленовых емкостей толщиной 50 см в сочетании с полиэтиленовыми пластинами толщиной 20 см.

## ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

В рамках участия в коллаборации ATLAS в 2024 г. проанализированы данные протон-протонных столкновений с энергией 13 ТэВ в конечных состояниях с лептоном и струей, набранные установкой в 2015–2018 гг. Исследован потенциальный вклад в наблюдаемые спектры от распадов квантовых черных дыр. Показано, что экспериментальные распределения инвариантной

массы в области выше 2 ТэВ согласуются с предсказанием Стандартной модели с 95%-м уровнем достоверности. Получены новые нижние пределы масс квантовых черных дыр для моделей Рэндалл-Сундрума (RS) и Аркани-Димополуса-Двали (ADD) на уровне 6,8 и 9,2 ТэВ соответственно [14] (рис. 4).

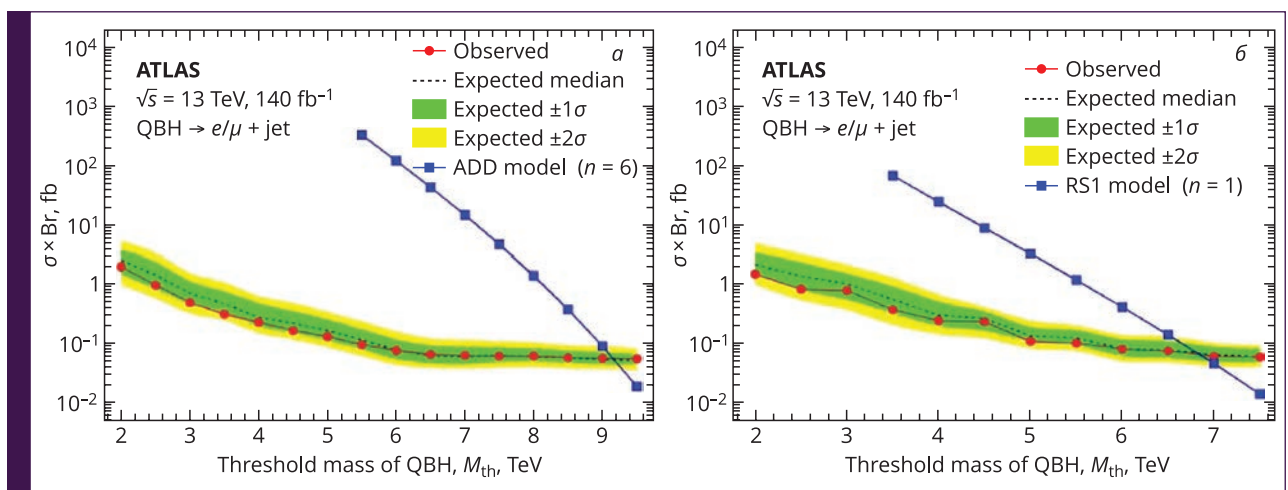


Рис. 4. Результаты измерения пределов масс и сечений распадов квантовых черных дыр в конечном состоянии с лептоном и струей для моделей ADD (а) и RS (б)

Выполнены работы по разработке программного обеспечения триггерной системы установки ATLAS, проведены измерения производительности триггера в течение набора данных Run 3 LHC [15]. Внесен вклад в работы по оценке эффективности реконструкции электронов и фотонов в данных, набранных ATLAS в течение Run 2 [16]. Продолжаются работы по поддержке баз данных состояния детектора, сервиса Event Picking и другого программного обеспечения установки.

В течение 2024 г. группой ОИЯИ в эксперименте BES-III было измерено прямое инклюзивное сечение рождения  $J/\psi$  и  $\psi(3686)$  при энергиях столкновений от 3,808 до 4,951 ГэВ. В анализе получено первое измерение инклюзивного рождения  $J/\psi$  и  $\psi(3686)$  в указанном диапазоне значений энергий, что представляет значительный интерес в связи с наблюдением в этой области чармониеподобных состояний в ряде эксклюзивных каналов. Работа прошла внутреннее рецензирование, в процессе которого в анализ включено дополнительное конечное состояние и уточнены систематические ошибки [17].

Группа ОИЯИ приняла участие в сеансе набора данных на установке AMBER, после сеанса было произведено плановое обслуживание элементов системы идентификации мюонов. Подготовлено предложение по изучению партонной структуры заряженных каонов в инклюзивном рождении прямых фотонов с большим поперечным импульсом. Сеанс с положительным и отрицательным адронными пучками с энергией 190 ГэВ позволит за год набрать статистику

в 20 тыс. событий рождения прямых фотонов с  $p_T > 3$  ГэВ/с для каонов каждого знака. Это даст возможность измерить дифференциальное сечение в диапазоне  $-0,4 < x_F < 0,5$  с точностью 15–20 % и разделить вклады валентных кварков и глюонов.

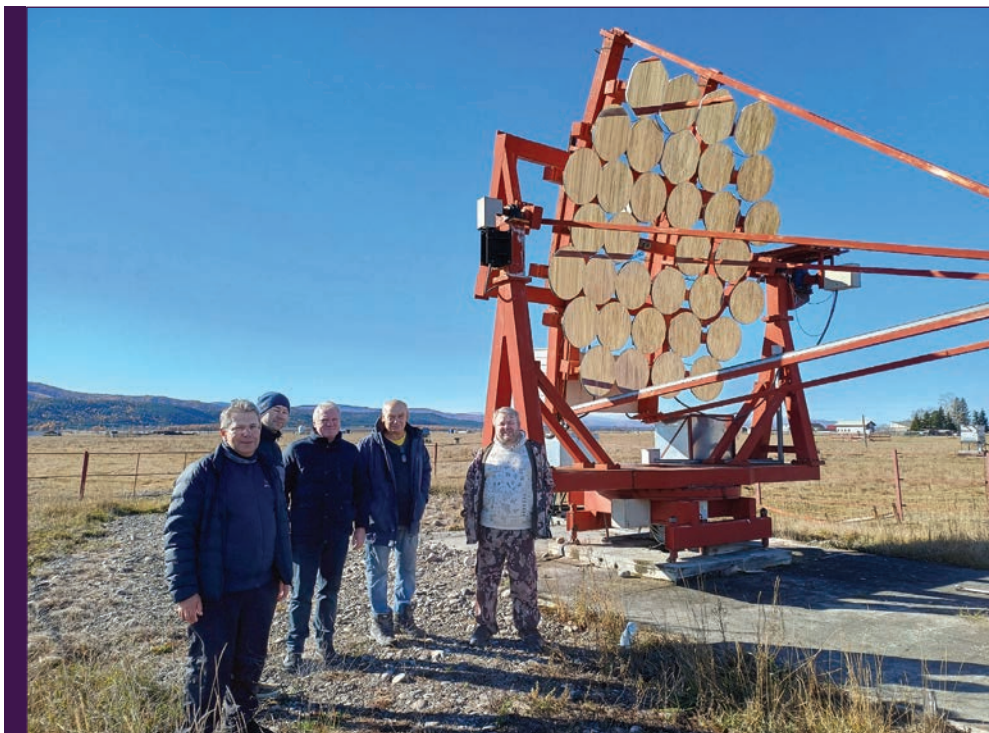
В рамках проекта COMET завершилась сборка и испытания двух станций строу-трекера эксперимента (фаза I). Началось дополнительное массовое производство строу-трубок диаметром 10 мм, предназначенных для 4-й и 5-й станций. Планируется произвести, протестировать и отправить в Японию порядка 500 шт. строу, также были изготовлены строу-трубки нового поколения диаметром 5 мм [18].

Сотрудниками ЛЯП изготовлен первый модуль в соответствии с дизайном левой стенки установки COMET. Модуль был доставлен на территорию ускорительного комплекса J-PARC (Токай, Япония). В апреле и ноябре 2024 г. в ходе плановых визитов в J-PARC сотрудники ЛЯП выполнили работы по подготовке модуля к длительному набору статистики на космическом излучении, а также исследовали возможности использования платы FEB METEOR для определения эффективности модуля вето-системы эксперимента COMET. Сделан вывод, что для оценки эффективности модуля в лабораторных условиях достаточно будет использовать фабричную плату CAEN DT5702, а также разработать радиационно стойкую front-end электронику [19, 20].

Продолжается создание экспериментального оборудования проекта TAIGA. Разработаны



Перед началом работ по облучению образцов сцинтилляторов. Слева направо: И. И. Мустафаев (Институт радиационных проблем, Азербайджан), В. Ю. Баранов (ЛЯП), И. И. Васильев (ЛЯП) и М. Мирзаев (ЛЯП, ИРП)



На полигоне эксперимента TAIGA в Тункинской долине.  
Слева направо: директор ЛЯП Е. А. Якушев, начальник НЭОЯСиРХ ЛЯП С. В. Розов, главный инженер ЛЯП С. Л. Яковенко, декан физического факультета ИГУ Н. М. Буднев и директор Иркутского НИИПФ А. Б. Танаев

и опробованы на одном из черенковских телескопов светозащитные бленды, которые позволили уменьшить фон на 10 %. Группа ОИЯИ отвечает за изготовление и обслуживание черенковских телескопов, моделирование детекторов эксперимента и регулярное увеличение банка данных,

полученных методом Монте-Карло. В рамках международного сотрудничества выполнены плановые НИР по разработке и изготовлению фотодетектора, состоящего из матрицы кремниевых фотоумножителей и электроники, и изготовлению механической конструкции телескопа.

## ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

В рамках проекта «Радиохимия и спектроскопия для астрофизики и ядерной медицины» разработан метод выделения  $^{132/135}\text{La}$  из бариевой мишени, облученной протонами. Метод обеспечивает высокий радиохимический выход ( $\approx 98\%$ ) финального препарата, необходимого для синтеза медицинских препаратов [21].

В 2024 г. в рамках проекта PAS методом изменения доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) на потоке позитронов было исследовано более 80 образцов как из российских научных институтов (ТПУ, САФУ), так и из стран-участниц ОИЯИ (Вьетнама, Азербайджана, Беларуси). Впервые на установке были проведены исследования методом ДУАЛ на совпадении на потоке позитронов, измерено 6 образцов. Методом измерения времени жизни позитронов в веществе на автономном источнике исследовано более 50 образцов.

Наноразмерные многослойные покрытия (НМП) из Zr/Nb являются перспективными ма-

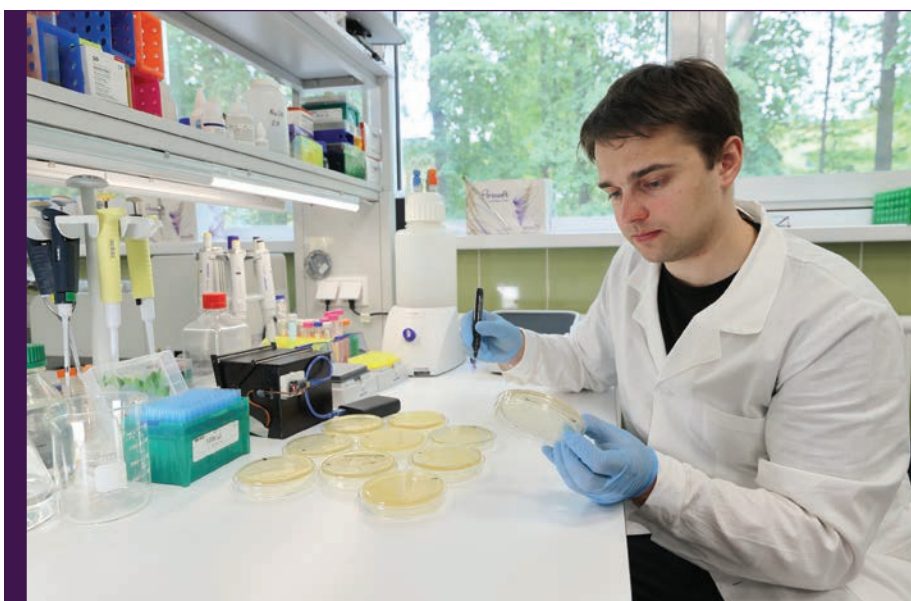
териалами реакторной зоны установок нового поколения. Благодаря проведенным экспериментам методом ДУАЛ на потоке позитронов с изменяемой энергией образцов НМП из Zr/Nb был объяснен эффект самовосстановления данных материалов. Этот цикл работ проводится для Томского политехнического университета (ТПУ).

С использованием методов позитронной спектроскопии в совместной с коллегами из Азербайджана работе было показано, что образцы из карбида вольфрама проявляют большую пластичность в ответ на увеличение дозы гамма-облучения. Кроме того, были оценены эксплуатационные пределы вольфрама, подвергнутого гамма-облучению, и определен функциональный порог до 3,378 МГр [22–26].

В секторе молекулярной генетики клетки ЛЯП проведены исследования, в которых совместно с коллегами из ЛНФ, МФТИ и USF (США) впервые определили пространственные характеристики радиопротекторного белка тихоходок



19 апреля. Визит в ОИЯИ заместителей директора Центра изотопов (CENTIS) Республики Куба Р. А. Серра Агилы и Х. К. Круса Аренсибии. Посещение Медико-технического комплекса ЛЯП



Генетические исследования экстремально-радиорезистентных организмов в секторе молекулярной генетики клетки ЛЯП

Dsup (damage suppressor), доказали его принадлежность к неупорядоченным белкам и установили образование размытого (fuzzy) комплекса при взаимодействии Dsup с ДНК. На основе полу-

ченных данных предполагается, что белок Dsup может принимать участие в организации хроматина в ядре [27].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Allakhverdyan V. A. et al. (Baikal-GVD Collab.). Probing the Galactic Neutrino Flux at Neutrino Energies above 200 TeV with the Baikal Gigaton Volume Detector. arXiv:2411.05608 [astro-ph.HE]. 2024.*
2. *JUNO Collab. Potential to Identify the Neutrino Mass Ordering with Reactor Antineutrinos in JUNO // Chin. Phys. C (submitted); doi:10.1088/1674-1137/ad7f3e.*
3. *Rybnikov A. et al. Performance of the Mass Testing Setup for Arrays of Silicon Photomultipliers in the TAO Experiment // J. Instrum. 2024. V. 19; doi: 10.1088/1748-0221/19/05/P05035.*

4. *Abraham R. M. et al.* Measurement of the Muon Neutrino Interaction Cross Section and Flux as a function of energy at the LHC with FASER. arXiv: 2412.03186 [hep-ex]; Phys. Rev. Lett. (submitted).
5. *Aoki S. et al.* Study of Proton–Nucleus Interactions in the DsTau/NA65 Experiment at the CERN-SPS. arXiv: 2411.05452 [hep-ex].
6. *Belov V. et al. (vGeN Collab.)*. New Constraints on Coherent Elastic Neutrino–Nucleus Scattering by the vGeN Experiment // Chin. Phys. C. (submitted).
7. *Ponomarev D. V., Bystryakov A. D., Konovalov A. M. et al.* Coherent Elastic Neutrino–Nucleus Scattering Search in the vGeN Experiment // Phys. Part. Nucl. Lett. 2024. V. 21. P. 680–682.
8. *Быстряков А. Д., Игнатов Г. Д., Коновалов А. М., Лубашевский А. В., Пономарев В., Скробова Н. А. для коллаб. vGeN.* Чувствительность эксперимента vGeN к магнитному моменту реакторных антинейтрино // Крат. сообщ. по физике (Физ. ин-т им. П. Н. Лебедева) (направлено).
9. *Alekseev I. G. et al.* The DANSS Experiment: Recent Results and Perspective // Bull. Lebedev Phys. Inst. 2024. V. 51. P. 8–15.
10. *Alekseev I. G. et al.* Study of Polysterene Based Scintillator Ageing in the DANSS Experiment // J. Instrum. 2024. V. 19. 04031.
11. *Ricochet Collab.* First Demonstration of 30 eVee Ionization Energy Resolution with Ricochet Germanium Cryogenic Bolometers // Eur. Phys. J. C. 2024. V. 84, No. 2. P. 186; <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-12433-1>.
12. *Araujo G. R., Bajpai D., Baudis L. et al. (MONUMENT Collab.)*. The MONUMENT Experiment: Ordinary Muon Capture Studies for  $0\nu\beta\beta$ -decay // Eur. Phys. J. C. 2024. V. 84. P. 1188; <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13470-6>.
13. *Augier C., Barabash A. S., Bellini F. et al. (CUPID-Mo Collab.)*. Searching for Beyond the Standard Model Physics Using the Improved Description of  $^{100}\text{Mo}$  Decay Spectral Shape with CUPID-Mo // Eur. Phys. J. C. 2024. V. 84. P. 925; <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13286-4>.
14. *ATLAS Collab.* Search for Quantum Black Hole Production in Final States Using Proton–Proton Collisions at with the ATLAS Detector // Phys. Rev. D. V. 109. 032010.
15. *ATLAS Collab.* The ATLAS Trigger System for LHC Run3 and Trigger performance in 2022 // J. Instrum. 2024. V. 19. 06029.
16. *ATLAS Collab.* Electron and Photon Efficiencies in LHC Run2 with the ATLAS Experiment // J. High Energy Phys. 2024. V. 05. P. 162.
17. *Ablikim M. et al. (BES-III Collab.)*. Measurement of the Inclusive Cross Sections of Prompt  $J/\psi$  and  $\psi(3686)$  Production in  $e+e-$  Annihilation from  $\sqrt{s} = 3.808$  to 4.951 GeV. arXiv:2411.19642; Phys. Rev. D (submitted).
18. *Tsverava N. et al.* Development and Property Study of the  $12\mu\text{m}$  Thick Straw Tubes with a Diameter of 5 mm for the COMET Straw Tracker System. arXiv:2403.18097v3. 2024.
19. *Chokheli D. et al.* CRV Status for July 2024. COMET CM 43, J-PARC. Japan, 2024.
20. *Simonenko A. et al.* First Cosmic Run of the 3.2-m CRV Module with FEB Meteor-32 — Some Preliminary Results. COMET CM 44, J-PARC. Japan, 2024.
21. *Kurakina E., McNeil B. L., Khushvaktov J. et al.* Production and Purification of Radiolabeling-Ready  $^{132/135}\text{La}$  from the Irradiation of Metallic  $^{nat}\text{Ba}$  Targets with Low Energy Protons // Nucl. Med. Biol. 2024 (submitted).
22. *Samir F. et al.* Investigating the Impact of Gamma Irradiation and Temperature on Vacancy Formation and Recombination in  $\text{ZrB}_2$  Ceramics Using Positron Annihilation Spectroscopy // J. Nucl. Materials. 2024. V. 599. P. 155242; <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2024.155242>.
23. *Abiyev A. et al.* Defect Formation Analysis in Gamma-Irradiated Titanium Nitride Nanocrystals: Predictions from Positron Annihilation Studies // J. Nanopart. Res. 2024. V. 26. P. 156; <https://doi.org/10.1007/s11051-024-06059-3>.
24. *Samadov S. F. et al.* Investigating the Crystal Structure of  $\text{ZrB}_2$  under Varied Conditions of Temperature, Pressure, and Swift Heavy Ion Irradiation // Ceramics Intern. 2024. V. 50, Iss. 2, Part B. P. 3727–3732; <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.11.125>.
25. *Afsun S. et al.* Positron Annihilation Lifetime and Doppler Broadening Spectroscopies Studies of Defects in Nano TiN Crystal under Gamma Irradiation and High Temperature // Ind. J. Phys. 2024; <https://doi.org/10.1007/s12648-024-03229-w>.
26. *Laptev R. S., Stepanova E. N., Lomygin A. D. et al.* Hydrogen-Induced Microstructure Changes in Zr/Nb Nanoscale Multilayer Structures // Metals. 2024. V. 14, Iss. 4. Article number 452. 11 p; <https://doi.org/10.3390/met14040452>.
27. *Zarubin M., Murugova T., Ryzhykau Yu., Ivankov O., Uversky V. N., Kravchenko E.* Structural Study of the Intrinsically Disordered Tardigrade Damage Suppressor Protein (Dsup) and Its Complex with DNA // Sci. Rep. 2024. V. 14. P. 22910. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74335-2>.

# ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ИМ. Г. Н. ФЛЕРОВА

## РАБОТА И РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЛЯР (DRIBs-III)

В рамках развития ускорительного комплекса ЛЯР (проект DRIBs-III) в 2024 г. проводились работы по созданию новых, модернизации и оптимизации работы существующих ускорительных установок с целью увеличения интенсивности и улучшения качества пучков ионов как стабильных, так и радиоактивных нуклидов в диапазоне значений энергии от 5 до 50 МэВ/нуклон, повышение эффективности проведения экспериментов по синтезу и изучению свойств новых сверхтяжелых элементов, расширению программы экспериментов по синтезу редких экзотических ядер и изучению реакций с использованием пучков радиоактивных нуклидов.

Циклотрон ДЦ-280 фабрики сверхтяжелых элементов (СТЭ) в 2024 г. отработал более 4000 ч. Он использовался в экспериментах по синтезу сверхтяжелых элементов и изучению их химических свойств на физических установках DGFRS-2 и GRAND согласно научной программе ЛЯР. Проведены длительные эксперименты с пучками  $^{48}\text{Ca}$  интенсивностью 6,0 мкА частиц на установке GRAND, а также эксперименты с пучком  $^{50}\text{Ti}$  с интенсивностью ускоренного пучка на мишени 2,0 мкА частиц на установке DGFRS-2. Велись экспериментальные исследования оптимальной конфигурации ионного источника DECRIS-PM для повышения интенсивности



Участники работ по модернизации ускорителя У-400М



Дубна, декабрь. Строительство нового экспериментального зала комплекса У-400Р

получаемых пучков ионов и уменьшения расхода исходного вещества.

Завершена модернизация циклотрона У-400М. После ввода в эксплуатацию систем циклотрона, а также системы блокировок и сигнализаций и автоматической системы радиационного контроля были начаты пусконаладочные работы с ускоренными пучками. Получены пучки ускоренных ионов  $^{15}\text{N}$  с энергией  $E = 51$  МэВ/нуклон, а также ускоренные пучки  $^{16}\text{O}$ ,  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{132}\text{Xe}$ . На экспериментальных установках получены вторичные пучки  $^6\text{He}$ ,  $^8\text{He}$ ,  $^{12}\text{Be}$ , измерены параметры первичного и вторичного пучков.

На циклотроне У-400 выполнен широкий круг научных и прикладных исследований в области физики тяжелых ионов. В 2024 г. циклотрон У-400 отработал 5650 ч для выполнения программы исследований. Были проведены эксперименты с ускоренными пучками  $^7\text{Li}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{86}\text{Kr}$  (установка МАВР),  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{42}\text{Ca}$ ,  $^{44}\text{Ca}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{48,50}\text{Ti}$ ,  $^{124,132}\text{Xe}$  (CORSET),  $^{54}\text{Cr}$  (SHELS), а также проводились прикладные исследования с пучками ионов Ne, Ar, Kr, Xe, Bi.

Ускоритель электронов микротрон МТ-25 отработал 962 ч. На нем проводилось облучение

образцов для ЛРБ ОИЯИ и в рамках совместных работ с Вьетнамом. В кооперации с «НПП Детектор» и НИИКП тестировались электронные компоненты. Проводились работы по развитию методик измерения энергий электронов и параметров электронного пучка совместно с ЛЯП и Томским государственным университетом.

В рамках создания нового ускорительного комплекса для прикладных задач ДЦ-140 продолжается переоборудование помещений и монтаж инженерных систем. Полностью завершены все работы по созданию монолитных стен и перекрытий зала ускорителя и помещений экспериментаторов. Завершен монтаж системы вентиляции и газоочистки, начат монтаж системы охлаждения. Оборудование циклотрона, каналов транспортировки и станций облучения подготавливается к монтажу. Проведены стендовые испытания ионного источника DECRIS-5M [1].

Продолжается строительство нового экспериментального зала для циклотрона У-400Р. За 2024 г. залито 9100 м<sup>3</sup> бетона, выполнено 98 % бетонно-монолитных работ. Полностью сформирован периметр здания, монолитные стены и перекрытия.

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

### Сечения образования сверхтяжелых элементов на пучках $^{50}\text{Ti}$ и $^{54}\text{Cr}$

Целью исследований, проведенных в 2024 г. на фабрике сверхтяжелых элементов, было измерение и сравнение сечений реакций полно-

го слияния, приводящих к образованию одного и того же сверхтяжелого ядра при переходе от пучка  $^{48}\text{Ca}$  к пучкам  $^{50}\text{Ti}$  и  $^{54}\text{Cr}$ . Из-за близкой вероятности выживания возбужденного ядра в этом случае разница в сечениях реакции может быть в основном обусловлена разницей в веро-

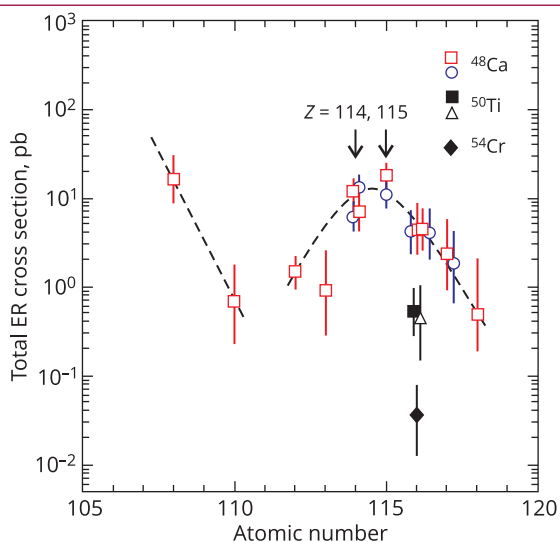


Рис. 1. Максимум сечения реакции  $^{48}\text{Ca}$  с ядрами  $^{226}\text{Ra}$ – $^{249}\text{Cf}$ . Результаты, полученные в ЛЯР, показаны красными квадратами, результаты экспериментов 2024 г. — закрытыми символами, сечение реакции  $^{244}\text{Pu}(^{50}\text{Ti}, 4n)^{290}\text{Lv}$ , измеренное в Беркли (США) — открытым треугольником

ятности формирования составного ядра — наименее изученной характеристике реакций слияния–испарения. В связи с этим были выбраны реакции  $^{238}\text{U} + ^{54}\text{Cr}$  и  $^{242}\text{Pu} + ^{50}\text{Ti}$ , которые приводят к образованию составного ядра  $^{292}\text{Lv}$ .

Эти реакции были изучены на газонаполненном сепараторе DGFRS-2 фабрики СТЭ в ЛЯР ОИЯИ. Сечения  $3n$ - и  $4n$ -каналов реакции  $^{242}\text{Pu} + ^{50}\text{Ti}$ , составившие около 0,32 и 0,22 пб, измерены при энергии возбуждения составного ядра  $^{292}\text{Lv}$ , равной 41 МэВ. Сечение  $4n$  испарительного канала реакции  $^{238}\text{U} + ^{54}\text{Cr}$ , приводящей к образованию того же составного ядра, при энергии возбуждения  $E^* = 42$  МэВ оказалось равным 36 фб, что примерно в 15 раз меньше, чем сечение реакции  $^{242}\text{Pu} + ^{50}\text{Ti}$  (рис. 1).

По сравнению с максимальным сечением образования ядер Lv в реакциях  $^{245}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$  и  $^{248}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$  сечения реакций  $^{242}\text{Pu} + ^{50}\text{Ti}$  и  $^{238}\text{U} + ^{54}\text{Cr}$  были примерно в 8 и 120 раз ниже соответственно. Однако если сравнить сечения реакций ионов  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{50}\text{Ti}$  и  $^{54}\text{Cr}$  с  $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{242}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{U}$  при близких энергиях возбуждения, то уменьшение сечений составляет ~ 2–10 и ~ 30–150 раз при переходе от  $^{48}\text{Ca}$  к  $^{50}\text{Ti}$  и  $^{54}\text{Cr}$  соответственно. Таким образом, впервые было убедительно доказано в эксперименте, что реакции изотопов актинидов с  $^{50}\text{Ti}$  на порядок предпочтительнее реакций с  $^{54}\text{Cr}$  для синтеза новых элементов 119 и 120.

В дополнение к измерению сечений реакций были открыты три новых изотопа: два  $\alpha$ -распадающихся ядра —  $^{288}\text{Lv}$  (4 цепочки) с  $E_\alpha = 11,08$  МэВ,  $T_{1/2} = 2,0$  мс,  $^{289}\text{Lv}$  (3 цепочки) с  $E_\alpha = 10,90$  МэВ,  $T_{1/2} = 2,4$  мс, и внучка  $^{288}\text{Lv}$  (спон-

танно делящийся  $^{280}\text{Cn}$ ) с  $T_{1/2} = 10$  мкс. Последний изотоп наблюдался после  $\alpha$ -распада  $^{284}\text{Fl}$  с  $E_\alpha = 10,57$  МэВ; этот тип распада также наблюдался впервые для преимущественно спонтанно делящегося  $^{284}\text{Fl}$ . Свойства распада этих новых ядер хорошо совпадают со значениями, которые можно ожидать исходя из систематик энергий и времен  $\alpha$ -распада ядер, а также времен спонтанного деления. Результаты проведенных экспериментов представлены в [2–6].

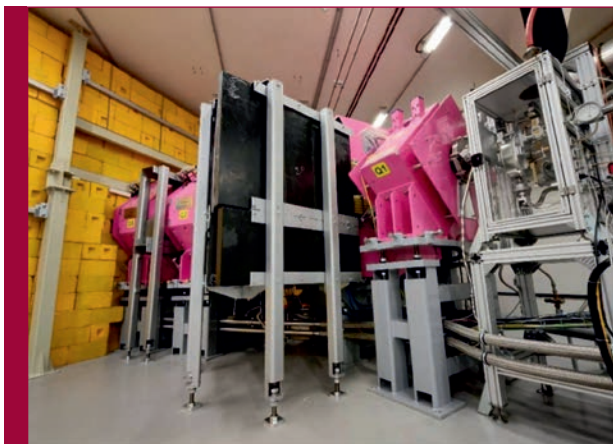
## Спектроскопия тяжелых и сверхтяжелых ядер

В первом полугодии 2024 г. на сепараторе SHELS проводились эксперименты, нацеленные на изучение закономерностей образования и свойств распада трансфермиевых ядер. В феврале основное внимание уделялось реакции полного слияния  $^{40}\text{Ar} + ^{209}\text{Bi}$ , в  $3n$ -канале которой образуется ядро  $^{246}\text{Md}$ . Для этой реакции анализировались альтернативные каналы испарения, такие как  $pXn$  и  $\alpha Xn$ , а также проверялись данные о запаздывающем делении ядра  $^{246}\text{Md}$  после электронного захвата. С применением детектирующей системы SFINX изучались события спонтанного деления изотопа  $^{260}\text{Sg}$ , получаемого в реакции полного слияния  $^{54}\text{Cr} + ^{207}\text{Pb}$  после испарения одного нейтрона. Впервые для этого ядра были получены данные о множественности нейтронов спонтанного деления.

Кроме того, сепаратор SHELS был использован для изучения реакций многонуклонных передач. Для этого в каждом из перечисленных экспериментов выбирался режим работы сепаратора, оптимальный для регистрации продуктов MNT-реакций. По результатам этого цикла экспериментов была подготовлена статья [7].

Газонаполненный сепаратор GRAND (ГНС-3), введенный в эксплуатацию в 2022 г., был оснащен новым мишенным узлом с диаметром диска 480 мм (ранее 240 мм). В ходе испытаний нового мишенного узла использовалась хорошо известная реакция  $^{48}\text{Ca} + ^{206}\text{Pb} = 2n + ^{252}\text{No}$ . При интенсивности пучка ионов  $^{48}\text{Ca}$ , равной 6 мкА частиц, в фокальной плоскости сепаратора GRAND регистрировалось около 3 ядер нобелия в секунду. Подобные экспериментальные параметры открывают широчайшие возможности для детального изучения свойств тяжелых и сверхтяжелых ядер.

Продолжились работы по подготовке к исследованию структуры сверхтяжелых элементов на установке GRAND с применением детектирующей системы GABRIELA. В качестве мишени в предстоящих экспериментах будет использован  $^{242}\text{Pu}$  (диск диаметром 480 мм). Основной целью готовящихся экспериментов станет получение недоступных ранее спектрометрических данных об  $\alpha$ -распаде четно-четного ядра  $^{286}\text{Fl}$ . Несколько сотен  $\alpha$ -распадов этого ядра, которые могут быть зафиксированы в ходе 60-дневного эксперимента, могли бы стать источником дан-



Сепаратор GRAND (ГНС-3) с дополнительной защитой стоппера пучка

ных о нижайших уровнях ( $0^+$ ,  $2^+$ ) при переходе в основное состояние ядра  $^{282}\text{Ds}$ . Эти данные непосредственно указывают на степень деформации исследуемого ядра, т. е. на удаленность ядра от гипотетической области сферических сверхтяжелых ядер («острова стабильности»).

### Химия трансактинидов

Завершен цикл работ, посвященный модернизации установки «Криодетектор» для проведения экспериментов на фабрике СТЭ по радиохимическому выделению из продуктов ядерных

реакций и изучению адсорбции из газовой фазы короткоживущих изотопов  $\text{Sn}$  и  $\text{Fl}$ . На газонаполненном сепараторе GRAND в реакции  $^{208}\text{Pb}(^{48}\text{Ca}, xn)^{256-x}\text{No}$  впервые исследовано торможение ядер отдачи  $^{254}\text{No}$  в смеси инертных газов в зависимости от их соотношения. На модернизированной установке проведены испытания новых вакуумной и криогенной систем охлаждения, показавшие, что после достижения равновесия колебания состава газа и температурного градиента незначительны в течение продолжительного времени. Разработана модель анализа экспериментальных данных по определению скорости и эффективности транспорта ультракороткоживущих радионуклидов в газотранспортной системе.

Эксперименты на модернизированной установке, проводимые в режиме on-line после сепаратора GRAND, показали рекордное для такого типа камер время транспорта ядер отдачи 200 мс и подтвердили увеличение эффективности выделения летучих радиоизотопов ртути, в том числе  $^{178}\text{Hg}$  ( $T_{1/2} = 256$  мс), более чем в два раза. Возможности фабрики СТЭ и модернизированной установки позволяют начать детальное изучение химических свойств  $\text{Sn}$  и  $\text{Fl}$  на новом статистическом уровне. Готовится эксперимент по газоадсорбционной термохроматографии  $\text{Sn}$  и  $\text{Fl}$  на поверхности золота, получаемых в реакции  $^{242}\text{Pu}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{287}\text{Fl}$ .



Дубна, 22 ноября. Визит в ОИЯИ президента РАН Г. Я. Красникова и вице-президентов РАН В. Я. Панченко и С. Н. Калмыкова. На экскурсии в ЛЯР



22 марта. Делегация Министерства науки, технологий и окружающей среды Республики Куба во главе с заместителем министра А. Родригесом Батистой на экскурсии в лаборатории

Выполнены комбинированные расчеты методами квантовой химии и молекулярной динамики для оценки коэффициентов диффузии тяжелых и сверхтяжелых атомов в газовой фазе. На основании этих расчетов впервые определены коэффициенты диффузии атома Fl в среде Ar при различных температурах. Полученные данные будут использованы для дальнейшего моделирования хроматографического процесса методом Монте-Карло.

В 2024 г. была опубликована первая статья коллаборации ЛЯР ОИЯИ с IMP (Китай) и PSI (Швейцария) по созданию установки LEGEND для изучения химических свойств Nh на модернизированном ускорительном комплексе HIRFL в Китае [8]. В конце года на новой установке проведен первый сеанс по газоадсорбционной термохроматографии  $^{284}\text{Nh}$ , получаемого при облучении мишени  $^{243}\text{Am}$  пучками  $^{48}\text{Ca}$ . Предварительные результаты подтверждают результаты пионерских исследований по химической идентификации  $^{284}\text{Nh}$  в цепочке распада  $^{288}\text{Mc}$ , проведенных в ЛЯР.

Еще одним важным направлением исследований была разработка методов синтеза металлоорганических соединений  $^{50}\text{Ti}$  и  $^{54}\text{Cr}$  для получения пучков ускоренных ионов методом MIVOC из ECR-источника при синтезе СТЭ. В ходе работы синтезировано соединение  $^{54}\text{Cr}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$  высокой чистоты, использовавшееся в эксперименте по слиянию  $^{54}\text{Cr}$  и  $^{238}\text{U}$  с образованием ранее неизвестного изотопа  $^{288}\text{Lv}$ .

### Динамика взаимодействия тяжелых ядер, деление тяжелых и сверхтяжелых ядер

С целью более детального изучения влияния структуры ядер в области  $^{48}\text{Ca}$  в реакциях холодного слияния на процесс захвата взаимодействующих ядер и дальнейшую эволюцию образовавшейся двойной ядерной системы в 2024 г. были измерены сечения захвата и массово-энергетические распределения бинарных фрагментов реакций  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{44}\text{Ca}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{48,50}\text{Ti}$  +  $^{208}\text{Pb}$  при энергиях взаимодействия вблизи и существенно ниже кулоновского барьера. Выделение осколков слияния-деления от фрагментов квазиделения было проведено на основе анализа полученных массово-энергетических распределений. Изучалась динамика механизма реакции при отличии в 2 нейтрона и 2 протона от замкнутых нейтронных и протонных оболочек в налетающем ядре.

Эксперименты проводились на ускорителе У-400 ЛЯР с помощью двухплечевого время-пролетного спектрометра CORSET. Измеренное сечение захвата для этих реакций представлено на рис. 2.

Также в 2024 г. были закончены обработка и анализ экспериментальных данных по детальному изучению свойств фрагментов реакций многонуклонных передач (MNT), образующихся в реакциях  $^{136}\text{Xe}$ ,  $^{209}\text{Bi}$  +  $^{238}\text{U}$  при энергии взаимодействия на 40–50 % выше кулоновского барье-

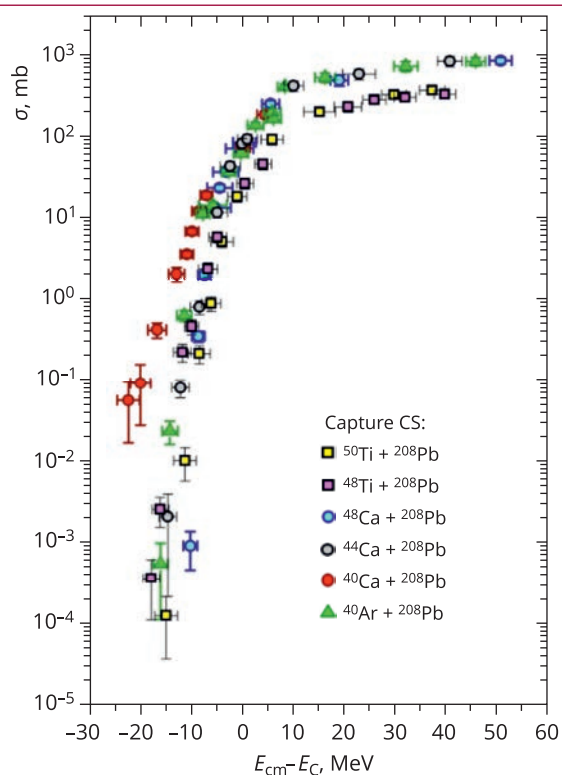


Рис. 2. Измеренные сечения захвата для реакций холодного слияния  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{40,44,48}\text{Ca}$ ,  $^{48,50}\text{Ti} + ^{208}\text{Pb}$

ра. Эксперименты были проведены в 2023 г. на модернизированной установке CORSET с применением двух независимых экспериментальных методик, а именно — двухплечевые времяпролетные измерения (ToF-ToF) для исследования

двухтельных совпадений и скоррелированные измерения времени пролета и энергии тремя ToF- $E$  плечами для исследования трехтельных совпадений. Получены массовые и энергетические распределения первичных и конечных снарядоподобных фрагментов (PLF) в совпадении либо с выжившими мишенеподобными фрагментами (TLF), либо с обоими фрагментами последовательного деления возбужденных TLF. Установлено, что в обеих изученных реакциях фрагменты MNT тяжелее  $\sim 250$  а. е. м. главным образом идут в канал деления. Самые тяжелые первичные фрагменты, зарегистрированные в трехтельных совпадениях в реакции  $^{136}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$ , имеют массу  $\sim 265$  а. е. м. ( $Z \approx 103$ ), а в реакции  $^{209}\text{Bi} + ^{238}\text{U}$  — 289 а. е. м. ( $Z \approx 113$ ). Для выживших фрагментов с массой больше 250 а. е. м. сечение образования примерно на порядок выше в реакции с ионами  $^{209}\text{Bi}$ . Полученные результаты для реакции  $^{136}\text{Xe} + ^{238}\text{U}$  были опубликованы в 2024 г. [9]. На основе экспериментальных данных, полученных в реакции  $^{209}\text{Bi} + ^{238}\text{U}$ , в настоящее время также готовится статья.

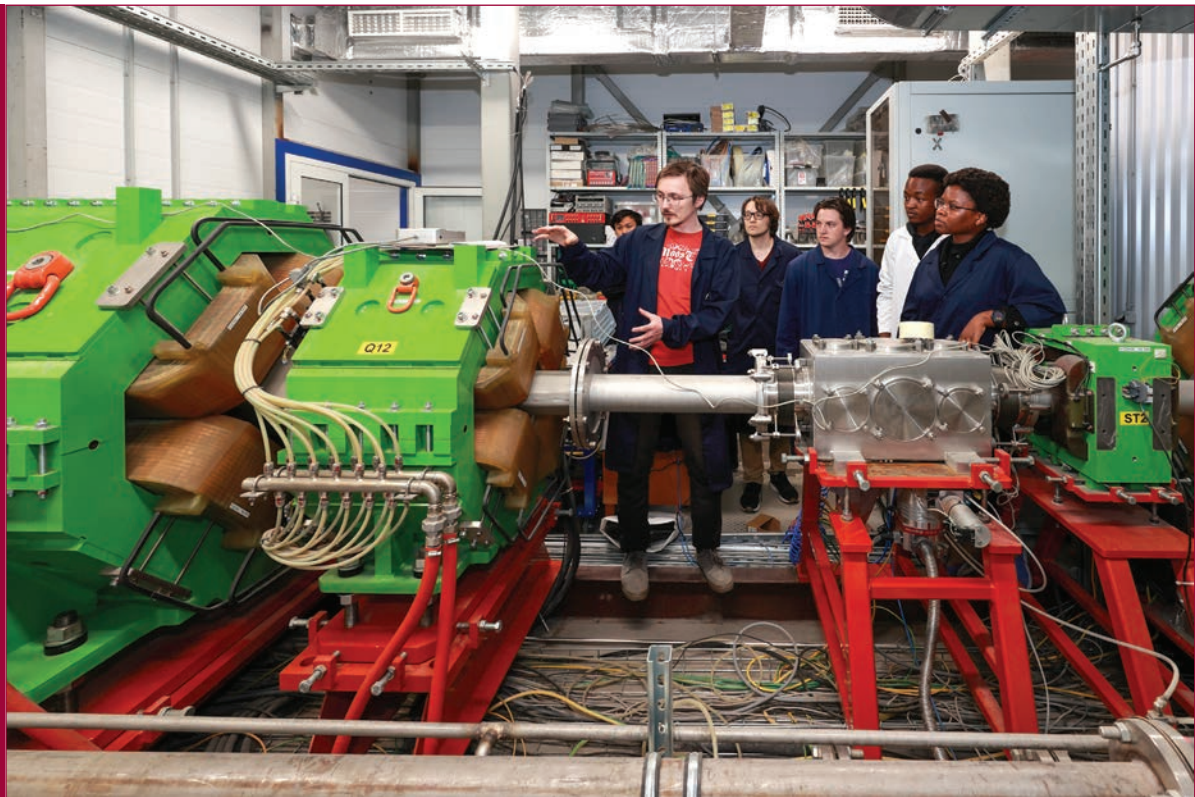
### Структура экзотических ядер

Важнейшими результатами работы группы ACCULINNA в 2024 г. стали завершение анализа данных ранее проведенных экспериментов на комплексе ACCULINNA-2@У-400М [10, 11], а также дальнейшее развитие методологии и техники физического эксперимента [12]. Среди них следует отметить следующие два пункта.

Система  $^7\text{He}$  изучалась в реакции  $^2\text{H}(^6\text{He}, ^1\text{H})^7\text{He}$  при энергии пучка  $^6\text{He}$  29 МэВ/ну-



23 декабря. На общелабораторном семинаре выступает академик Ю. Ц. Оганесян с докладом «Холодное слияние массивных ядер»



18 июня. Экскурсия на установку ACCULINNA-2 для студентов из ЮАР — участников международной практики по направлениям исследований ОИЯИ

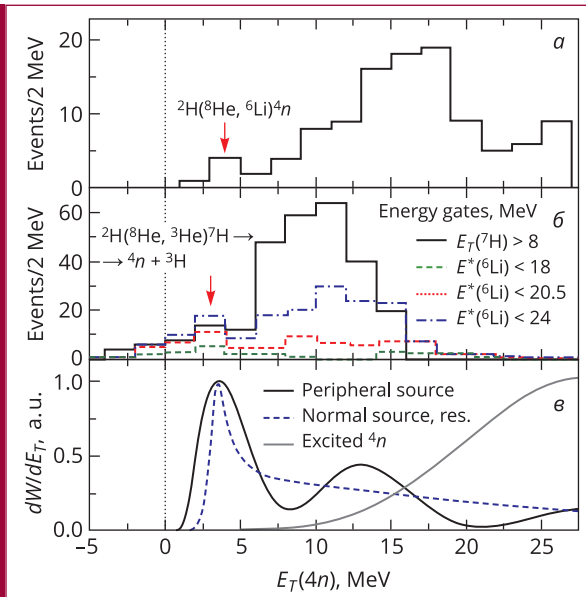


Рис. 3. Сравнение экспериментальных данных (а, б) с результатами теоретического анализа (в), выполненного для величины переданного момента  $q_a = 250$  МэВ/с и в предположении механизма реакции, идущей на большой периферии

клон [10]. Проведен теоретический анализ данных с использованием модели PWIA (плосковолновое импульсное приближение). Показано, что три парциальные амплитуды  $p_{3/2}$ ,  $p_{1/2}$  и  $s_{1/2}$  с фа-

зами, рассчитанными с помощью кода AZURE2, могут воспроизводить низкоэнергетический спектр  ${}^7\text{He}$  до 8 МэВ. Наличие  $s$ -волны с положительной четностью может быть использовано для описания наблюдаемой асимметрии в испускании из центра масс  ${}^7\text{He}$  нейтронов в направлении вперед-назад относительно переданного импульса в этой реакции. В рамках полюсного механизма реакции  ${}^2\text{H}({}^8\text{He}, {}^1\text{H}){}^7\text{He}$  это свидетельствует об интерференции волн разной четности при формировании непрерывного спектра при  $E({}^7\text{He}) < 8$  МэВ.

Также был выполнен анализ экспериментальных данных, полученных в ядерных реакциях  ${}^2\text{H}({}^8\text{He}, {}^6\text{Li}){}^4n$  и  ${}^2\text{H}({}^8\text{He}, {}^3\text{He}){}^7\text{H} \rightarrow {}^3\text{H} + 4n$  при энергии пучка  ${}^8\text{He}$  26 МэВ/нуклон. Исследована система из четырех нейтронов в виде низколежащего резонансного состояния при энергии около 3,5 МэВ [11]. Теоретическая интерпретация наблюдаемых событий  $4n$  с использованием метода гиперсферических гармоник указывает на сильную периферическую природу процесса и на условие, что основной вклад в появление пика вносят состояния в волновой функции  ${}^8\text{He}$  с гипермоментом  $K=2$ . Показано (рис. 3), что положение резонанса  $E_T(4n)$  при  $\sim 3\text{--}5$  МэВ устойчиво только в случае сильно периферического механизма реакции с источником  ${}^8\text{He}$ , содержащего специфические нейтронные корреляции, и для диапазона переданных импульсов  $q_a \sim 150\text{--}350$  МэВ/с.

## СОЗДАНИЕ НОВЫХ И РАЗВИТИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

### Комплекс для измерения масс сверхтяжелых ядер

Комплекс для прецизионного измерения масс сверхтяжелых ядер разрабатывается для фабрики СТЭ и включает в себя криогенную газовую ловушку и многоотражательный времяпролетный масс-спектрометр. В 2024 г. продолжилась работа по созданию криогенной газовой ионной ловушки, а именно:

- выполнены тесты с внутренним альфа-источником  $^{223}\text{Ra}$  открытого типа, который эмитирует дочерние ядра, являющиеся, в свою очередь, альфа-радиоактивными; при регистрации альфа-распада  $^{119}\text{Rn}$  на выходе системы транспорта была достигнута эффективность сепарации при комнатной температуре 35 %;
- подготовлена методика экспериментального тестирования газовой ловушки на эффективность и время сепарации при криогенной температуре (40 K);
- продолжены работы по моделированию эффективности и времени экстракции из криогенной газовой ионной ловушки для продуктов, получаемых в реакциях полного слияния. На основе программных пакетов SRIM2013,

Geant4, ROOT, SIMIONandCOMSOL был создан комплекс программ для определения оптимальных условий торможения продуктов реакций слияния в газовой ячейке. Работа находится в завершающей стадии, в 2025 г. результаты будут опубликованы.

Совместно с Институтом аналитического приборостроения РАН (Санкт-Петербург) продолжена работа по проектированию многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра, предназначенного для прецизионного измерения масс изотопов тяжелых и сверхтяжелых ядер. Завершена работа по созданию рабочей конструкторской документации для времяпролетного масс-анализатора. Для изучения возможностей использования ионизованных фрагментов фуллеренов в качестве калибровочных реперов была выполнена работа по созданию стенда, основной частью которого является источник ионов с электронным ударом. Заключен контракт на изготовление уникального квадрупольного масс-спектрометра — прототипа фильтра масс для многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра. Подготовлены контракты на закупку основного серийного оборудования.

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

Методами высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии изучена микроструктура интерфейсных слоев  $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2/\text{ZrO}_2:\text{Y}$ ,  $\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , облученных ионами ксенона (160 МэВ) и висмута (670 МэВ) в режиме до перекрытия трековых областей.

Установлено, что в кристаллах оксида алюминия и оксида циркония формируются латентные треки, а также дефекты в виде хиллоков на границах слоев  $\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Исследовано формирование радиационных дефектов и гелиевой пористости в образцах нержавеющей стали, легированной ионами гелия с энергией 3 МэВ на ускорителе Tandetron (iThemba LABS, ЮАР). Показано, что разработанная методика позволяет получать однородный профиль имплантированного гелия на глубинах до 3 мкм. Определены размеры дефектов и их плотность в зависимости от температуры послерадиационного отжига.

Проведены микромеханические испытания методом наноиндентирования ряда ферритных ДУО-сплавов, облученных высокоэнергетиче-

скими ионами ксенона (150 МэВ) и висмута (670 МэВ). Установлено, что аморфизация оксидных наночастиц, наблюдаемая при перекрытии ионных треков, не приводит к изменению уровня радиационного упрочнения. Результаты работы представлены в [13].

Применимость нанопористых трековых мембран в электробаромембранном процессе была исследована в связи с проблемой разделения одновалентных катионов, в первую очередь катионов лития, с использованием малореагентных методов. Показано, что применение трековой мембраны с диаметром пор 35 нм и двух противоположно направленных движущих сил — электрического поля и поля давления — позволили отделять ионы  $\text{Li}^+$  от ионов натрия и калия в природных и технологических рассолах [14].

Показано, что мембраны с трековым травлением нанопор являются хорошими шаблонами для изготовления гибких нагревательных элементов. Элементы такого типа могут быть использованы в медицинских устройствах для кон-



Наноцентр ЛЯР



Исследования подавления активности вирусов на трековых мембранах, модифицированных полиэтиленмином, наночастицами серебра и куркумином

троля температуры и в качестве термозащитного покрытия в различных областях техники [15].

С использованием ионно-трековой технологии созданы нано- и микроструктурированные текстуры на поликарбонатных и полипропиленовых подложках. Благодаря наклону элементов рельефа поверхность приобретает анизотропные гидрофобные свойства. Разработанные материалы представляют большой интерес с точки

зрения создания самоочищающихся и несмачиваемых покрытий и поверхностей [16].

Разработан метод формирования гибридных мембран, состоящих из металлизированной титаном микропористой подложки и осажденного методом электроформования гидрофобного нановолоконного слоя поливинилиденфторида (ПВДФ). Показано, что применение гибридных мембран в процессе мембранной дистилляции

позволяет эффективно обессоливать воду. Коэффициент солезадержания гибридных мембран составил 99,97–99,98 % [17].

Исследовано влияние массы и энергии иона на структурные и физико-химические изменения в ПВДФ под действием быстрых тяжелых ионов. Разработана методика радиационной прививочной полимеризации функциональных мономеров в ионных треках и нанопорах трековых мембран на основе ПВДФ с целью создания протонопроводящих мембран для водородной энергетики.

Получены композитные трековые мембраны с нанослоем золота и серебра, нанесенного методами магнетронного и термического напыления. Показана возможность использования этих мембран в проточных биосенсорах для определения вируса гриппа А.

На трековых мембранах, модифицированных полиэтиленгликолем, наночастицами серебра и куркумином, исследован процесс фильтрации вирусных суспензий; продемонстрировано высокое ингибирование вирусов герпеса и стоматита [18].

Изучена сорбционная способность трековых мембран с иммобилизованными белками Dsup по отношению к ДНК. Эксперименты по фильтрации подтвердили способность трековых мембран с иммобилизованным белком Dsup адсорбировать  $(70 \pm 19)$  мг/м<sup>2</sup> внеклеточной ДНК [19].

Разработана препаративная система тангенциальной фильтрации. Она обеспечивает удаление низкомолекулярных веществ из проб, содержащих экзосомы клеток.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pugachev D. K., Bogomolov S. L., Bondarchenko A. E., Berestov K. I., Kuzmenkov K. I., Loginov V. N., Lebedev A. N., Mironov V. E., Podoinikov D. S. // Developing the DECRIS-5M ECR Ion Source for the DC-140 Cyclotron Complex // *Phys. At. Nucl.* 2024. V. 87, No. 10. P. 1–5.
2. Oganessian Yu. Ts., Utyonkov V. K., Shumeiko M. V., Abdullin F. Sh., Adamian G. G., Dmitriev S. N., Ibadullayev D., Itkis M. G., Kovrizhnykh N. D., 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., Solovyev D. I., Tsyganov Yu. S., Voinov A. A., Subbotin V. G., Bublikova N. S., Voronyuk M. G., Sabelnikov A. V., Bodrov A. Yu., Aksenov N. V., Khalkin A. V., Gan Z. G., Zhang Z. Y., Huang M. H., Yang H. B. // Synthesis and Decay Properties of Isotopes of Element 110: <sup>273</sup>Ds and <sup>275</sup>Ds // *Phys. Rev. C.* 2024. V. 109. 054307.
3. Sagaidak R. N., Utyonkov V. K., 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., Popeko A. G., Shubin V. D., Shumeiko M. V., D. I. Solovyev D. I., Tsyganov Yu. S., Voinov A. A., Bublikova N. S., Voronyuk M. G., Sabelnikov A. V., Bodrov A. Yu., Gan Z. G., Zhang Z. Y., Yang H. B., Huang M. H. // Production of Th Nuclei in the <sup>48</sup>Ca + <sup>170</sup>Yb and <sup>54</sup>Cr + <sup>164</sup>Dy Reactions // *Phys. Rev. C.* 2024. V. 110. 044609.
4. Ibadullayev D., Utyonkov V. K., Oganessian Yu. Ts., 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., Sabelnikov A. V., Lindner A., Rykaczewski K. P., King T. T., Roberto J. B., Brewer N. T., Grzywacz R. K., Gan Z., Zhang Z., Huang M., Yang H. Improved Data for Isotopes in the Decay Chain of Super Heavy Nucleus <sup>283</sup>Cn // *Proc. IV Intern. Sci. Forum "Nuclear Science and Technologies"*. AIP Conf. Proc. 2024. V. 3020. 020004.
5. Wang J. G., Gan Z. G., Zhang Z. Y., Huang M. H., Ma L., Zhang M. M., Yang H. B., Yang C. L., Qiang Y. H., Huang X. Y., Zhao Z., Xu S. Y., Li Z. C., Chen L. X., Sun L. C., Zhou H., Zhang X., Wu X. L., Tian Y. L., Wang Y. S., Wang J. Y., Huang W. X., Liu M. L., Lu Z. W., He Y., Ren Z. Z., Zhou S. G., Zhou X. H., Xu H. S., Utyonkov V. K., Voinov A. A., Tsyganov Yu. S., Polyakov A. N. //  $\alpha$ -Decay Properties of New Neutron-Deficient Isotope <sup>203</sup>Ac // *Phys. Lett. B.* 2024. V. 850. P. 138503.
6. Zhao Z., Gan Z. G., Zhang Z. Y., Wang J. G., Huang M. H., Ma L., Yang H. B., Zhang M. M., Yang C. L., Xu S. Y., Huang X. Y., Li Z. C., Sun L. C., Wu X. L., Wang Y. S., Tian Y. L., Qiang Y. H., Wang J. Y., Huang W. X., He Y., Sun L. T., Utyonkov V. K., Voinov A. A., Tsyganov Yu. S., Polyakov A. N. Reinvestigation of the Decay Properties of <sup>261,262</sup>Bh at the Gas-Filled Recoil Separator SHANS2 // *Phys. Rev. C.* 2024. V. 109. 034314.
7. Devaraja H. M. et al. Systematic Studies to Produce Heavy Above-Target Nuclides in Multinucleon Transfer Reactions // *Phys. Lett. B* (submitted).
8. Zimeng Jia, Yang Wang, Shiwei Cao, Zhi Qin, Yunfei Cui, Aksenov N., Astakhov A., Bozhikov G., Jing Bai, Cuihong Chen, Desheng Chen, Jian Chu, Yukai Chen, Eichler R., Fangli Fan, Goltsman A., Ruiqin Gao, Zaiguo Gan, Qinggang Huang, Xinyuan Huang, Hexiang Jia, Zhuofan Jin, Bolin Li, Haixia Li, Mu Lin, Ronghua Li, Tao Li, Madumarov A. S., Long Ma, Steinegger P., Cunmin Tan, Wei Tian, Tiebel G., Jianguo Wang, Jieru Wang, Wilson J. M., Xiaolei Wu, Hushan Xu, Xiaojie Yin, Baitong Zhang, Taoyi Zhang, Xiaohong Zhou, Zhiyuan Zhang. LEGEND — A Detection System for Next-Generation Gas-Adsorption Thermochromatography Experiments with Nh // *Nucl. Instr. Meth. A.* 2024. V. 1072. P. 170166.
9. Kozulin E. M. et al. // *Phys. Rev. C.* 2024. V. 109. 034616.
10. Golovkov M. S. et al. Observation of a Positive-Parity Wave in the Low-Energy Spectrum of <sup>7</sup>He // *Phys. Rev. C.* 2024. V. 109. L061602.

11. *Muzalevskii I. A. et al.* Population of Tetraneutron Continuum in Reactions of  $^8\text{He}$  on Deuterium // *Phys. Rev. C*. 2024. V. 111. 014612.
12. *Krupko S. A. et al.* Design and Performance of the ACCULINNA-2 Fragment-Separator // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2024. V. 21. P. 902–918.
13. *Kirilkin N. S., Vershinina T. N., O'Connell J. H., Rymzhonov R. A., Skuratov V. A., Boltueva V. A., Ghyngazov S. A.* Exploring Metastable Phase Formation: Swift Heavy Ion Effects on Partially Stabilized Zirconia // *J. Nucl. Materials*. 2024. V. 602. P. 155369.
14. *Butylskii D. Yu., Troitskiy V. A., Chuprynina D. A., Pismenskaya N. D., Smirnova N. V., Apel P. Yu., Dammak L., Mareev S. A., Nikonenko V. V.* Selective Recovery of Lithium Ion from Its Mixed Solution with Potassium and Sodium by Electrobaromembrane Method // *Separation and Purification Technol.* 2024. V. 343.
15. *Кувайцева М. А., Апель П. Ю.* Исследование возможности создания анизотропных высокогидрофобных поверхностей с использованием ионно-трековой технологии // *Коллоид. журн.* 2024. Т. 86, № 5.
16. *Kozhina E., Panov D., Kovalets N., Apel P., Bedin S.* A Thin-Film Polymer Heating Element with a Continuous Silver Nanowires Network Embedded Inside // *Nanotechnology*. 2024. V. 35.
17. *Виноградов И. И., Дрожжин Н. А., Кравец Л. И., Россоу А., Вершинина Т. Н., Нечаев А. Н.* Формирование гибридных мембран для обессоливания водных растворов методом мембранной дистилляции // *Коллоид. журн.* 2024. Т. 86, № 5.
18. *Andreev E., Zakaryan H., Harutyunyan T., Molokanova L., Pinaeva U., Rossouw A., Nechaev A., Apel P., Aroutiounian R.* Enhancing Virus Inhibition in Track-Etched Membranes through Surface Modification with Silver Nanoparticles and Curcumin // *Surfaces and Interfaces*. 2024. V. 53. 105064.
19. *Ponomareva O. Yu., Drozhzhin N. A., Vinogradov I. I., Vershinina T. N., Altynov V. A., Zuba I., Nechaev A. N., Pawlukoјс A.* Metal–Organic Framework Based on Nickel, L-Tryptophan, and 1,2-Bis(4-Pyridyl) Ethylene, Consolidated on a Track-Etched Membrane // *Russ. J. Inorganic Chem.* 2024. V. 69, No. 6. P. 907–918.

# ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ им. И. М. ФРАНКА

Научная программа ЛНФ в 2024 г. была направлена на получение новых результатов в рамках проектов и подпроектов Проблемно-тематического плана ОИЯИ: по физике конденсированных сред («Импульсный источник нейтронов и комплекс спектрометров», 04-4-1149-2024/2028, руководитель Е. В. Лычагин, «Исследования функциональных материалов и наносистем с использованием рассеяния нейтронов», 04-4-1149-2-2021/2028, руководители Д. П. Козленко, В. Л. Аксенов и А. М. Балагуров, «Оптические методы в исследованиях конденсированных сред», 04-4-1147-2024, руководители Г. М. Арзуманян и Н. Кучерка); по нейтронной ядерной физике («Нейтронная ядерная физика», 03-4-1146-2024, руководители Ю. Н. Копач,

П. В. Седышев, В. Н. Швецов); по развитию базовых установок лаборатории («Развитие исследовательской ядерной установки ИБР-2 с комплексом криогенных замедлителей нейтронов», 04-4-1149-1-2011/2028, руководители 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», 04-4-1149-3-2021/2028, руководители В. И. Боднарчук, В. И. Приходько); по развитию проекта нового источника нейтронов («Новый перспективный источник нейтронов в ОИЯИ», 04-4-1149-4-2021/2028, руководители Е. В. Лычагин, В. Н. Швецов, М. В. Булавин).



Дубна, 15 марта. Юбилейный семинар, посвященный 40-летию введения в эксплуатацию импульсного реактора ИБР-2

## Структурные исследования новых оксидных, интерметаллических и наноструктурированных материалов

Продолжены исследования слоистых квазидвумерных ван-дер-ваальсовых магнитных материалов семейства  $MPS_3$  ( $M$  — переходный металл). Изучены кристаллическая, магнитная структуры и колебательные спектры соединения  $MnPS_3$  с помощью метода нейтронной дифракции в диапазоне значений давления до 3,6 ГПа и температуры 15–300 К, а также методов рентгеновской дифракции и рамановской спектроскопии в диапазоне значений давления до 28 ГПа и при комнатной температуре [1]. При давлении выше 1 ГПа наблюдался изоструктурный фазовый переход в новую фазу моноклинной симметрии  $C2/m$ , сопровождающийся значительным уменьшением параметров решетки и степени моноклинного искажения, а также аномальным барическим поведением ряда колебательных мод (рис. 1). При этом симметрия антиферромагнитной структуры остается неизменной во всем исследуемом диапазоне значений давления. Рассчитано изменение параметра обменного взаимодействия между ближайшими соседями при воздействии высокого давления. Наблюдаемая стабильность магнитного порядка в  $MnPS_3$  сильно отличается от поведения  $FePS_3$ , где аналогичный структурный фазовый переход также вызывает изменение симметрии магнитного упорядочения под давлением. На основе анализа конкурирующих межплоскостных и внутриплоскостных магнитных обменных взаимодействий предложена модель, объясняющая различное поведение магнитных состояний этих соединений под давлением.

Слоистые перовскитоподобные титанаты с общей формулой  $A_2Ti_2O_7$  ( $A = La, Ce, Pr$  или  $Nd$ ) демонстрируют одни из максимальных температур Кюри возникновения сегнетоэлектричества, ярко выраженные пьезоэлектрические и сегнетоэлектрические свойства, превосходные характеристики диэлектрической проницаемости. В них также обнаружена высокая анизотропия электрической проводимости при низких температурах, что делает слоистые перовскитоподобные титанаты весьма перспективными материалами в качестве квазиодномерных металлов. Необычность физических свойств перовскитоподобных титанатов обусловлена особенностями их кристаллической структуры — так называемой Карпи-Гали фазы (the Carpy-Galy phase), в которой кислородные октаэдры  $TiO_6$  формируют искаженные кристаллические слои, разделенные между собой топологически искаженными рядами редкоземельных элементов. Предполагается, что взаимная ориентация кислородных октаэдров в кристаллической структуре слоистых перовскитоподобных материалов играет значительную роль в формировании их сегнетоэлектрических свойств. В настоящее время влияние термодинамических параметров (высокого давления, температуры) на кристаллическую структуру и физические свойства титанатов  $A_2Ti_2O_7$  остается недостаточно изученным. Исследование структурного поведения данных соединений при воздействии высокого давления представляет высокую актуальность для установления взаимосвязи между структурными параметрами и физическими свойствами, а также поиска новых структурных модификаций данных материалов, свойства которых могут существенно отличаться от исходных. Проведены систематические иссле-

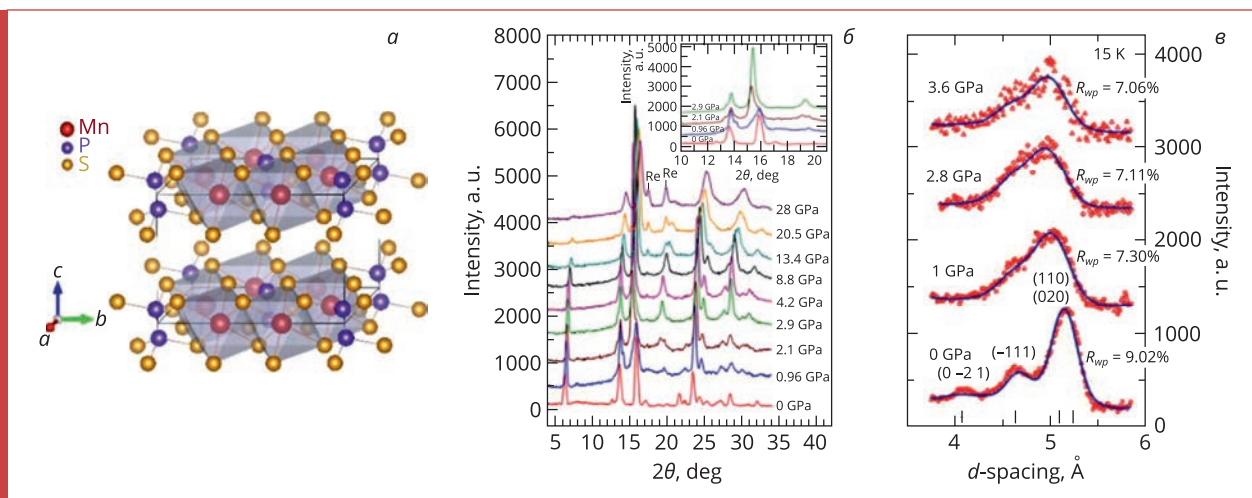


Рис. 1. Моноклинная кристаллическая структура  $MnPS_3$  (а), рентгеновские дифракционные спектры при различных значениях давления, иллюстрирующие структурный фазовый переход (б), магнитный вклад в нейтронные дифракционные спектры при различном давлении и  $T = 15$  К (экспериментальные точки) и результаты расчета по методу Ритвельда (сплошные линии) (в)



Пекин (Китай), 4 февраля. Ведущему научному сотруднику ЛНФ ОИЯИ Ю. М. Гледену вручена премия Дружбы — высшая награда правительства Китайской Народной Республики для иностранцев. Фото: © <https://english.www.gov.cn/>

дования кристаллической структуры и вибрационных спектров слоистых перовскитоподобных титанатов  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  и  $\text{Pr}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  [2] при высоком давлении до 30 ГПа методами нейтронной, рентгеновской дифракции и рамановской спектроскопии. Во всех исследованных перов-

скитоподобных титанатах  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  и  $\text{Pr}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  при высоком давлении выше 15 ГПа обнаружен структурный фазовый переход, который сопровождается аномалиями в барических зависимостях как параметров кристаллической структуры, так и вибрационных мод этих соединений. Детальный анализ экспериментальных данных указывает на изменение симметрии моноклинной кристаллической структуры перовскитоподобных титанатов с пространственной группы  $P2_1$  на  $P2/m$  при высоком давлении. На основе полученных экспериментальных данных предложен общий структурный механизм индуцированного давлением фазового перехода в перовскитоподобных слоистых титанатах. Показано, что степень разупорядочения титанового слоя, изменяющаяся при фазовом переходе за счет изменения ориентации кислородных октаэдров относительно кристаллографических осей, является важным параметром, контролирующим свойства слоистых титанатов, и ее увеличение приводит к подавлению сегнетоэлектрического состояния в исследуемых титанатах при высоком давлении.

Продолжены исследования Fe-Ga-сплавов, обладающих эффектом гигантской магнитострикции. Серия образцов сплава  $\text{Fe}_{73}\text{Ga}_{27}$  исследовалась с помощью дифракции синхротронного излучения на станциях BM01A и ID28 (ESRF) в режиме непрерывного нагрева (до 950 °C) и последующего охлаждения до комнатной температуры, а также при некоторых фиксированных температурах [3]. Проведенные ранее исследования показали, что в измеренных сечениях обратного пространства монокристалла  $\text{Fe}_{73}\text{Ga}_{27}$  наблюдается множество дополнительных рефлексов, принадлежащих не кристаллической решетке основной фазы  $D0_3$ , а некоторой новой фазе (далее она обозначается как фаза X) с большой элементарной ячейкой. Дополнительные измерения спектров дифракции электронов подтвердили присутствие этой фазы в образце. Из проведенного анализа следует, что фаза X может быть опи-

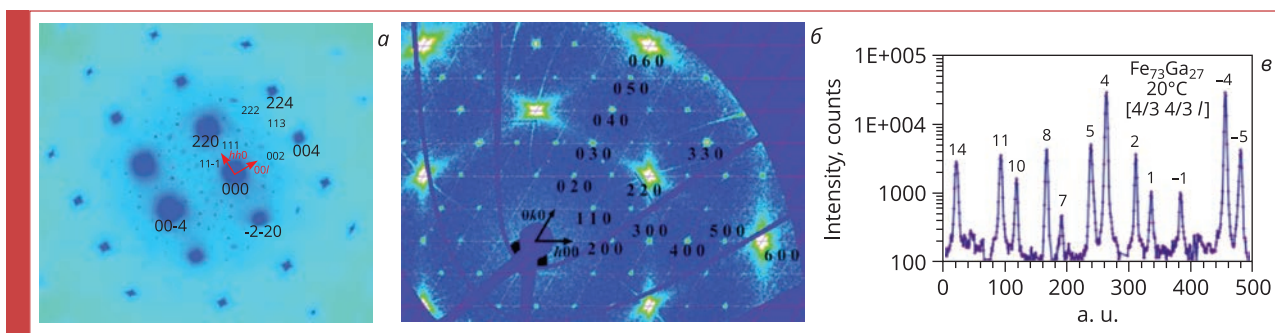


Рис. 2. а) Изображение  $hkl$  слоя обратного пространства  $\text{Fe}_{73}\text{Ga}_{27}$  сплава, полученное с использованием дифракции электронов. Обозначены направления  $[hh0]$  и  $[00l]$ , а также индексы Миллера нескольких фундаментальных (220, 004, 224 и т. д.) и сверхструктурных (111, 002, 113 и т. д.) рефлексов фазы  $D0_3$ . Большинство рефлексов принадлежат фазе X. б) 2D-слой обратного пространства сплава  $\text{Fe}_{73}\text{Ga}_{27}$ , полученный при 20 °C на станции ID28. Сетка соответствует гексагональной решетке с параметрами  $a = 8,291 \text{ \AA}$ ,  $c = 10,143 \text{ \AA}$ , показан слой  $hk0$ . в) 1D-скан по направлению  $[4/3 \ 4/3 \ l]$  в слое  $hkl$  сплава  $\text{Fe}_{73}\text{Ga}_{27}$  (20 °C, ID28). Индексы Миллера даны для примитивной кубической ячейки с параметром  $a \approx 5,78 \text{ \AA}$



22 марта. Визит в ОИЯИ вице-министра науки и высшего образования Казахстана Д. Ахмеда-Заки (2-й слева). На экскурсии в лаборатории

сана в гексагональной сингонии с параметрами  $a = 8,291 \text{ \AA}$ ,  $c = 10,143 \text{ \AA}$  (рис. 2). Формально все наблюдаемые рефлексы могут быть описаны в рамках кубической ячейки с утроенным параметром фазы  $DO_3$ , а именно с  $a = 3a(DO_3) \approx 17,34 \text{ \AA}$ . Симметрия фазы  $X$  пока достоверно неизвестна, хотя можно предполагать, что она каким-то образом

соответствует структуре фазы  $B8_2$  сплава  $Fe_3Ga$ . Основанием для этого являются совпадение сингоний и хорошее соответствие уточненных величин параметров решетки фазы  $X$  удвоенным параметрам  $B8_2$  ( $a \approx 4,03 \text{ \AA}$ ,  $c \approx 5,03 \text{ \AA}$ ). Для определения структуры фазы  $X$  необходимо увеличить ее содержание в сплаве, чему могут способство-



Дубна, 13–15 мая. Участники совещания ЛНФ ОИЯИ – CSNS (Дунгуань, Китай) по технологиям для нейтронного рассеяния и мультидисциплинарным исследованиям

вать правильно подобранные условия температурного воздействия. Вследствие обнаруженной соразмерности элементарных ячеек фаз  $DO_3$  и  $X$  оказывается, что рефлексы фазы  $X$  имитируют возможное присутствие сверхструктурных рефлексов тетрагональной фазы  $L6_0$ . Известно, что именно формирование в сплавах Fe–Ga фазы  $L6_0$  рассматривается как наиболее вероятная причина повышенной магнитострикции этих сплавов. В целом ряде публикаций было заявлено о регистрации в экспериментах по дифракции электронов рефлексов фазы  $L6_0$  в составах  $Fe_{81}Ga_{19}$  и  $Fe_{73}Ga_{27}$ . Из наших результатов следует, что, по крайней мере, в составах  $Fe_{73}Ga_{27}$  это могли быть рефлексы фазы  $X$ .

## Материалы для накопления и преобразования энергии

Наличие ряда вакансий  $Fe(CN)_6$  и структурированной воды в исходной структуре гексацианоферрата натрия — соединения Prussian white (PW), катодного материала для натрий-ионных источников тока, — влияет на устойчивость кристаллической решетки при электрохимическом циклировании и приводит к падению емкости после длительной работы. В нескольких работах показано, что покрытие порошка гексацианоферратов полианилином способствует образованию защитного слоя, препятствующего деградации материала, и, как следствие, более стабильному электрохимическому циклированию катода на основе аналогов Prussian blue. Методами дифракции рентгеновских лучей и синхронного излучения, СЭМ, ТГА, ИК-спектроскопии исследовано влияние покрытия порошка PW слоем полианилина на структуру, фазовые переходы при нагреве и в процессах заряда и разряда. Процесс покрытия полианилином (PANI) подразумевает диспергацию исходного порошка в растворе 0,01 моль соляной кислоты, что приводит к образованию натрий-дефицитной кубической фазы вследствие выхода натрия из структуры гексацианоферрата как в присутствии анилина (при синтезе на частицах PW оболочки из PANI), так и без анилина (сравнительный образец после растворения в соляной кислоте — PW-HCl). Характерный для PW фазовый переход из кубической фазы в дегидратированную ромбоэдрическую фазу при нагревании материала PW@PANI смещается в сторону более высоких температур по сравнению с исходным порошком PW и порошком, выдержанным в кислоте, но без покрытия полианилином, что указывает на то, что слой полианилина препятствует выходу воды из структуры гексацианоферрата натрия. Об этом же свидетельствует и пролонгированное по напряжению, по сравнению с электродом PW, существование гидратированной ромбоэдрической фазы в ходе заряда-разряда электрода на основе PW@PANI.

## Исследование биологических наносистем, липидных мембран и липидных комплексов

Накопление бета-амилоидных пептидов в тканях мозга считается одной из возможных причин возникновения и прогрессирования болезни Альцгеймера. Поэтому изучаются структурные особенности взаимодействий бета-амилоидного пептида ( $A\beta$ ) с липидной мембраной в системах, имитирующих доклиническую стадию заболевания, и рассматривается влияние биологически значимых молекул на упомянутые системы.

С помощью методов малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей была выявлена критическая концентрация бета-амилоидного пептида, выше которой наблюдается разрыв липидной мембраны и морфологическая реорганизация липидных объектов, проявляющаяся в изменении их надмолекулярной структуры (везикулы – дискообразные объекты) [4]. Показано, что ионы кальция противодействуют влиянию пептида на структуру липидной мембраны, однако не влияют на разрыв мембраны, вызванный пептидом. Обнаружено, что надмолекулярная структурная организация липидных объектов сохраняется при добавлении ионов кальция.

Исследования структурных механизмов липид-пептидных взаимодействий были дополнены результатами спектроскопии комбинационного рассеяния, MD- и DFT-моделирования, чтобы выявить конформационные трансформации  $A\beta$  [5]. Показано, что во вторичной структуре пептида  $A\beta$  в липосомах преобладает стабильная во времени конформация  $\alpha$ -спирали. Однако неожиданно стало обнаружение того, что среда липодиска индуцирует трансформацию вторичной структуры  $A\beta$  в  $\beta$ -поворот / произвольный виток. Результаты рамановского исследования показали, что пептиды  $A\beta$ , представленные в липосомах, сохраняют свою нативную форму, в отличие от липодисков. Эти экспериментальные результаты были подтверждены моделированием методом молекулярной динамики и теории функционала плотности, что подробно представлено в опубликованной статье.

Таким образом, сочетание результатов малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей, MD-, DFT- и рамановских исследований является перспективным и надежным подходом для более полного понимания физико-химических процессов, происходящих в живых организмах, понимание которых необходимо для установления механизмов нейротоксичного воздействия пептидов, а следовательно, и поиска способов лечения болезни Альцгеймера.

## Исследование полимерных материалов и пленок

Продолжены исследования полиакриламидных полимерных щеток на планарной поверхности, синтезированных методом grafting through

(графтинг через поверхность) с регуляцией толщины и плотности упаковки за счет варьирования температуры синтеза [6]. Рассмотрена масштабируемость синтеза полимерных щеток на кристаллы Si и SiO<sub>2</sub> с большой площадью поверхности (5 × 9 см). Для проведения полимеризации на таких кристаллах в герметичных условиях при постоянной температуре была спроектирована и создана специальная ячейка. Проведен анализ химической структуры полимерных щеток полиакриламида, синтезируемых при разных температурах (диапазон 30–60 °С), посредством XPS и ИК-спектроскопии. Проведено сравнение структуры химически-привитых щеток (метод графтинга через поверхность) и физически-адсорбированных пленок (спин-коутинг) полиакриламида методами рефлектометрии и ИК-спектроскопии. Было обнаружено сильное взаимодействие между цепями полимера в щетке, в отличие от плотного слоя полиакриламида. Методом рентгеновской рефлектометрии проведен анализ равномерности толщины (~ 20 нм) щетки по поверхности. Относительно высокая плотность и простота метода grafting through делают его перспективным для разработки специальных покрытий как в индустриальных (антибактериальные покрытия на производствах), так и в научно-исследовательских приложениях, в частности, для микроскопии отдельных молекул, где требуются плотные и химически инертные полимерные щетки. Также метод легко масштабируется на большие подложки из-за его устойчивости к внешним условиям и более низкой стоимости по сравнению с другими способами прививок полимеров к поверхности.

## Атомная и молекулярная динамика

В группе HEPA реализован синтез нового соединения из ряда структурных аналогов тиронаминов — 4-[4-(2-аминоэтоксид)бензил]анилина [7]. Структура полученного тиронамина подтверждена методами ЯМР-, ИК- и рамановской спектроскопии. В приближении DFT (B3LYP/6-31G(d,p) уровень теории) исследована внутримолекулярная динамика 4-[4-(2-аминоэтоксид)бензил]анилина (ТАМ) с учетом неспецифической сольватации диметилсульфоксидом (ДМСО), выполнены оптимизация молекулярной геометрии и расчет параметров электронного строения протонированных форм ТАМ. Для наиболее стабильного конформера исследуемого тиронамина исследованы ассоциативные взаимодействия с диметилсульфоксидом. Для сольватов 4-[4-(2-аминоэтоксид)бензил]анилина с одной и двумя молекулами ДМСО выполнен расчет констант магнитного экранирования и оценка химических сдвигов ядер <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C. Исследовано влияние ТАМ на основные показатели перекисного окисления липидов в модели острой ишемии головного мозга. Установлено, что исследуемый

синтетический аналог тиронамина ТАМ обладает значительным потенциалом в отношении активации механизмов антиоксидантной защиты в коре головного мозга белых лабораторных крыс в условиях острой полушарной ишемии.

## Прикладные работы

Дисперсно-упрочненные оксидами (ДУО, ODS — Oxide Dispersion-Strengthened) сплавы и стали являются одними из наиболее перспективных наноструктурированных конструкционных материалов с обширным кругом технологических применений. Нанооксидные включения, диспергированные в металлических матрицах, позволяют достигнуть значительно более высокой жаропрочности, сопротивления ползучести при высоких температурах, а также радиационной стойкости. Поэтому ДУО-сплавы широко используются в технологиях изготовления турбин и в ядерной энергетике, в частности, в качестве конструкционных материалов для современных атомных электростанций, реакторов на быстрых нейтронах, будущих термоядерных реакторов и т. д. Особые свойства ODS-сплавов значительно определяются структурными характеристиками нановключений. Проведено комплексное структурное исследование ДУО-сталей марок Eurofer и 13,5Cr-Fe<sub>3</sub>Y, разработанных в Технологическом институте Карлсруэ (KIT, Германия), и стали марки KP-4 gen1 из Киотского университета (Япония), с помощью методов МУРН, ПЭМ и АЗТ [8]. Стали были изготовлены путем механического легирования металлических порошков и порошков оксидов и представляли собой ферритно-мартенситные стали и ферромагнитные материалы. Согласно результатам ПЭМ средний размер мелких оксидных частиц составил (6 ± 2) нм в Eurofer, (5 ± 2) нм в KP-4 и (6 ± 1) нм в 13,5Cr-Fe<sub>3</sub>Y. Плотность числа частиц составила (4 ± 1) · 10<sup>22</sup> м<sup>-3</sup> для Eurofer, (2 ± 1) · 10<sup>22</sup> м<sup>-3</sup> для KP-4 и (0,8 ± 0,2) · 10<sup>22</sup> м<sup>-3</sup> для 13,5Cr-Fe<sub>3</sub>Y.

Исследования методом МУРН образцов ДУО-сталей проводились на установках YS-SANS («Yellow Submarine», реактор BNC, Будапешт, Венгрия) и SANS (импульсный источник CSNS, Дунгуань, КНР), в последнем случае также использовалось внешнее магнитное поле 1,1 Тл, перпендикулярное падающему нейтронному пучку. Для обработки измеренных кривых МУРН применялась модель сферических частиц с логнормальным распределением этих частиц по размеру. В расчетной модели предполагались два типа частиц и были рассчитаны значения контрастности  $\Delta\rho_{ox}$  для оксидов и  $\Delta\rho_{cl}$  для кластеров.

Данные, полученные в результате комплексного анализа морфологии ДУО-сталей, позволили оценить вклады различных включений в упрочнение материала. Для оценки предела текучести использовалась модель упрочнения

дисперсным барьером. Для выявления особенностей различных моделей материалов при анализе кривых МУРН расчетные значения твердости сравнивались с экспериментальными данными по микроиндентированию сталей Eurofer, 13,5Cr-Fe<sub>3</sub>Y и KP-4. Для всех трех сталей наилучший результат по расчетной твердости продемонстрировала модель с двумя типами включений (оксиды или кластеры), использующая данные МУРН без внешнего магнитного поля. Одной из причин этого может быть то, что приложенное поле не позволило достичь насыщения в намагниченности сталей. Таким образом, настоящее исследование показало, что использование МУРН в сочетании с ПЭМ и АЗТ приводит к лучшему соответствию между твердостью, рассчитанной на основе морфологии, полученной в экспериментах по рассеянию, и экспериментальными значениями твердости.

Методом дифракции нейтронов на установке SKAT изучена глобальная кристаллографическая текстура кальцита и арагонита в раковинах глубоководного гидротермального вида *Bathymodiolus thermophilus*, принадлежащего семейству Mytilidae. Проведено сравнение с измеренной ранее глобальной кристаллографической текстурой кальцита и арагонита в раковинах двустворчатых моллюсков *Mytilus galloprovincialis*, *M. edulis* и *M. trossulus*, также принадлежащих семейству Mytilidae. Выявлено, что у исследованных видов рисунок изолиний на полюсных фигурах обоих минералов совпадает. У глубоководного гидротермального вида *B. thermophilus* острота кристаллографической текстуры полюсных фигур для кальцита ({0006} и {10-14}) и арагонита ({012}/ {121} и {040}/ {221}) совпадает или имеет близкие значения с теми же характеристиками изученных мелководных видов рода *Mytilus*. Сделаны выводы о том, что глобальная кристаллографическая текстура является устойчивым признаком в пределах семейства Mytilidae. Экстремальные

условия обитания гидротермального биотопа не оказывают существенного влияния на кристаллографическую текстуру *B. thermophilus* [9].

Гончарные изделия и фрагменты керамики являются ценными археологическими объектами, которые отражают эволюцию различных культурных или этнических групп в определенных исторических периоды. Довольно большое количество керамических фрагментов, а также высокая транспортная мобильность при перемещении гончарных изделий по сухопутным или морским торговым путям определяют проблему выявления и локализации места производства керамических изделий. На примере образцов древней керамики из раскопок в регионе Добруджа (Румыния) были проведены систематические исследования керамических фрагментов методами нейтронной томографии, дифракции и рамановской спектроскопии [10]. Высокая проникающая способность и характер взаимодействия нейтронов с веществом позволили определить фазовый состав фрагментов керамики, а также пространственное распределение некоторых фаз внутри объемов этих археологических объектов. Структурные данные, полученные с помощью нейтронных методов, послужили основой для систематизации и группового анализа образцов древней византийской керамики. Это дает возможность делать предположения как об источниках сырья, так и о местоположении гончарных мастерских. Результаты исследований показывают, что не только фазовый состав керамических фрагментов может указывать на источник сырья, но и некоторые структурные особенности, наблюдаемые с помощью нейтронной томографии, могут служить необходимыми структурными маркерами для предположений о месте изготовления керамики или химических процессах, происходящих при отжиге гончарных изделий.

## ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД И ПРОЕКТ «НАНОБИОФОТОНИКА»

Проект «Нанобиофотоника» разработан для реализации в рамках новой темы «Оптические методы исследований конденсированных сред». Он представляет собой междисциплинарный исследовательский проект на стыке таких научных направлений, как колебательная (рамановская) спектроскопия и микроскопия, нанофотоника, фотобиология, флуоресцентная микроскопия, и нанобиотехнологии в целом.

### Низкоразмерные материалы: графен и дисульфид молибдена

Интерес к двумерным (2D) полупроводникам во многом обусловлен успешной миниатюризацией электронных устройств на основе Si для

повышения плотности сборки, скорости работы микросхем и снижения рассеиваемой мощности. Однако этот длительный процесс миниатюризации, расширяющий существующие системы материалов, приближается к физическому пределу их функционирования. Графен с его уникальными свойствами вызвал значительный интерес к двумерным полупроводникам и их потенциальному использованию в электронике и механических системах. Благодаря нулевому зазору между валентной зоной и зоной проводимости графен поглощает свет в широком диапазоне электромагнитного спектра, т.е. в дальней инфракрасной (FIR), средней инфракрасной (MIR), ближней инфракрасной (NIR), видимой и ультрафиолетовой (UV) областях.

Объемный MoS<sub>2</sub> — это полупроводник с не-прямой зоной ~ 1,2 эВ, поэтому он представля-ет ограниченный интерес для оптоэлектронной промышленности. Отдельные слои MoS<sub>2</sub> обла-дают радикально иными свойствами по сравне-нию с основной массой. Устранение межслойных взаимодействий и ограничение электронов в од-ной плоскости приводит к образованию прямой зоны с повышенной энергией ~ 1,89 эВ (видимый красный цвет). Один монослой MoS<sub>2</sub> может по-глощать 10 % падающего света с энергией выше зоны проводимости. По сравнению с объемным кристаллом наблюдается 1000-кратное увеличе-ние интенсивности фотolumинесценции, но она остается относительно слабой — квантовый вы-ход фотolumинесценции составляет около 0,4 %. Однако его можно значительно увеличить (бо-лее чем до 95 %), удалив дефекты, ответственные за радиационную рекомбинацию.

### Рамановский спектр графена

Основные рамановские полосы, относя-щиеся к процессам однофононного рассеяния, обозначены как G (~ 1580 см<sup>-1</sup>), D (~ 1350 см<sup>-1</sup>) и D' (~ 1620 см<sup>-1</sup>). Эти полосы сопровождаются полосами, относящимися к соответствующим двухфононным процессам, 2D (~ 2680 см<sup>-1</sup>), 2D' (~ 3250 см<sup>-1</sup>), и некоторыми составными по-лосами, D + D' (~ 1580 см<sup>-1</sup>) и D + D'' (~ 2450 см<sup>-1</sup>). Благодаря множеству четко выраженных рама-новских пиков графена его можно использовать в качестве отпечатка пальца, и по любой ано-малии в положении или интенсивности полосы можно извлечь много информации.

### Идентификация первичных фотоакцепторов фотоиндуцированного нетоза

Чтобы вызвать фотобиологический эффект, любое излучение должно быть поглощено моле-кулой функционального хромофора/фотоакцеп-тора, находящегося в какой-либо ключевой струк-туре клетки, способной влиять на ее активность и гомеостаз. Окислительно-восстановительные цепочки (redox chains) являются примером та-кой ключевой структуры. В нейтрофильных гра-нулоцитах в качестве эффективных фотоакцеп-торов и преобразователей фотосигнала можно рассматривать компоненты митохондриальной дыхательной цепи, в частности, цитохром-с-ок-сидазу, а также мембранно-связанный гетероди-мерный флавогемопротеин, известный как ци-тохром-b<sub>558</sub>, входящий в состав NADPH-оксидазы и содержащий окислительно-восстановитель-ные центры.

В экспериментах были использованы сле-дующие концентрации ингибиторов: апоци-нин — 400 мкмоль, астаксантин — 5 мкмоль, Mito-Tempo — 20 мкмоль. Селективное воздей-ствие этих ингибиторов зависит от длины волны облучения. Помимо вышеуказанных, были апроб-ированы и другие ингибиторы, такие как азид, трион, DPI и т. п. Полученные результаты указы-вают на различные сигнальные пути формиро-вания нетоза в зависимости от поглощаемого хромофора (цитохрома) в клетке. Результаты были доложены на международной конферен-ции в Узбекистане и летней молодежной школе «ОМУС-2024».

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

### Развитие детекторных систем на установках ФДВР и ДН-6

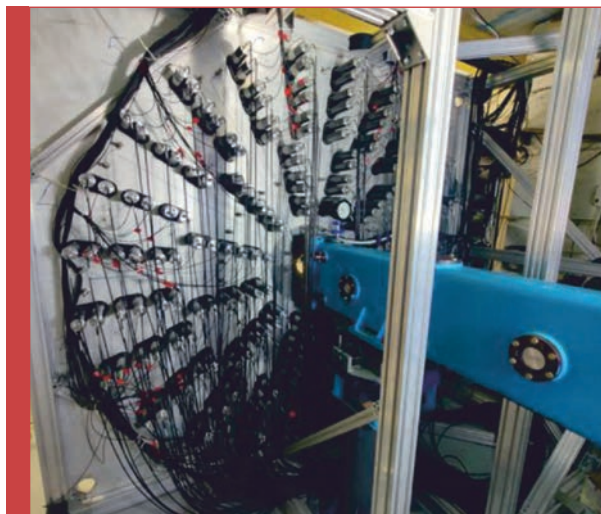
В 2024 г. были завершены работы по монтажу нового детектора обратного рассеяния на уста-новке ФДВР, начатые в 2023 г. Выполнен демон-таж старого оборудования: детекторной системы и окружения образца. Залито новое напольное покрытие, и собран каркас детектора. Смонтиро-ваны все сегменты, и установлены 216 фотоум-ножителей, предварительно протестированных в НЭОКС ИБР-2. После установки детектора смон-тирована система накопления данных, включаю-щая источники высоковольтного напряжения, предусилители и дискриминаторы с платами MPD 240 для передачи данных в управляющий компьютер. Для подключения детектора было изготовлено и смонтировано более 600 кабелей, включая кабели высокого напряжения для пита-ния фотоумножителей и кабели передачи дан-ных. В настоящее время детектор смонтирован

в расчетной позиции, производится его предва-рительная настройка: подбираются пороги дис-криминаторов и напряжения высоковольтных блоков. Дальнейшая настройка и точное позици-онирование детектора будут осуществлены при работающем реакторе.

Завершены работы по созданию и установ-ке в рабочее положение нового модуля детек-торной системы дифрактометра ДН-6 для ре-гистрации спектров нейтронной дифракции в диапазоне углов рассеяния  $2\theta = 32-54^\circ$ . Мо-дуль состоит из 15 элементов, расположенных в форме кольца, каждый элемент содержит 6 не-зависимых счетчиков <sup>3</sup>He. Использование дан-ного модуля позволит существенно улучшить светосилу установки при регистрации дифрак-ционных спектров в указанном диапазоне углов рассеяния.



Вид детектора со стороны образца: поворотная платформа для двухкоординатного ПЧД-детектора и модули окружения образца, детектор обратного рассеяния и система накопления данных



Вид детектора со стороны нейтронновода со смонтированными и подключенными фотоумножителями

### Проект нового спектрометра неупругого рассеяния в обратной геометрии ВЈН (Байорека-Яника-Натканца)

Продолжены работы по созданию нового спектрометра неупругого рассеяния в обратной геометрии. Совместно с компанией «Актограф» проводилась работа по отбору изготовленных пластин из высокоориентированного пиролиитического графита (ВОПГ). Для определения мозаичности пластин и отбора подходящих экземпляров измерялись кривые качания на нейтронном спектрометре СТОИК (НИЦ КИ, реактор ИР-8). В 2024 г. были измерены данные для 522 пластин (1044 кривых качания для двух сторон каждой пластины), планируется изготовление еще примерно 100 пластин. Выход пригодных пластин варьируется от 50 до 70 % в зависимости от партии поставки и оптимизации технологии их изготовления для получения нужных параметров. Также продолжались работы по изготовлению прототипа фокусирующего анализатора спектрометра. Он будет укомплектован одним рядом кристаллов ВОПГ без бериллиевого фильтра, так как его роль — убирать отражения высших порядков от ВОПГ — несущественна для экспериментальной оценки параметров вторичного спектрометра. Создание прототипа спектрометра позволит отработать технологию изготовления держателей пластин ВОПГ, включая прокладки из карбида бора, и их крепление с постоянным значением угла Брэгга. В настоящее время прототип фокусирующего анализатора нового спектрометра частично собран. Также закуплены нейтронные  $^3\text{He}$ -счетчики, и в настоящее время идет изготовление детекторной системы спектрометра.

### Развитие замедлителей

Ведутся перспективные разработки новых устройств и технологий для криогенных замед-

лителей, в том числе и для нового высокопоточного источника нейтронов, разрабатываемого в ЛНФ. Создан экспериментальный образец высокопроизводительной капельницы для изготовления твердых замороженных шариков по типу капель Руперта из мезитилена. На базе данного опытного образца разрабатывается промышленная установка с производительностью 1,3 л/ч со встроенной электроникой управления и контроля, а также системой подсчета и отбраковки готовых шариков на основе системы технического машинного зрения.

Перспективной разработкой в данной области является также создание установки для формирования твердых замороженных шариков из метана в специальной метановой капельнице. В настоящее время проводятся первые эксперименты по получению замороженной капли метана в жидком азоте на экспериментальной установке.

В дальнейшем экспериментальная установка будет оснащена двухступенчатым криокулером для изготовления большого количества твердых метановых шариков в жидком гелии, водороде или неоне.

### Новые установки в странах-участницах ОИЯИ

В Институте ядерной физики (Алматы, Казахстан) 12 апреля 2024 г. прошел расширенный семинар — открытие новой установки нейтронной рефлектометрии на реакторе ВВР-К, приуроченный ко Дню работников науки Казахстана. Установка нейтронной рефлектометрии создана на четвертом горизонтальном канале реактора ВВР-К и предназначена для исследования слоистых и многослойных наноструктурных материалов. Разработка и создание рефлектометра является ярким примером плодотворного меж-



Шарм-эль-Шейх (Египет), 14–18 апреля. Участники юбилейного 30-го Международного семинара по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-30)

дународного сотрудничества между ЛНФ ОИЯИ и Институтом ядерной физики Республики Казахстан. В НЭОКС ИБР-2 были разработаны и собраны основные узлы рефлектометра — платформы перемещения с шаговыми двигателями,

детекторная система с электроникой MPD16, выполнена его наладка вместе с адаптированным программным комплексом Sonix+ для управления экспериментом, а также сбора и накопления данных.

## НЕЙТРОННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

### Измерение дифференциальных сечений рассеяния нейтронов на углероде в рамках проекта «TANGRA»

В 2024 г. в проекте «TANGRA» продолжились эксперименты по исследованию реакций с нейтронами энергии 14 МэВ на ряде ядер [11]. Особое внимание было уделено неупругому рассеянию нейтронов на ядрах углерода.

Структура  $^{12}\text{C}$  важна для описания процессов звездного нуклеосинтеза. В частности, большой интерес представляет состояние Хойла — второй возбужденный уровень  $^{12}\text{C}$  с энергией 7,65 МэВ, лежащий выше порога развала этого ядра на 3  $\alpha$ -частицы. Только одно возбужденное состояние  $^{12}\text{C}$  распадается с испусканием  $\gamma$ -квантов, и поэтому для изучения свойств уровней этого ядра с более высокой энергией возбуждения необходимо регистрировать рассеянные нейтроны.

Важной задачей также является корректное модельное описание реакций, идущих на ядре  $^{12}\text{C}$ , и для ее решения востребованы данные по корреляциям  $\gamma$ -квантов и рассеянных нейтронов.

С целью исследования упругого и неупругого рассеяний нейтронов на  $^{12}\text{C}$  была создана специализированная установка, состоящая из

нейтронного генератора ИНГ-27, образца и размещенных вокруг него на расстоянии 2 м 20 пластиковых детекторов быстрых нейтронов (рис. 3).

Измерены и рассчитаны дифференциальные сечения упруго рассеянных нейтронов и неупруго рассеянных с возбуждением первого, второго, суммы третьего и четвертого, а также седьмого уровней, и проведено сравнение с нашими данными и результатами других работ. В целом все экспериментальные данные хорошо согласуются друг с другом. Результаты расчетов в TALYS демонстрируют удовлетворительное согласие с экспериментальными данными для упругого рассеяния и неупругого рассеяния с возбуждением первого состояния после оптимизации параметров оптического потенциала.

### Исследования реакций с испусканием заряженных частиц

Продолжаются работы по измерению сечения реакции  $(n, \alpha)$  на стабильных изотопах. Совместно с Пекинским университетом и Китайским институтом атомной энергии (CIAE) в Пекине провели измерения сечений реакций  $^{14}\text{N}(n, \alpha_{0,1})^{11}\text{B}$  на твердых и газовых образцах в 24 энергетических точках в области значений энергии нейтронов

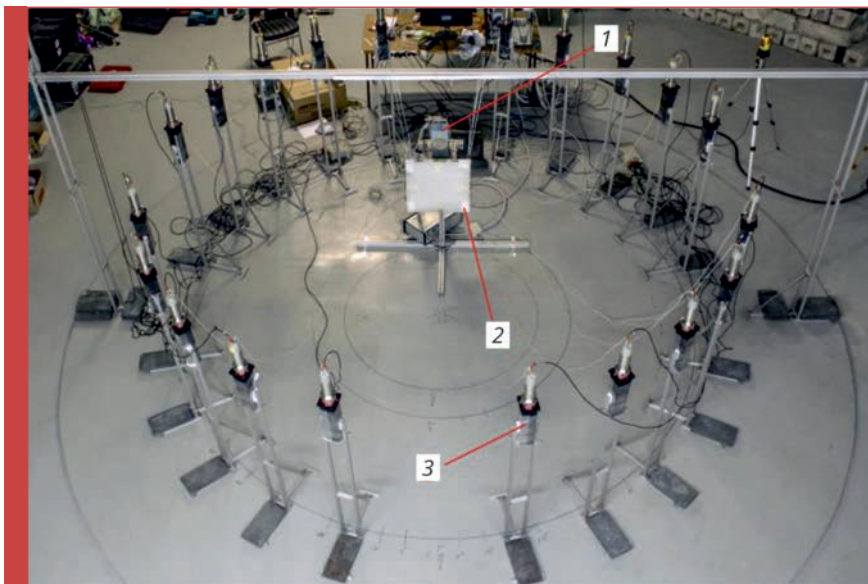


Рис. 3. Установка TANGRA для измерения углового распределения нейтронов: 1 — генератор нейтронов ИНГ-27; 2 — образец из углерода; 3 — детектор нейтронов

4,5–11,5 МэВ [12]. В качестве детектора использовалась разработанная в ЛНФ ОИЯИ ионизационная камера с сеткой. Получены сечения реакций  $^{14}\text{N}(n, \alpha_0)^{11}\text{B}$  для газовых и твердых образцов, которые совпадают друг с другом. Для системы  $n + ^{14}\text{N}$  в области энергий нейтронов ниже 30 МэВ был проведен  $R$ -матричный анализ с помощью программы RAC. Впервые была выявлена возможная «долина» в функциях возбуждения реакций  $^{14}\text{N}(n, \alpha_0)^{11}\text{B}$  в диапазоне значений энергии нейтронов 10–11 МэВ.

### Разработка концепции источника УХН на импульсном реакторе

В 2024 г. продолжена работа над концепцией источника ультрахолодных нейтронов (УХН) на импульсном реакторе. В основе концепции источника лежит идея импульсного накопления УХН в материальной ловушке, что позволит получить источник с высокой плотностью нейтронов. Для получения импульсного потока УХН предлагается замедлять очень холодные нейтроны магниторезонансным способом непосредственно перед входом в ловушку. В качестве устройства-замедлителя предполагается использовать градиентный спин-флиппер. Так как флиппер-замедлитель является одним из основных элементов планируемого источника УХН, значительная часть работы была посвящена формированию эскизного проекта этого флиппера.

В тесном сотрудничестве с компанией «СуперОкс» был разработан эскизный проект сверхпроводящей магнитной системы уникального флиппера-замедлителя, рассчитанной на поле  $B = 18$  Тл.

Для формирования высокочастотного вращающегося магнитного поля во флиппере-замедлителе предполагается использовать резонатор типа «птичья клетка». В программной среде CST studio suite создана модель резонатора и проведена оптимизация его параметров. На основе проделанной работы сформирован концептуальный дизайн резонатора.

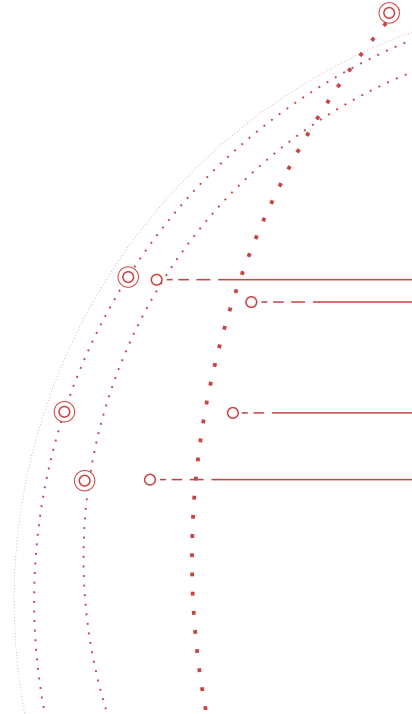
### Прикладные исследования

В 2024 г. продолжены работы по изучению объектов культурного наследия и экологических образцов. Элементный состав определяли с помощью нейтронного активационного анализа и рентгенофлуоресцентного анализа. Минеральный и молекулярный состав исследовали с помощью инфракрасной спектроскопии с фурье-преобразованием и рамановской спектроскопии. Дополнительно применяли стратиграфию, поляризационную и оптическую микроскопию, а также капельный микроанализ. Для обработки полученных данных использовали методы математической статистики. Среди объектов исследования — различные памятники древнерусской настенной живописи (пигменты, связующие и штукатурные основания), средневековые строительные материалы, различные экологические и геологические образцы.

Рентгенофлуоресцентным анализом *in situ* проверено более 600 проб: в Успенском соборе Московского Кремля, церкви Успения и церкви св. Георгия в Старой Ладoge. С помощью рамановского микроскопа снято порядка 700 спектров, с помощью ИК-спектрометра Bruker Invenio исследовано около 50 образцов.



Июнь. Экологические исследования методом нейтронного активационного анализа



Работы велись в рамках соглашений о сотрудничестве с Федеральным государственным бюджетным научно-исследовательским учреждением «Государственный институт искусствоведения», Межобластным научно-реставрационным художественным управлением, Институтом археологии Российской академии наук, Федеральным государственным бюджетным учреждением культуры «Государственный историко-культурный музей-заповедник „Московский Кремль“», Государственным бюджетным учреждением культуры Ленинградской области «Староладожский историко-архитектурный и археологический музей-заповедник», ИЯФ, Институтом геологии и геофизики Национальной академии наук Азербайджана, в рамках совместных проектов с Египтом и Вьетнамом.

Изучено загрязнение тяжелыми металлами мангровых отложений египетского побережья Красного моря. Анализ образцов отложений дает представление о геохимических свойствах мангровых отложений. В исследовании определены ключевые источники загрязнения металлами, включая промышленные сбросы, сельскохозяйственные и городские стоки. Для отслеживания происхождения загрязняющих веществ были рассчитаны индексы загрязнения. Полученные данные свидетельствуют о значительном воздействии тяжелых металлов на несколько местных участков мангровых отложений, что может привести к риску биоаккумуляции морских организмов. Результаты исследования могут служить инструментом для управления и снижения антропогенного воздействия на среду мангровых зарослей, а также для мониторинга и прогнозирования возможных будущих изменений [13].

В рамках международной программы «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе — оценки на основе анализа мхов-биоиндикаторов» завершены работы по оценке уровня загрязнения воздуха в Грузии, Казахстане, Сер-

бии, Северной Македонии и России (в Тверской и Рязанской областях, Республике Якутии и в городе Перми). В частности, в Перми для оценки уровня загрязнения воздуха был использован метод пассивного биомониторинга. С помощью прямого анализатора ртути и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой были определены концентрации 15 элементов в 87 образцах мха *Pleurozium schreberi* [14]. Согласно результатам факторного анализа основными источниками выбросов потенциально токсичных элементов в городе являются транспорт (автомобильный и железнодорожный), металлургическая и химическая промышленность. Уровень загрязнения воздуха в Перми варьируется от незагрязненного до сильно загрязненного с умеренным экологическим риском.

Метод активного биомониторинга был применен на Камчатке для оценки влияния вулкана Шивелуч на качество воздуха. Мешочки со мхами были экспонированы в населенных пунктах, расположенных на разном расстоянии от вулкана и подверженных пеплопадам разной интенсивности. За исключением Cd, содержание элементов в экспонированных образцах мха увеличилось по сравнению с неэкспонированными, будучи выше в образцах, экспонированных в населенных пунктах, расположенных близко к вулкану. Мхи, экспонированные вблизи вулкана, накапливали в основном Al, Fe, Cu, Co, Cr и V и показали отрицательную корреляцию по отношению к расстоянию. Была обнаружена положительная корреляция между расстоянием от вулкана и содержанием Pb в образцах. Согласно корреляционному анализу основными источниками элементов в образцах мха, экспонированных в исследованных населенных пунктах, можно считать осаждение вулканического пепла, частицы почвы и транспортную активность [15].

## БАЗОВАЯ УСТАНОВКА ИБР-2

В 2024 г. исследовательская ядерная установка (ИЯУ) ИБР-2 эксплуатировалась в режиме временного останова. В апреле ОИЯИ получена лицензия Ростехнадзора на право эксплуатации исследовательской ядерной установки ИБР-2 с ограничением по работе на мощности до устранения замечаний экспертизы лицензионного комплекта документации. После получения лицензии были проведены работы по замене воздушных теплообменников системы охлаждения реактора. В июне в Ростехнадзор направлено заявление о внесении изменений в условия действия лицензии в связи с устранением заме-

чаний экспертного заключения с целью получения разрешения на пуск и работу реактора на мощности. 24 декабря получено Изменение № 1 условий действия лицензии, в соответствии с которым разрешается эксплуатация ИЯУ ИБР-2 на мощности.

В период с мая по декабрь специализированной организацией совместно с персоналом ИБР-2 проведены работы по замене ВТО: воздушные теплообменники установлены на штатное место, проведены испытания и пусконаладочные работы. ВТО петли А и петли Б введены в штатную эксплуатацию в полном объеме.

## НОВЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ

По развитию проекта нового перспективного источника нейтронов в ОИЯИ главной задачей являлось теоретическое описание процессов, приводящих к колебаниям энергии импульсов, а также изучение механизмов формирования мощностной обратной связи при помощи математической модели пульсирующих реакторов.

Несмотря на то, что к настоящему времени для пульсирующих реакторов ИБР-2 и ИБР-2М границы допустимых колебаний энергии импульсов определены экспериментально, любая другая компоновка активной зоны нового реактора большей мощности и интенсивности потребует обоснования его ядерной безопасности, в том числе с использованием модели динамики пульсирующего реактора.

За последнее время намечен существенный прогресс в разработке математической модели динамики реактора в приближении короткого импульса и низкого фона, которая направлена на решение следующих задач, связанных с неустойчивостью пульсирующих реакторов:

- изучение причин появления неустойчивости;
- определение параметров устойчивой работы;
- разработка оптимальной конструкции активной зоны;
- проверка теоретических подходов к изучению динамики.

Данная модель представляет собой компьютерную программу, имеющую модульную структуру и позволяющую моделировать динамику пульсирующего реактора с использованием ос-



3–4 июня. Этап региональной школы Росатома и МАГАТЭ по исследовательским реакторам



3–5 декабря. Участники 6-й конференции молодых ученых и специалистов лаборатории

новых параметров (частота пульсаций, средняя мощность реактора, время затухания поперечных колебаний твэлов, их отличие по массе, параметры поперечной и тепловой реактивности, параметры импульсной переходной характеристики в модели мощностной обратной связи и т. п.), граничных условий и методики расчета.

Задание граничных условий подразумевает выбор способа закрепления отдельного твэла (или ТВС), после чего программа использует тот или иной набор собственных значений и функций при расчете уравнений движения. Задание метода расчета подразумевает выбор способа расчета реактивности  $\rho$  в очередном импульсе мощности.

Основной цикл программы — это замкнутый цикл, в ходе которого по предыдущим значениям энергии импульсов рассчитывается энергия очередного импульса  $Q_i$ . Центральным модулем здесь является блок кинетики, в котором по известной реактивности, энергии предыдущих импульсов и скорости модулятора (параметр  $\nu$ )

решаются уравнения нейтронной кинетики, вычисляются источники запаздывающих нейтронов и энергия очередного импульса.

Величина реактивности, которая поступает на вход блока кинетики, вычисляется как сумма величин реактивностей, каждая из которых соответствует фактору (физическому процессу), определяющему реактивность реактора: автоматическому регулятору, внешнему возмущению, тепловому расширению, термоупругости (поперечным деформациям), влиянию теплоносителя — и блоку программы. Три последних фактора соответствуют обратным связям.

Расчеты с использованием данной модели позволяют сделать вывод о том, что превышение пределов устойчивости пульсирующего реактора может быть вызвано тремя факторами: температурным расширением топлива, динамическим изгибом твэлов или изгибом ТВС в импульсе и распуханием верхней части активной зоны реактора (рис. 4, а). В результате предложены следующие способы снижения колебатель-

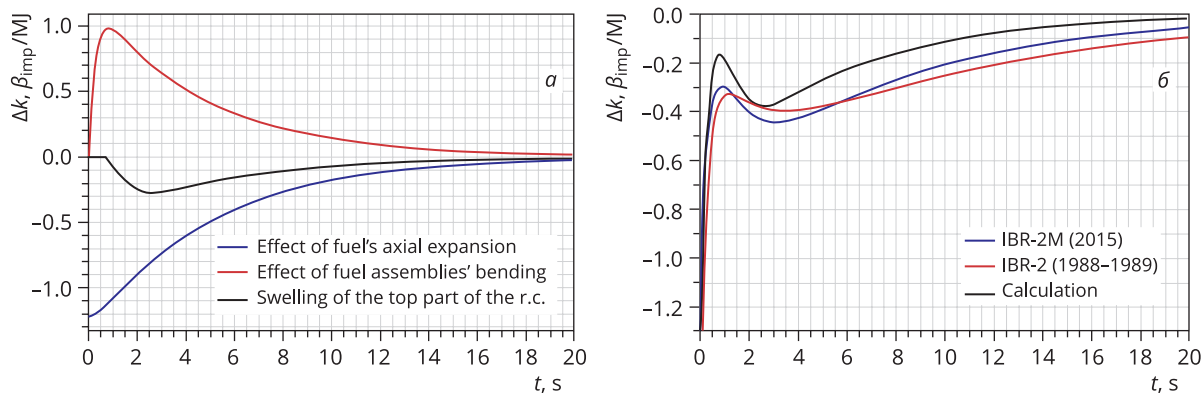


Рис. 4. Функции импульсной характеристики мощностной обратной связи: а) теоретический ход трех составляющих импульсной характеристики мощностной обратной связи реактора ИБР-2М; б) теоретический ход суммарной импульсной характеристики обратной связи по мощности и ее сравнение с экспериментальными данными для реакторов ИБР-2 и ИБР-2М

ной неустойчивости пульсирующих реакторов: фиксация границы области стохастической неустойчивости с целью выбора оптимальной частоты и мощности реактора, выбор оптимальной конструкции активной зоны исходя из значения собственных частот поперечных колебаний и частоты реактора, определение величины трения поперечных колебаний, использование твэлов (ТВС) разной массы или жесткости.

Учет эффектов движения теплоносителя, конструкции ТВС и точного распределения температуры в активной зоне в будущем позволит

предложить и иные методы повышения стабильности реактора. Кроме того, наличие в программе блока мощностной обратной связи МОС, а также анализ результатов расчетов в виде импульсной характеристики мощностной обратной связи расширяет возможности изучения динамики пульсирующих реакторов. Это позволяет проводить сравнительные расчеты по разным моделям, в том числе с использованием многочисленных результатов исследований динамики реакторов ИБР-2/ИБР-2М (рис. 4, б).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kozlenko D. P., Lis O. N., Dang N. T., Coak M., Park J.-G., Lukin E. V., Kichanov S. E., Golosova N. O., Zel' I. Yu., Savenko B. N. High-Pressure Effects on Structural, Magnetic and Vibrational Properties of van der Waals Antiferromagnet  $MnPS_3$  // *Phys. Rev. Mater.* 2024. V. 8. 024402.
2. Asadov A. G., Kozlenko D. P., Mammadov A., Mehdiyeva R., Kichanov S. E., Lukin E. V. The Structural Mechanisms of Pressure-Induced Phase Transitions in The Carpy-Galy Phase Layered Perovskites // *Solid State Sci.* 2024. V. 156. 107676.
3. Balagurov A. M., Bobrikov I. A., Chernyshov D. Yu., Sohatsky A. S., Sumnikov S. V., Yerzhanov B., Golovin I. S. Tetragonal Phases in Fe-Ga Alloys: A Quantitative Study // *Phys. Rev. Mater.* 2024. V. 8. 073604.
4. Kurakin S., Ermakova E., Ivankov O., Efimov S., Dushanov E., Mukhametzyanov T., Murugova T., Smerdova S., Klochkov V., Kuklin A., Kučerka N. Calcium Ions Do Not Influence the  $A\beta(25-35)$  Triggered Morphological Changes of Lipid Membranes // *Biophys. Chem.* 2024. V. 313. 107292.
5. Mamatkulov K., Zavatski S., Arynbeq Y., Esawii H.A., Burko A., Bandarenka H., Arzumanyan G. Conformational Analysis of Lipid Membrane Mimetics Modified with  $A\beta42$  Peptide by Raman Spectroscopy and Computer Simulations // *J. Biomolec. Structure Dynamics.* 2024; <https://doi.org/10.1080/07391102.2024.2330706> (Microspectrometer "CARS").
6. Avdeev M. M., Shibaev A. V., Maslakov K. I., Dvoryak S. V., Lokshin B. V., Gorshkova Yu. E., Tropin T. V., Philippova O. E. Polymer Brushes Synthesized by "Grafting Through" Approach: Characterization and Scaling Analysis // *Langmuir.* 2024. V. 40(45). 23918-23929.
7. Filimonov D. A., Eresko A. B., Raksha E. V., Trubnikova N. N., Ischenko R. V., Tereschenko D. A., Kisilenko I. A., Nosova N. N. Antioxidant Effects of the Synthetic Thyronamine Analogue in Experimental Cerebral Ischemia // *Extreme Med.* 2024. V. 1. P. 57-63.
8. Rogozhkin S. V., Klauz A. V., Yubin Ke, Almásy L., Nikitin A. A., Khomich A. A., Bogachev A. A., Gorshkova Yu. E., Bokuchava G. D., Kopitsa G. P., Liying Sun. Study of Precipitates in Oxide Dispersion Strengthened Steels by SANS, TEM, and APT // *Nanomaterials.* 2024. V. 14, No. 2. P. 194.
9. Pakhnevich A., Nikolayev D., Lychagina T. Comparison of the Global Crystallographic Texture of Minerals In The Shells of *Bathymodiolus thermophilus*. Kenk et B. R. Wilson, 1985 and Species of the Genus *Mytilus* Linnaeus, 1758 // *J. Struct. Biol.* 2024. V. 216, No. 4. 108126.
10. Zhomartova A. Z., Abdurakhimov B. A., Talmaçhi C., Kichanov S. E., Kozlenko D. P., Bălăşoiu M., Şova K., Talmaçhi G., Belc M. C. The Systematic Structural Studies of Some Byzantine Ceramic Fragments from Dobrudja Region of Romania: Raman Spectroscopy, Neutron Diffraction, and Imaging Data // *Archaeometry.* 2024. V. 66. P. 787-802.
11. Kopach Yu. N., Sapozhnikov M. G. Applications of the Tagged Neutron Method for Fundamental and Applied Research // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 1. P. 55-102.
12. Hu Y., Gledenov Yu. M., Cui Z., Liu J., Bai H., Xia C., Chen Z., Wu Z., Ren W., Cao W., Fan T., Zhang G., Sansarbayar E., Khuukhenkhuu G., Krupa L., Chuprakov I., Fan Q., Ruan X., Huang H., Ren J., Gao Y., Yang X. Cross Section Measurement for the  $^{14}N(n, \alpha_0, 1)^{11}B$  Reactions in the 4.5-11.5 MeV Neutron Energy Region // *Eur. Phys. J. A.* 2024. V. 60. P. 51
13. Badawy W. M., Dmitriev A. Yu., El Samman H., El-Taher A., Blokhin M. G., Rammah Y. S., Madkour H. A., Salama S., Budnitskiy S. Yu. Elemental Composition and Metal Pollution in Egyptian Red Sea Mangrove Sediments: Characterization and Origin // *Marine Pollut. Bull.* 2024. V. 198. P. 115830; <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115830>.
14. Gatina E., Zinicovscaia I., Yushin N., Chaligava O., Frontasyeva M., Sharipova A. Assessment of the Atmospheric Deposition of Potentially Toxic Elements Using Moss *Pleurozium Schreberi* in an Urban Area: The Perm (Perm Region, Russia) Case Study // *Plants.* 2024. V. 13, Iss. 17. P. 2353; doi: 10.3390/plants13172353.
15. Zinicovscaia I., Chernyagina O., Chaligava O., Yushin N., Devyatova E., Grozdov D. Moss Biomonitoring in Areas Affected by Ashfalls of Shiveluch Volcano (Kamchatka) // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2024. V. 31. P. 61730; <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35383-3>.

# ЛАБОРАТОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ им. М. Г. МЕЩЕРЯКОВА

Деятельность Лаборатории информационных технологий им. М. Г. Мещерякова в 2024 г. была сосредоточена на обеспечении надежного функционирования и развития сетевой и информационно-вычислительной инфраструктуры в рамках крупного инфраструктурного проекта 06-6-1118-2014/2030 «Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс (МИВК)», а также развитии математического и программного обеспечения (ПО) научно-производственной деятельности Института и государств-членов ОИЯИ (тема 06-6-1119-2014 «Методы, алгоритмы и программное обеспечение для моделирования

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

В 2024 г. сотрудниками ЛИТ опубликовано свыше 200 научных работ, 4 монографии, более 100 статей в рамках международных коллабораций, представлено более 150 докладов на международных и российских конференциях.

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ОИЯИ

Развитие научных исследований в ОИЯИ определяет требования к вычислительной инфраструктуре. Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс является ключевым звеном этой инфраструктуры и играет определяющую роль в научных исследованиях, для проведения которых требуются современные вычислительные мощности и системы хранения данных. МИВК рассматривается как крупный инфраструктурный проект, представляющий собой совокупность аппаратно-программных комплексов, систем и подсистем, к которым относятся: грид-центры обработки данных уровня Tier-1 и Tier-2, облачная инфраструктура, платформа HybriLIT и суперкомпьютер (СК) «Говорун», хранилище данных, система передачи данных, сетевая инфраструктура, инженерная инфраструктура и система мониторинга. Для достижения главных целей ведущих проектов ОИЯИ необходимо обеспечивать высокую производительность, надежность и доступность в режиме 24 × 7 × 365 всех компонентов МИВК.

В 2024 г. были продолжены работы по модернизации и наращиванию производительности гиперконвергентного СК «Говорун», систем распределенных вычислений и хранения данных на основе грид-технологий, облачных вычислений. Эти работы базировались на надежных инженерных компонентах и современной сетевой

инфраструктуре с пропускной способностью до 4 × 100 Гбит/с.

Грид-сайт Tier-1 для эксперимента CMS на LHC продолжил занимать лидирующее место среди семи аналогичных мировых сайтов. Tier-2/ЦИВК обеспечивал обработку и анализ данных всех экспериментов на LHC, NICA и других крупномасштабных экспериментов, а также поддержку пользователей лабораторий ОИЯИ и стран-участниц. Облачная среда ОИЯИ и стран-участниц использовалась главным образом для вычислений в рамках нейтринной программы ОИЯИ.

### Сетевая инфраструктура ОИЯИ

Развитие информационных технологий и проекта МИВК напрямую связано с дальнейшим развитием сетевой инфраструктуры ОИЯИ, без которой немыслимо создание распределенных систем обработки и хранения данных в рамках научно-исследовательской программы ОИЯИ. Сетевая инфраструктура в рамках проекта МИВК обеспечивает внешние телекоммуникационные каналы связи, связь между пользователями МИВК через локальную сеть ОИЯИ, связь и обмен данными через локальную сеть МИВК. Сетевая инфраструктура — это сложный комплекс многофункционального сетевого оборудования и специализированного ПО, который является



2 апреля. Научная секция международной конференции «Математика в созвездии наук»

фундаментом для созданной и продолжающей постоянно развиваться информационно-вычислительной инфраструктуры ОИЯИ. Она состоит из следующих функциональных частей: внешнего оптического телекоммуникационного канала передачи данных, опорной магистрали локальной компьютерной сети ОИЯИ, локальных компьютерных сетей подразделений Института и локальной сети МИВК.

В 2024 г. обеспечено функционирование телекоммуникационных каналов связи ОИЯИ. В первую очередь это надежная работа резервированного канала до Москвы с пропускной способностью  $4 \times 100$  Гбит/с. Для работы грид-сайта уровня Tier-1 необходимо быть полноценным участником сети LHCOPN для связи с Tier-0 (ЦЕРН) и другими сайтами Tier-1. Эту связь обеспечивают прямой канал связи ОИЯИ–ЦЕРН 100 Гбит/с и резервный канал 100 Гбит/с, проходящий через Москву и Амстердам. Связность Tier-2 ОИЯИ обеспечена внешней наложенной сетью LHCONE, предназначенной для грид-сайтов второго уровня. Национальная исследовательская компьютерная сеть (НИКС) России, созданная в результате интеграции федеральной университетской компьютерной сети RUNNet (Russian UNiversity Network) и сети организаций Российской академии наук RASNet (Russian Academy of Science Network), обеспечивает связь с научными и образовательными организациями РФ, интеграцию с отдельными зарубежными научно-об-

разовательными сетями (National Research and Education Networks, NREN) и с Интернетом.

Распределение входящего (превышающего 25 ТБ) и исходящего трафика по подразделениям в 2024 г. приведено в табл. 1.

Таблица 1

Подразделение	Входящий трафик, ТБ	Исходящий трафик, ТБ
ЛИТ	1240,0	227,1
ГРК	502,25	90,35
ЛФВЭ	465,3	228,01
ЛЯП	292,28	130,73
ЛНФ	177,07	69,03
ЛЯР	176,82	36,16
Университет «Дубна»	163,33	44,18
Управление	127,81	76,6
Серверы общего доступа	106,57	97,64
Узел удаленного доступа	88,4	12,57
МСЧ-9	63,81	11
УНЦ	60,39	12,23
ЛТФ	38,66	24,67
УСИ	35,04	6,38
ЛРБ	30,65	2,85
ОГЭ	26,65	1,96

Общий входящий трафик ОИЯИ, включая серверы общего назначения, Tier-1, Tier-2, суперкомпьютер «Говорун» и облачные вычисления,

составил в 2024 г. 42,53 ПБ, общий исходящий — 20,62 ПБ. Трафик с научно-образовательными сетями является основным и составляет 94,05 % от общего.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) базируется на магистральной опорной сети ОИЯИ с пропускной способностью 2 × 100 Гбит/с и распределенной многоузловой кластерной сети между площадками ЛЯП и ЛФВЭ (4 × 100 Гбит/с) для обеспечения надежной передачи физических данных, полученных от основных узлов вычислительного оборудования комплекса НИСА, для их обработки и анализа на компонентах МИВК.

За год почтовой службой обработано 4 млн входящих сообщений и 850 тыс. исходящих. Среднее время обработки сообщения составляет 3 с.

В 2024 г. обработано более 1700 заявок пользователей ОИЯИ, касающихся работы сети и сервисов. Настроено/проверено/установлено более 140 единиц различного оборудования. Выявлено и обработано порядка 70 инцидентов с нарушением сетевой безопасности, около 130 случаев нарушения авторских прав.

ЛВС ОИЯИ содержит 13496 сетевых элементов, 22 538 IP-адресов ipv4, 1422 IP-адреса ipv6, 5718 пользователей (из них 5586 сотрудников ОИЯИ), 4773 адреса электронной почты @jinr.ru, 1153 пользователя электронных библиотек, 899 пользователей сервиса удаленного доступа и 147 пользователей сервиса EDUROAM. В процедуры регистрации добавлена поддержка новых категорий пользователей — ассоциированного персонала и студентов.

## Инженерная инфраструктура МИВК

В 2024 г. продолжены работы по замене и совершенствованию инженерной инфраструктуры МИВК [1], предназначенной для обеспечения надежной, бесперебойной и отказоустойчивой работы информационно-вычислительных систем и ресурсов хранения данных.

В МИВК на протяжении года выполнялись работы по установке новых серверов: 12 × Asus, 2 × Huawei, 30 × СИЛА – CP2-1627, 6 × СИЛА – CP1-1626 и 2 сетевых коммутаторов СИЛА СК3-630A-32Q. В рамках развития дискового хранилища облачного компонента МИВК (для эксперимента JUNO) установлено 8 × ASUS – RS720-E10-RS12.

В 2024 г. были проведены важные работы по модернизации системы электропитания в модулях МИВК. Осуществлен переход на бесперебойное трехфазное питание в модулях Tier-2. Установлены и введены в эксплуатацию шкафы чистого питания от ИБП Galaxy 7000. В связи с тем, что стандартное оборудование не подходит под задачи МИВК ввиду типоразмера и мощности, осуществлены разработка, сборка, монтаж и подключение специальных модулей распределения питания. Также разработаны и собраны специальные горизонтальные устройства для распределения питания в стойках.

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

В 2024 г. продолжалось успешное функционирование грид-сайтов ОИЯИ. Оба грид-сайта обеспечивали как обработку и анализ данных в рамках участия ОИЯИ в проектах ЛНС в ЦЕРН, так и решение задач по моделированию, обра-



Модули распределения питания (PDM), разработанные в ЛИТ и установленные в МИВК

ботке и хранению данных экспериментов VM@N, MPD и SPD на ускорительном комплексе NICA.

Инфраструктура и сервисы сайтов Tier-1 (JINR-T1) и Tier-2 (JINR-LCG2) обеспечивают вычисления, хранение данных, сервис поддержки грид, передачу данных, системы управления распределенными вычислениями, информационные службы (мониторинг, информационные сайты).

Одной из основных функций сайта Tier-1 является получение и ответственное хранение уникальных данных эксперимента CMS, переданных от сайта Tier-0 в ЦЕРН. Кроме того, сайт обеспечивает последовательную и непрерывную обработку данных, их повторную обработку с использованием нового ПО или новых констант калибровки и предоставление доступа к различным наборам данных сайтам уровня Tier-1 и Tier-2, задействованным в обработке данных эксперимента CMS, и т. д. Для комплекса NICA на грид-сайтах выполняются задачи моделирования для экспериментов MPD и SPD. В эксперименте VM@N возможно проводить полную обработку экспериментальных данных с использованием грид-инфраструктуры ОИЯИ.

Для организации вычислений в грид-среде используются Advanced Resource Connector (ARC) — промежуточное ПО для грид-вычислений и менеджер рабочей нагрузки Slurm.

В 2024 г. осуществлялась постоянная поддержка сервисов нижнего уровня, которые важны для надежного функционирования как грид-сайтов, так и всего МИВК в целом. Следует отметить, что без бесперебойной работы этих сервисов рабо-

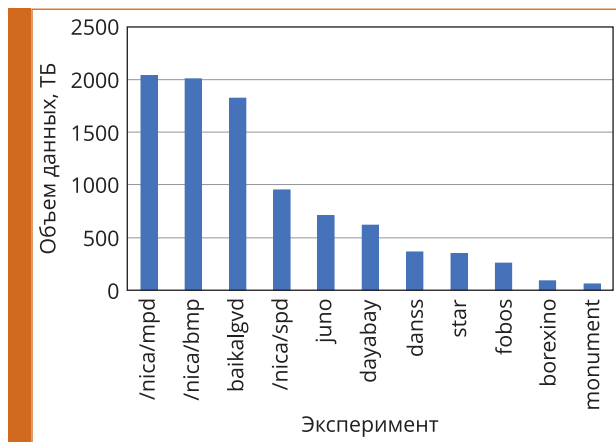
та МИВК и ИТ-инфраструктуры ОИЯИ невозможна в принципе. К ним относятся: DNS и IPDB — сервисы регистрации и разрешения адресов и имен сетевых элементов, сервис синхронизации времени на всех машинах ОИЯИ, Kerberos и LDAP — сервисы регистрации пользователей ИТ-инфраструктуры и аутентификации и авторизации пользователей (в частности и сервис SSO), AFS — распределенная файловая система, хранилище домашних директорий пользователей, CVMFS и GIT — системы распределенного доступа и организации версий ПО коллабораций и групп пользователей, EOS — система хранения и доступа к большим объемам данных, ряд сервисов для грид в ОИЯИ и международных коллабораций.

В 2024 г. выполнен большой объем работ по переходу Tier-1 и Tier-2 на операционную систему (ОС) AlmaLinux 9 в связи с окончанием жизненного цикла ОС CentOS 7.

Одним из важнейших элементов грид-инфраструктуры ОИЯИ, как и всего МИВК, является система хранения данных. В качестве основных систем хранения данных используются системы dCache и EOS для дисковых хранилищ, а для ленточных — Enstore и СТА. В 2024 г. выполнен ряд работ, связанных с техническим перевооружением, установкой и наладкой уникального оборудования и программного обеспечения для МИВК ОИЯИ, с эксплуатацией и развитием системы хранения данных dCache-Enstore. Значительные работы выполнены по модификации Enstore. В их числе — конверсия кода с Python2 на Python3, организация параллельного выпол-



Март. Научная школа для учителей физики. Ознакомительная экскурсия в лабораторию



**Рис. 1.** Использование системы хранения EOS в экспериментах на декабрь 2024 г. (объем данных, превышающий 50 ТБ)

нения запросов на монтирование/размонтирование лент в магнитофонах, что значительно улучшило время этих операций, повышение пропускной способности обработки большого потока запросов на передачу данных.

EOS рассматривается как общая распределенная система хранения данных для всех пользователей МИВК с полной емкостью 23,3 ПБ. Система EOS используется для 32 экспериментов / групп пользователей в качестве хранилища данных. Распределение по объему данных, хранящихся в системе на декабрь 2024 г. (превышающему 50 ТБ), приведено на рис. 1.

Осуществлена настройка системы хранения EOS-СТА работа TS3500 для хранения данных экспериментов, не входящих в WLCG (Worldwide LHC Computing Grid). К системе EOS-СТА подключен эксперимент Baikal-GVD.

В настоящее время в состав Tier-1 входят 468 вычислительных узлов (20 096 ядер) производительностью 32,4 kHS23. Запуск задач на обработку данных эксперимента CMS осуществляется 16 ядерными пилотами, для которых доступны все вычислительные ресурсы Tier-1. Хранение данных обеспечивается системой dCache емкостью 12,4 ПБ, роботизированным ленточным хранилищем общей емкостью 90 ПБ. Робот TS4500 работает с ПО Enstore и dCache. Для работы с лентами используется дисковый массив для кэширования данных емкостью 2,65 ПБ.

В 2024 г. сайт Tier-1 ОИЯИ занял первое место по суммарному нормированному процессорному времени (HS23 час), затраченному на обработку данных, в рейтинге мировых сайтов Tier-1, обрабатывающих данные эксперимента CMS на LHC (табл. 2), по статистике на портале <https://accounting.egi.eu>.

В состав сайта Tier-2 входят 485 вычислительных узлов (10 356 ядер) общей производительностью 166,8 kHS23. Хранение данных обеспечивает система dCache емкостью 5,62 ПБ. Роботизированная ленточная библиотека TS3500 емкостью

11 ПБ работает с ПО СТА и используется для резервного хранения данных локальных экспериментов.

Сайт Tier-2 в ОИЯИ является наиболее производительным в российском грид-сегменте. В 2024 г. на нем выполнено 2 892 483 заданий, что составило 90,7% от суммарного процессорного времени российского сегмента WLCG (Российский ГРИД для интенсивных операций с данными — Russian Data Intensive GRID, RDIG).

Программное обеспечение грид-сайтов МИВК и систем хранения регулярно обновляется до последних версий. В их число входят: EOS, CVMFS, RUCIO, ALICE VObox, XROOTD, UMD, VOMS, WLCG standard program stack, ARC-CE, BDII top, BDII site, openafs, CentOS Scientific Linux, Alma Linux, GCC: gcc (GCC), C++: g++ (GCC), GNU Fortran (GCC), dCache, Enstore, СТА.

Для более простого и надежного обновления различного системного ПО МИВК подключены и настроены тестовые установки для большинства ключевых компонентов, включая систему пакетной обработки Slurm, dCache, EOS, СТА. Это позволяет быстро и без существенных проблем в основных установках проводить необходимые обновления ПО.

Ключевым моментом в организации распределенных гетерогенных вычислительных инфраструктур является связующее промежуточное программное обеспечение (платформа), позволяющее осуществлять совместную работу различных информационно-вычислительных систем. На сегодня основным вариантом такого ПО в ОИЯИ является DIRAC Interware — инструмент для интеграции гетерогенных вычислительных ресурсов и ресурсов хранения данных в единую платформу. Интеграция ресурсов основана на использовании стандартных протоколов доступа к данным (xRootD, GridFTP и др.) и пилотных задач. Благодаря этому пользователю предоставляется единая среда, в которой можно запускать задачи, управлять данными, выстраивать процессы и контролировать их выполнение.

В 2024 г. продолжилось использование DIRAC для решения задач коллабораций всех трех экспериментов на ускорительном комплексе NICA. Совместно с разработчиками платформы DIRAC

**Таблица 2**

Tier-1	Суммарное время CPU (kHS23 час)	Суммарное фактическое время (kHS23 час)
RU-JINR-T1	1 888 913,532	2 432 207,483
US-FNAL-CMS	1 665 321,019	3 979 538,749
UK-T1-RAL	1 132 299,978	1 341 419,038
DE-KIT	1 096 517,306	1 349 110,949
FR-CCIN2P3	807 778,212	859 384,319
ES-PIC	671 670,217	701 553,254
IT-INFN-CNAF	618 136,609	692 168,453

предложен и реализован метод использования предустановленного в CVMFS пилота DIRAC. Реализация данного метода потребовала внести изменения в исходный код платформы DIRAC и создать в ОИЯИ программу конфигурации пилота с использованием предустановленной в CVMFS версии. Благодаря этому значительно сократилась нагрузка на локальные хранилища вычислительных ресурсов. Разработан метод оценки целостности файлов под управлением платформы DIRAC. Метод основан на добавлении к файлам поля метаданных, относящихся к статусу проверки целостности. Использование данного подхода позволило проверить все файлы экспериментов VM@N и MPD. Пиковое значение скорости передачи данных составило 12 ГБ/с. Следует отметить, что в инфраструктуру DIRAC был интегрирован доступ к ленточному роботу на базе СТА. Это позволило организовать резервирование на ленте данных, полученных во время 8-го сеанса эксперимента VM@N. Кроме того, для эксперимента MPD начато резервирование некоторых наиболее критических наборов данных.

## Гетерогенная инфраструктура

В 2024 г. активно развивалась программно-информационная среда платформы HybriLIT, являющаяся компонентом МИВК ОИЯИ для проведения массивно-параллельных и ресурсоемких расчетов [2, 3]. Осуществлено расширение иерархической системы обработки и хранения данных суперкомпьютера «Говорун». В его состав вошли два высокопроизводительных сервера, каждый из которых содержит 2 процессора Intel Xeon Platinum 8458P с оперативной памятью 512 ГБ и 32 твердотельных накопителя SSD NVMe RULER емкостью 30,72 ТБ, что позволило обеспечить расширение объема подсистемы хранения «теплых данных» на 2 ПБ. В результате общая ем-

кость иерархического хранилища СК «Говорун» достигла 10,6 ПБ.

Продолжились работы по развитию полигона с географически распределенной параллельной файловой системой Lustre в качестве системы одновременной обработки данных для вычислительных кластеров, размещенных на площадках ЛИТ и ЛФВЭ. Для полигона, схема которого представлена на рис. 2, были задействованы физические узлы гетерогенной платформы HybriLIT, кластера NCX ЛФВЭ и суперкомпьютера «Говорун» с общим дисковым пространством 2,1 ПБ.

Данный прототип состоит из двух сегментов, использующих разные типы сетевых подключений (Omni-Path, Ethernet), объединенных в общую сеть Lustre network с помощью сервиса LNET Router. Управляющие сервисы MGS/MDS запущены на двух серверах в режиме High Availability. Раздел хранения данных MGS/MDS собран на RAID-массиве (mirror), состоящем из пары локальных дисков и пары сетевых дисков, подключенных по протоколу NVMe-over-Fabric (TCP). Серверы хранения данных OSS распределены территориально, два из них находятся в сетевом сегменте СК «Говорун» (OSS0 и OSS1 на рис. 2), три других подключены к вычислительному кластеру NCX. Были выполнены ряд нагрузочных тестов и исследование производительности созданного полигона, в том числе с помощью инструмента Interleaved or Random (IOR) Benchmark совместно с технологией MPI [4]. Полученные результаты показали увеличение производительности решения задач на 30 % с использованием созданного полигона по сравнению с использованием локальных FS Lustre, находящихся в ЛИТ и ЛФВЭ, с последующим обменом данных между ними.

В рамках модернизации экосистемы методов искусственного интеллекта и высокопроизводительных вычислений ML/DL/HPC для обеспечения работ по совместному проекту ЛИТ

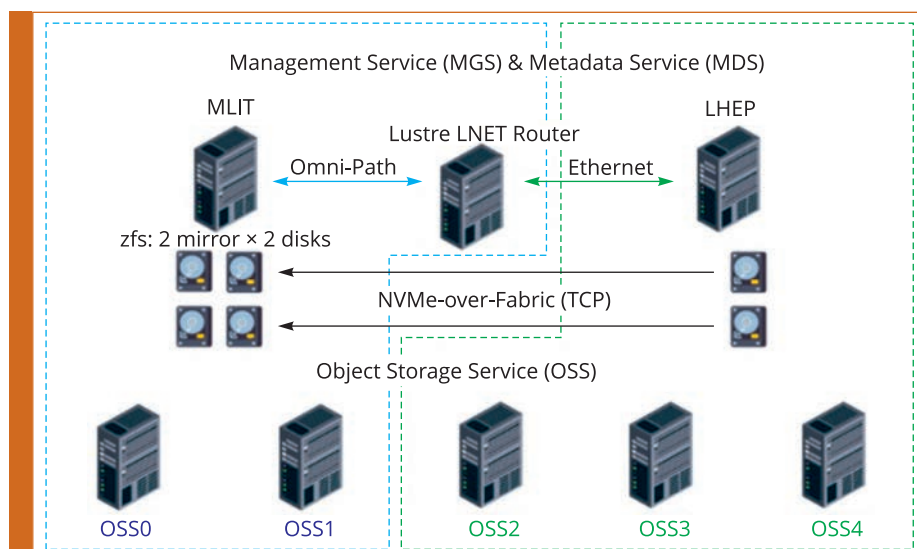


Рис. 2. Географическая распределенная параллельная файловая система Lustre, размещенная в ЛИТ и ЛФВЭ

и ЛРБ ВЮ-НЛІТ была подготовлена среда для разработки нейросетевых алгоритмов. Она развернута на сервере с 8 графическими ускорителями NVIDIA A100 и операционной системой AlmaLinux 9.4. Разработанная среда включает в себя JupyterHub 4.0.11 (для совместной разработки программ на языке программирования Python), фреймворк Mercury 2.4.3 (для публикации web-приложений на основе Jupyter Notebook и языка программирования Python), набор инструментов Writer AI 0.7.5 (для быстрой разработки web-приложений на языке программирования Python) и доступна по адресу <https://mostlit.jinr.ru>.

Общее число пользователей СК «Говорун» к настоящему времени составляет 347 человек. Распределение пользователей по лабораториям показано на рис. 3.

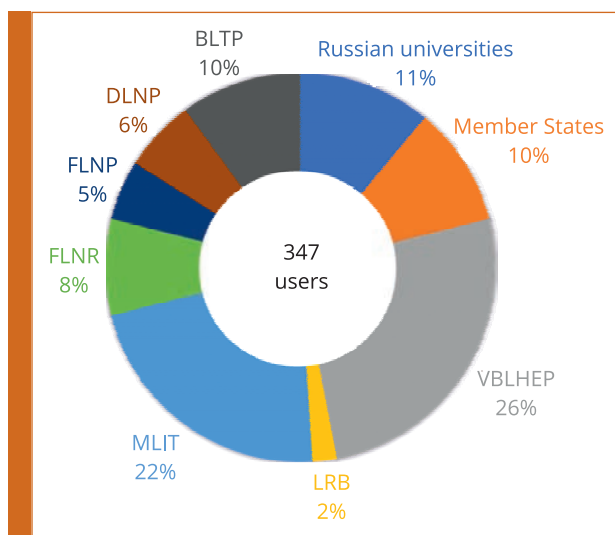


Рис. 3. Распределение пользователей СК «Говорун» по лабораториям и странам-участницам

В течение 2024 г. всеми группами пользователей СК «Говорун» на CPU-компоненте было выполнено более 6,2 млн задач, что соответствует 32 млн ядро-часов, распределение по наиболее ресурсоемким проектам представлено на рис. 4.

GPU-компонент платформы HybriLIT используется для решения высокопроизводительных задач с использованием технологии CUDA, например, для расчетов в области квантовой хромодинамики на решетках, разработки квантовых алгоритмов и проведения расчетов с использованием квантовых симуляторов, разработки нейросетевых алгоритмов и аннотирования данных, обучения нейросетевых моделей, разворачивания GPU-ориентированных веб-сервисов, использующих нейросетевой подход [3, 5]. Структура использования графических ускорителей платформы HybriLIT представлена на рис. 5.

В 2024 г. пользователями гетерогенной платформы HybriLIT опубликовано 54 работы, из них 9 в журналах Q1, 5 в Q2 и 8 в Q3.

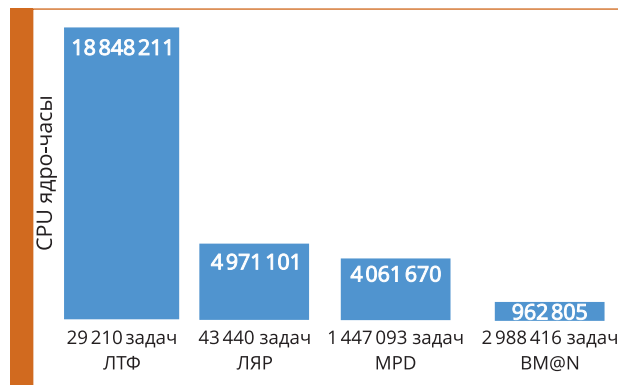


Рис. 4. Статистика использования ресурсов СК «Говорун» наиболее ресурсоемкими проектами

### GPU usage at the heterogeneous HybriLIT platform

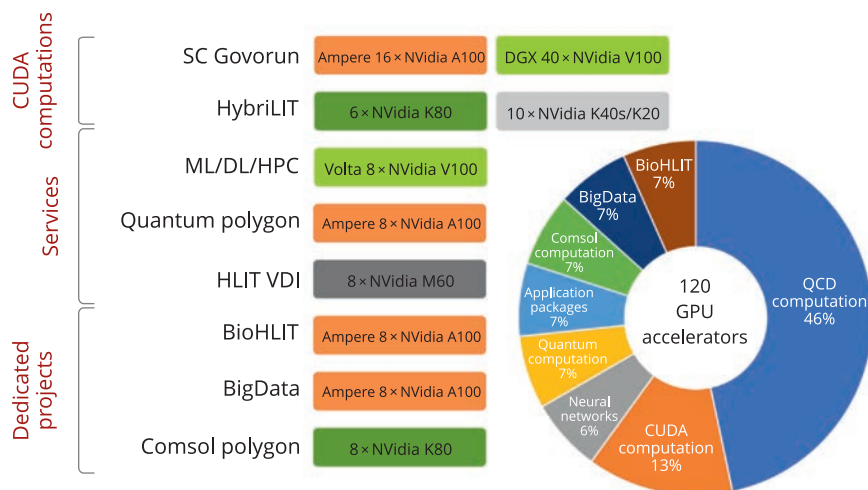


Рис. 5. Структура использования ресурсов платформы HybriLIT для задач, решаемых на платформе

## Облачная инфраструктура

В 2024 г. на серверах облачной инфраструктуры выполнено обновление операционных систем с CentOS 7.9.2009 до AlmaLinux 9.5, а также обновление облачного ПО с 5.12.0.4 Community Edition (CE) до стабильной версии OpenNebula 6.10.0 CE. Выполнено обновление ОС на части облачных виртуальных машин пользователей и сервисов.

Произведена чистка облачных хранилищ от утративших актуальность данных и образов виртуальных машин (ВМ), а также завершён перевод ВМ из выводимой из эксплуатации подсети в вы-

деленную сетевой службой частную маршрутизируемую подсеть для облачной инфраструктуры.

В рамках расширения круга облачных сервисов развернут новый сервис для анализа посещаемости веб-сайтов, основанный на платформе Matomo, — [webanalytics.jinr.ru](http://webanalytics.jinr.ru). Сервис был создан в качестве замены Google Analytics, который ранее использовался на сайте ОИЯИ. Он обеспечивает конфиденциальное хранение всех собранных данных в локальных хранилищах Института и не требует создания сторонних учетных записей. Новый сервис может быть использован для сбора статистики посещений любых сайтов ОИЯИ. Например, к нему уже был подключен сервис GitLab ОИЯИ. Кроме того, он был интегрирован с системой единого входа ОИЯИ, что обеспечивает централизованный доступ к веб-интерфейсу системы.

В 2024 г. на ресурсах нейтринной вычислительной платформы (НВП), являющейся сегментом облачной инфраструктуры ОИЯИ, было потреблено 12 125 668 CPU-часов. Информация по основным потребителям приведена на рис. 6.

По направлению распределенной информационно-вычислительной среды (на базе ресурсов организаций из стран-участниц ОИЯИ) основные работы связаны с поддержанием работоспособности и доступности этих ресурсов. Помимо этого на техническом обслуживании ЛИТ находились ресурсы Института ядерной физики (Казахстан), Северо-Осетинского государственного университета им. К. Л. Хетагурова и Института ядерной физики (Узбекистан).

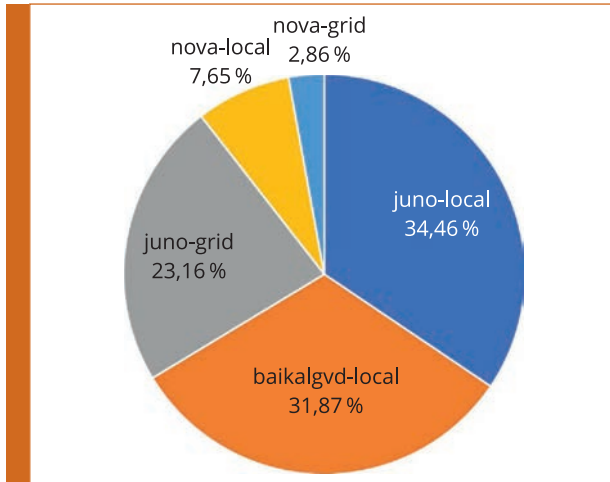


Рис. 6. Количество потребленных в 2024 г. CPU-часов на ресурсах НВП: junolocal, baikalgvd-local, nova-local — задачами пользователей ОИЯИ, запущенными в рамках экспериментов JUNO, Baikal-GVD, NOvA средствами локальной батч-системы (т. е. вне грида); junogrid, novagrid — задачами, запущенными в рамках грид-инфраструктуры

## Система мониторинга

В рамках перехода на операционную систему AlmaLinux 9 скрипты сбора данных для системы мониторинга были переписаны на python 3. Для реализации мониторинга системы элек-

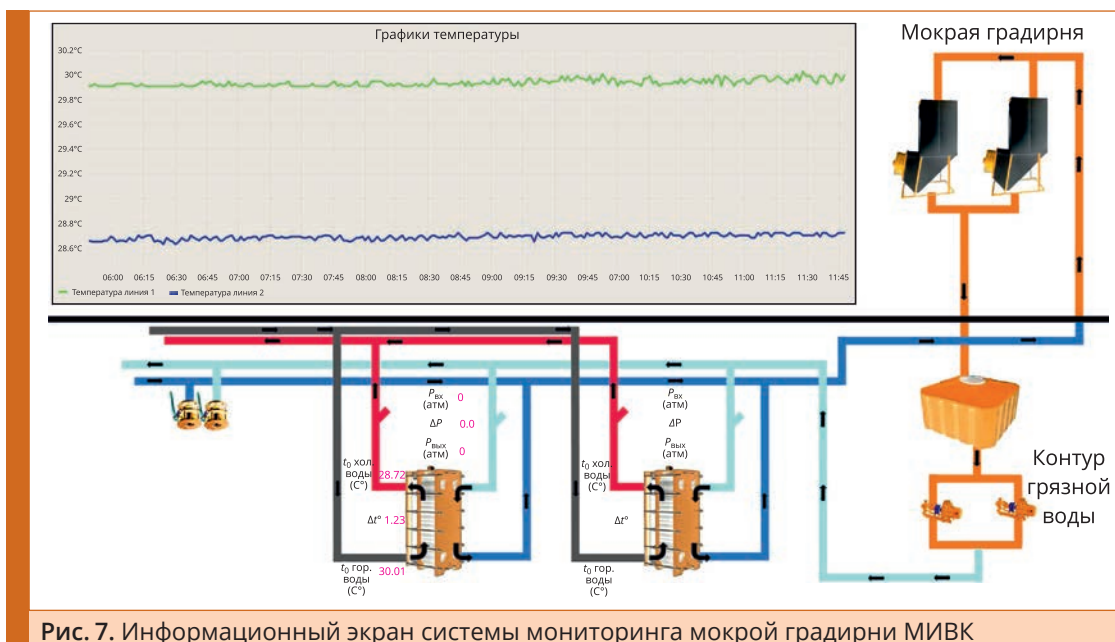


Рис. 7. Информационный экран системы мониторинга мокрой градирни МИВК

тропитания разработано специализированное программное обеспечение для сбора данных: входного напряжения, силы тока, потребляемой мощности для контроллера РП-23 помещения 110; сбора данных с ГРЩ помещения 110а; со-

здана информационная панель для операторов МИВК, визуализирующая основные параметры систем электропитания. Аналогичный подход реализован и для мониторинга работы мокрой градирни (рис. 7).

## МНОГОЦЕЛЕВАЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ПЛАТФОРМА АНАЛИТИКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

В 2024 г. велись работы по созданию вычислительного компонента платформы интеллектуального анализа Больших данных на базе исследовательской инфраструктуры, содержащей вычислительные ресурсы на основе аппаратных ускорителей нескольких моделей (Nvidia A100, V100, T4). В рамках созданного окружения были развернуты вычислительные полигоны на Apache Spark и Dask, использующие программную экосистему RAPIDS; подтверждена их работоспособность для практических вычислений. В частности, проведено исследование производительности и масштабируемости инструмента декларативного анализа RDataFrame пакета ROOT в распределенной среде Apache Spark.

В рамках исследовательской инфраструктуры на виртуальных серверах с GPU были настроены программные среды и оболочки для работы с открытыми большими языковыми моделями (LLM). Планируется использовать LLM для анализа и реферирования научных статей, извлечения ключевых идей, формирования тематических дайджестов и бюллетеней, а также разработки рекомендательных систем, интерфейсов API и создания различных ИИ-помощников ЦЭС (навигатор по публикациям и научным результатам ОИЯИ, помощник по нормативным и финансовым документам, договорам, формулирование заявок по закупкам, поддержка пользователей ЦЭС и т. д.).

## ЦИФРОВАЯ ЭКОСИСТЕМА ОИЯИ

В 2024 г. в рамках развития Цифровой экосистемы (ЦЭС) ОИЯИ были введены в эксплуатацию несколько общеинститутских цифровых сервисов: сервис управления разработкой документов, календарь для совместной работы и т. д. Создан прототип корпоративной шины данных для объединения цифровых сервисов и управления потоками информации. Часть существующих цифровых сервисов активно развивалась, была проведена их интеграция друг с другом и с базовыми сервисами ЦЭС. Введенные в эксплуатацию сервисы доступны через интерфейс ЦЭС <https://digital.jinr.ru>.

Выполнен переход на глубоко переработанную ПИН-2, в которой реализована новая функциональность, дополнительная информация о сотруднике (например, идентификаторы в системах цитирования), перенесены данные из предыдущей версии ПИН. Для аутентификации пользователей при доступе из зарубежных сетей подключен функционал двухфакторной авторизации, реализованный в системе единого входа ОИЯИ — JINR SSO.

Введен в пилотную эксплуатацию репозиторий публикаций сотрудников ОИЯИ [6]. Автоматический сбор информации о публикациях производится из трех основных источников: ELibrary, INSPIRE HEP и Scopus. Публикации привязываются к профилям пользователей — сотрудников ОИЯИ. Информация о них доступна

как через веб-интерфейс репозитория, так и в новой ПИН-2. В настоящее время в репозитории имеются данные о 1890 публикациях за 2024 г. и о 9074 публикациях с 2020 г.

Для организации совместной работы над документами разработана программная платформа SciDocsCloud, предназначенная для замены устаревшей системы DocDB.

В системе управления конференциями Indico настроен функционал резервирования залов и комнат для совещаний, конференций и других мероприятий.

Продолжаются работы по текущему развитию и сопровождению следующих сервисов: СЭД «Дубна», ИСНА, оболочка ЦЭС, «База документов», «Авансовые отчеты», СЭД «Сотрудники ОИЯИ в ЦЕРН», ADB2, NICA EVM, шлюз обмена данными. Разработана система обнаружения хакерских атак, она внедрена в тестовую эксплуатацию для сервисов СЭД «Дубна», ПИН, ПИН-2, «Авансовые отчеты», «CERN DB», ИСНА, оболочка ЦЭС.

## 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. В 2024 г. в рамках темы 1119 был проведен ряд работ и исследований, направленных на разработку и развитие математических методов и программного обеспечения для моделирования физических процессов и экспериментальных установок, обработки и анализа данных экспериментов в области физики элементарных частиц, ядерной физики, физики нейтрино, радиобиологии и др. Весьма необходимый и ценный вклад был внесен в решения конкретных задач в рамках проектов BM@N, MPD и SPD на комплексе NICA, проектов CMS и ATLAS на LHC, проектов нейтринной программы ОИЯИ (Baikal-GVD и JUNO).

Ниже приведена краткая информация о некоторых из полученных результатов.

### Разработка и развитие алгоритмов реконструкции физических событий и методов идентификации частиц

На основе анализа данных сеансов эксперимента BM@N Run 8 (2022–2023) разработано программное обеспечение для детального описания геометрии координатных детекторов. Развита алгоритмы моделирования реалистичных откликов трековых детекторов и реконструкции пространственных координат на микростриповых плоскостях [7].

Для устранения ложных измерений при реконструкции треков заряженных частиц в эксперименте SPD предложена архитектура нейронной сети на основе трансформера (рис. 8). Показано эффективное использование слоя внимания для моделируемых данных с помощью процедуры вокселизации [8]. Для распутывания перекрывающихся в одном временном срезе

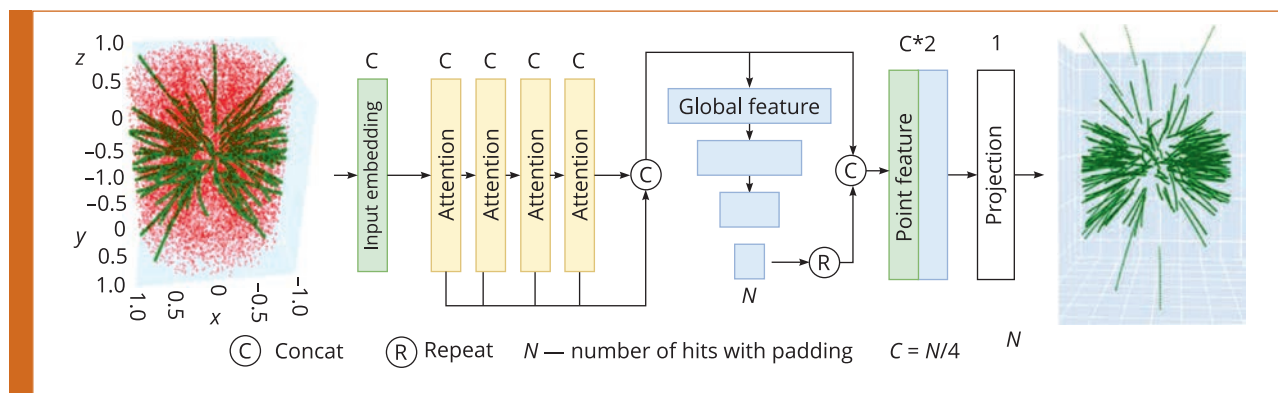


Рис. 8. Архитектура нейронной сети на основе трансформера, используемая для реконструкции трека частицы

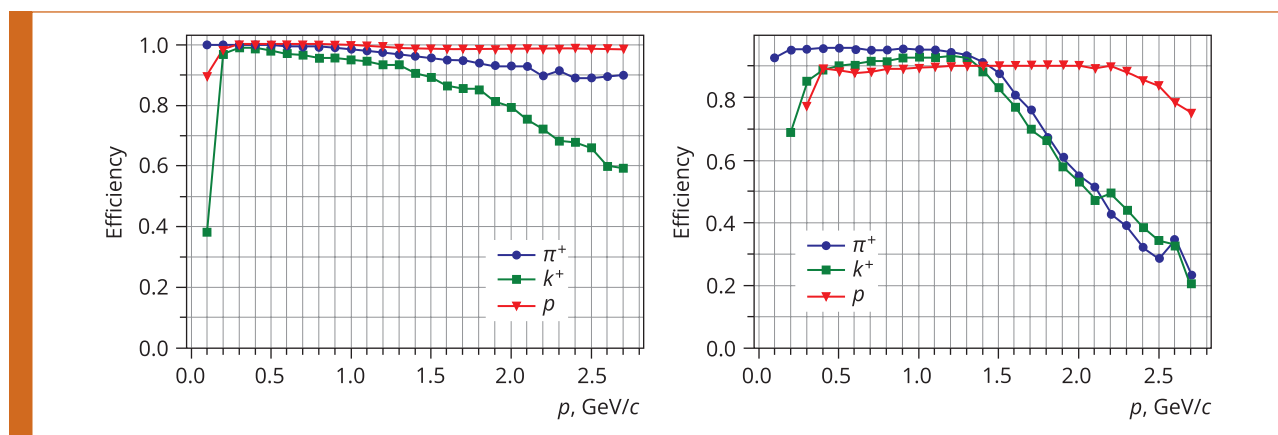


Рис. 9. Эффективность идентификации заряженных частиц в эксперименте MPD. Слева — методом градиентного бустинга (XGBoost), справа — методом  $n$ -сигма



27–28 мая. Рабочее совещание по математическим проблемам квантовых информационных технологий (MPQIT-2024)

событий разработан подход на основе глубокой сямской нейронной сети [9] с функцией потерь в виде триплетов.

На основе алгоритма градиентного бустинга на решающих деревьях (GBDT) разработан метод идентификации заряженных частиц, образующихся при взаимодействии ядер висмута при  $\sqrt{s_{NN}} = 9,2$  ГэВ, в эксперименте MPD [10]. Использование библиотеки XGBoost показало преимущество перед традиционным  $n$ -сигма подходом, особенно для частиц с высоким импульсом (рис. 9). Метод принят коллаборацией MPD для интеграции в MPDROOT для решения задач идентификации частиц.

### Разработка и развитие методов моделирования физических процессов и анализа данных

В 2024 г. было продолжено развитие генераторов взаимодействий для моделирования процессов ядерных столкновений при энергиях NICA и LHC. При анализе данных NA61/SHINE [11] о рождении  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ , протонов и антипротонов в  $^{40}\text{Ar} + ^{45}\text{Sc}$  взаимодействиях при  $P_{\text{lab}} = 13\text{--}150$  АГэВ/с выявлено, что модель Geant4 FTF существенно недооценивает выходы мезонов. Предложен новый алгоритм учета дифракционной диссоциации в FTF, что позволило повысить множественность мезонов и успешно описать

данные. Этот подход дает хорошие результаты в применении к данным BM@N о выходах  $\pi^+$ -мезонов в аргон-ядерных взаимодействиях при энергии 3,2 ГэВ.

С использованием данных Монте-Карло проанализированы предсказания двух моделей темной материи: расширение двухдублетной хиггсовской с дополнительным скалярным и аксиальным хиггсовским синглетом. Проведено полное моделирование отклика детекторов CMS (Geant4) при  $\sqrt{s} = 13,6$  ТэВ для событий с  $Z$ -бозоном и парой  $b$ -кварков, ассоциированных с большой долей потерянной поперечной энергии [12]. Определены основные фоновые процессы и оптимальные кинематические ограничения для максимального соотношения сигнал/фон.

В рамках развития систем анализа данных эксперимента ОЛВЭ-HERO проведена Монте-Карло оценка годовой статистики данных, собранных на орбите Земли для протонов (1–45 ГэВ) с использованием сферического детектора радиусом 1,25 м [13]. Было установлено, что добавление 1–5 % бора в сцинтиллятор не влияет на регистрацию энергопотерь от протонов (1, 10, 100, 1000 ГэВ). Для 5 % добавки оценено энергетическое разрешение в диапазоне 1–100 ТэВ.

В рамках межлабораторной рабочей группы (совместный проект ЛИТ, ЛРБ, ЛФВЭ, ЛНФ и ОРБ) проведены исследования по оценке радиационной обстановки в помещениях времен-

ной пультовой ускорительного комплекса NICA: построена детальная 3D-модель ускорительного комплекса в формате Geant4, осуществлена настройка аппаратного и программного обеспечения для проведения расчетов на СК «Говорун», и получены оценки мощности эффективной дозы и спектров нейтронов для модельного источника [14]. Для обеспечения дозиметрии нейтронов высоких энергий разработаны два метода восстановления спектра нейтронов по показаниям многосферного спектрометра Боннера: 1) на основе разложения спектра по полиномам Лежандра и численного решения интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода с применением регуляризации Тихонова, с учетом «веса» детектора, 2) на основе алгоритма машинного обучения «случайный лес».

### Разработка систем обработки данных, создание и развитие информационно-вычислительных систем для поддержки исследовательских проектов ОИЯИ

Для эксперимента SPD развернут прототип распределенной системы обработки и анализа данных, интегрирующей ресурсы ОИЯИ и НИЦ КИ ПИЯФ. На подготовленной платформе в 2024 г. обрабатывались задачи Монте-Карло моделирования: сгенерировано 200 млн событий общим объемом 100 ТБ [15]. В рамках создания комплекса промежуточного программного обеспечения для системы отбора событий реального времени (SPD Online Filter) реализована большая часть функциональных требований к программному комплексу, выполнены работы по формализации и реализации нефункциональных требований. Совместно с коллегами из ЛЯП создан и введен в эксплуатацию стенд для разработки и отладки

компонентов системы сбора данных установки SPD (рис. 10). Стенд предоставляет возможность проводить разработку и долговременные испытания программно-аппаратных комплексов и включает в себя «холодную зону» для размещения аппаратной части.

В рамках участия сотрудников ЛИТ в эксперименте ATLAS в ЦЕРН были внесены улучшения в менеджер ресурсов — компонент ядра TDAQ. Проведена модернизация всех компонентов сервиса ATLAS Event Picking [16], и создан личный кабинет пользователя сервиса. Полученный опыт и знания в разработке баз данных для эксперимента ATLAS были применены для экспериментов ускорительного комплекса NICA. Выполнены работы по созданию, модернизации и поддержке информационных систем и баз данных эксперимента BM@N [17] — развиты конфигурационная (введена в промышленную эксплуатацию) и геометрическая (готова к опытной эксплуатации) информационные системы. В рамках эксперимента MPD продолжены работы по созданию и внедрению Conditional DB и других БД эксперимента.

### Развитие методов вычислительной физики

На основе результатов исследований в области прикладной математики и вычислительной физики опубликованы три монографии. Монографии [18] и [19] посвящены методам и программам для решения систем уравнений различных типов с использованием метода конечных разностей, метода конечных элементов (МКЭ) высокого порядка и итерационных схем на основе непрерывного аналога метода Ньютона. В [20] рассматриваются основные понятия, общие при-

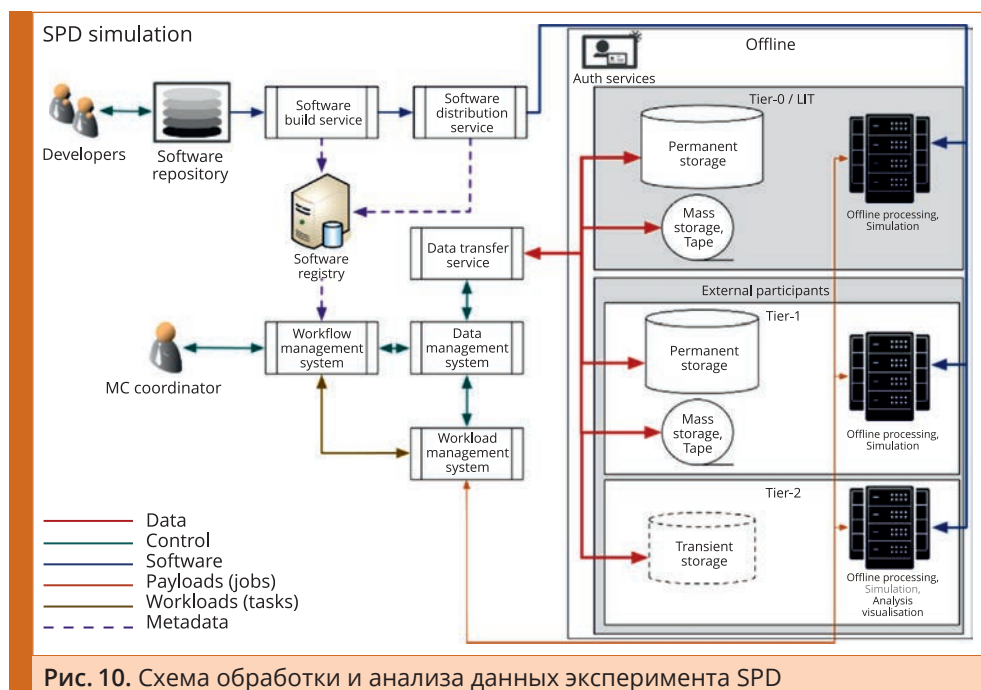


Рис. 10. Схема обработки и анализа данных эксперимента SPD



Ереван (Армения), 21–25 октября. 11-я Международная конференция «Математическое моделирование и вычислительная физика», приуроченная к 80-летию со дня рождения академика А. Н. Сисакяна.  
Фото: <https://indico.jinr.ru/event/4467/page/2192-photos>

емы и методы работы с матрицами, включая вычисление определителей различных порядков.

В рамках программы сотрудничества с Кейптаунским университетом проведено исследование сферически-симметричных периодических по времени стоячих волн модели  $\varphi^4$  в шаре конечного радиуса, рассматриваемых как аппроксимация слабоизлучающих осциллонов. Для 3D-случая найдены сосуществующие типы стоячих волн, исследована зависимость энергии и интервалов устойчивости волн от радиуса и частоты. Расчеты проводились на платформе HybridIT и суперкомпьютере «Говорун». Определен интервал частот, где вариационный метод обеспечивает точное описание (1 + 1)-мерного осциллона [21].

Методами молекулярной динамики проведено моделирование взаимодействия бета-амилоидного пептида 25–35 с фосфолипидными мембранами DMPC в присутствии в растворе большого количества ионов  $K^+$  и  $Cl^-$ . Полученные результаты позволяют извлечь информацию о возможных процессах, происходящих при разрушении мембраны в присутствии пептидов [22].

Для описания коллективной квадрупольной модели атомного ядра и расчета ротационно-вибрационных спектров и вероятностей квадрупольных переходов разработана программа GCMFEM решения краевых задач для системы двумерных эллиптических дифференциальных уравнений со смешанными производными [23]. Для изотопов  $^{190}Os$  и  $^{154}Gd$  полученные результаты согласуются с экспериментальными данными.

В рамках микроскопической модели оптического потенциала проведен анализ данных протон-ядерного рассеяния при энергиях 200–1000 МэВ. Сделаны оценки влияния ядерной среды на амплитуду рассеяния в зависимости от энергии налетающего протона и атомной массы ядра-мишени [24].

Предложен метод уточненного расчета разброса энергетических потерь в кристаллических решетках при облучении тяжелыми ионами с релятивистскими энергиями, который имеет преимущество в точности по сравнению с существующими подходами в случае облучения высокозарядными ионами [25].

Проведено моделирование доменов переворота в SFS-модели  $\varphi_0$ -перехода со слабой диссипацией в зависимости от параметров, регулирующих действие внешнего тока. Параллельная реализация позволила уменьшить время вычислений до 30 раз [26].

Разработан инструментарий для моделирования физических свойств сверхпроводникового квантового интерферометра (СКВИД) с двумя джозефсоновскими переходами [27]. Реализованы с применением библиотеки Numba алгоритмы вычисления вольт-амперных характеристик СКВИД под воздействием внешнего магнитного поля.

Предложена и реализована схема параллельного численного интегрирования трехмерного нестационарного уравнения Шрёдингера в представлении дискретной переменной, обеспечивающая значительное сокращение време-



15–16 апреля. Весенняя школа по информационным технологиям

ни вычислений для таких задач с большим числом сеточных узлов [28].

Предложена комбинированная процедура [29] на основе МКЭ, позволяющая снизить вычислительные затраты без потери точности при решении 3D-задач магнитостатики со сложной геометрией с использованием магнитного векторного потенциала.

Разработанное и развернутое на облачной инфраструктуре веб-приложение FITTER\_WEB [30] адаптировано для исследования структуры фосфолипидных везикулярных систем различного типа по данным малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей на основе модели разделенных формфакторов.

Предложен метод экстраполяции пертурбативных разложений по степеням асимптотически малых параметров на область конечных или бесконечных значений переменных [31]. Экстраполяция осуществляется с помощью автоматических фактор-аппроксимантов. В ряде случаев метод позволяет точно восстановить искомые функции по их асимптотическим разложениям слабой связи.

Разработан квантово-химический кластерный метод с целью количественного обоснования эффективных спиновых моделей для различных кристаллических структур магнитных оксидов переходных металлов [32]. Метод применим для широких семейств новых магнитных материалов со сложным химическим составом.

Проведено тестирование квантового аппроксимационного оптимизационного алгоритма на примере поиска основного состояния в модели Изинга с внешним магнитным полем на квантовом полигоне, развернутом на платформе HybriLIT. Проведены сравнительные расчеты на центральном и графическом процессорах с помощью пакетов CUDA и cuStateVec, подтвердившие эффективность пакета cuStateVec [5, 33].

Продолжены исследования в области использования нейросетевых моделей для классификации изображений в условиях малой обучающей выборки [34]. Развиваются программные и аппаратные решения для организации автоматизированного контроля и учета в тепличных комплексах. Разрабатываются методы и средства организации мобильных комплексов отслеживания объектов.

На основе машинного обучения разработан веб-сервис (<https://mostlit.jinr.ru>), позволяющий проводить автоматический анализ двунитевых разрывов ДНК (ДР ДНК) в ядрах клеток млекопитающих и человека, опираясь на подсчет радиационно-индуцированных фокусов (РИФ), представляющих скопления репарационных белков в сайте ДР ДНК. Путем обработки серии флуоресцентных изображений ядер клеток сервис предоставляет аналитическую информацию о ключевых параметрах РИФ, таких как среднее количество РИФ на ядро клетки, площадь РИФ и интенсивность.

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ

В рамках образовательной активности в 2024 г. проведены Весенняя и Осенняя школы по информационным технологиям (IT-школы) ОИЯИ, в которых приняли участие 90 студентов из разных вузов РФ. По результатам проведения серии IT-школ, начиная с 2022 г., сотрудниками ОИЯИ стали 18 человек. Под руководством и при научном консультировании сотрудников ЛИТ в 2024 г. подготовлено и защищено более 40 квалификационных работ аспирантов, магистров

и бакалавров, более 20 студентов не выпускных курсов ведут работы над проектами ОИЯИ и приезжают на практики. Учебно-тестовый полигон платформы HybriLIT в 2024 г. активно использовался как для проведения учебных семестровых курсов, так и в рамках школ и рабочих совещаний. В семестровых учебных курсах по IT-дисциплинам «Архитектура и технологии высокопроизводительных систем», «Параллельные распределенные вычисления», «Языки и техно-



7–11 октября. Осенняя школа по информационным технологиям

логии анализа данных», «Технологии высокопроизводительных вычислений», «Программные средства математических вычислений», проводимых в университете «Дубна» и ТвГУ, приняли участие 457 студентов. Также на базе платформы HybriLIT было подготовлено 4 бакалаврские работы и 2 магистерские диссертации. Разработана и пролицензирована образовательная магистерская программа «Методы и технологии обра-

ботки данных в гетерогенных вычислительных средах», подготовлены учебный план и рабочие программы дисциплин по направлению 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» для филиала МГУ в Дубне. В целях развития сотрудничества проведены семинары для студентов и учащихся МГУ им. М. В. Ломоносова, РЭУ им. Г. В. Плеханова, Экономического лица РЭУ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронцов А. С., Евланов А. В., Долбилов А. Г., Гавриш А. П. Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс ОИЯИ. Инженерная инфраструктура // Материалы Всерос. конф. с междунар. участием «ИТТММ 2024». 2024. С. 281–287.
2. Anikina A., Belyakov D., Bezhanyan T. et al. Capabilities of the Software and Information Environment of the HybriLIT Heterogeneous Computing Platform for JINR Tasks // Distributed Computer and Communication Networks. 2024. P. 244–249; <https://2024.dccn.ru/papers/2628>.
3. Любимова М. А., Аникина А. И., Беляков Д. В. и др. Программно-информационная среда Гетерогенной вычислительной платформы HybriLIT // Материалы Всерос. конф. с междунар. участием «ИТТММ 2024». 2024. С. 315–321.
4. Кокорев А. А., Беляков Д. В., Подгайный Д. В., Мошкин А. А., Пелеванюк И. С. Распределенная параллельная файловая система Lustre для обработки и анализа данных экспериментов физики высоких энергий // Intern. Sci. Conf. «Russian Supercomputing Days 2024», Moscow, 23–24 Sept. 2024; [https://russianscdays.org/files/2024/pdf/HPCCenters/3\\_AKokorev.pdf](https://russianscdays.org/files/2024/pdf/HPCCenters/3_AKokorev.pdf).
5. Беляков Д. В., Боголюбская А. А., Зувев М. И., Палий Ю. Г., Подгайный Д. В., Стрельцова О. И., Янович Д. А. Полигон для квантовых вычислений на гетерогенной платформе HybriLIT // Материалы Всерос. конф. с междунар. участием «ИТТММ 2024». 2024. С. 303–309.
6. Filozova I., Shestakova G., Kondratyev A., Bondyakov A., Zaikina T., Nekrasova I. DSpace Software Platform for Digital Repository of JINR Publications // Phys. Part. Nucl. Lett. 2024. V. 21, No. 4. P. 797–799.
7. Baranov D. Detailed Simulation of the Response of Inner Tracker Detectors for the First Physics Run in the BM@N Experiment // Phys. Part. Nucl. 2024. V. 55, No. 4. P. 1055–1060.

8. *Nikolskaya A., Goncharov P., Ososkov G., Rusov D., Starikov D.* Point Cloud Transformer for Elementary Particle Signals Segmentation // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 3. P. 458–460.
9. *Borisov M., Goncharov P., Ososkov G., Rusov D.* Unraveling Time-Slices of Events in the SPD Experiment // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 3. P. 453–455.
10. *Papoyan V., Aparin A., Ayriyan A., Grigorian H., Korobitsin A.* Gradient Boosted Decision Tree for Particle Identification Problem at MPD // *Phys. Part. Nucl. Lett.* (submitted).
11. *Galoyan A., Uzhinsky V.* Tuning the Geant4 FTF Model Using Experimental Data of the NA61/SHINE Collaboration // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 4. P. 962–967.
12. *Hayrapetyan A. A., Savina M. V., Tumasyan A. R., Shmatov S. V.* Search for Dark Matter Produced in Association with Standard Model Higgs Boson in  $pp$  Collisions at 13 TeV in the CMS (LHC) Experiment // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 1. P. 132–136.
13. *Караташ Х., Сатышев И., Шолтан Е.* Монте-Карло моделирование орбитального эксперимента ОЛВЭ-HERO // *ЭЧАЯ.* 2025. Т. 56, вып. 2. С. 159–166.
14. *Chizhov K., Beskrovnaya L., Chizhov A.* Neutron Spectra Unfolding from Bonner Spectrometer Readings by the Regularization Method Using the Legendre Polynomials // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 3. P. 532–534.
15. *Abazov V. et al. (SPD Collab.).* Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA // *Natural Sci. Rev.* 2024. No. 1. 1; arXiv:2404.08317.
16. *Gallas E.J., Alexandrov E., Alexandrov I. et al.* Deployment and Operation of the ATLAS EventIndex for LHC Run3 // *Eur. Phys. J. Web Conf.* 2024. V. 295. 01018.
17. *Alexandrov E., Alexandrov I., Chebotov A. et al.* Development of the Online Data Processing System for the BM@N Experiment at NICA // *Phys. Part. Nucl. Lett.* V. 21, No. 4. P. 789–792.
18. *Vandandoo U., Zhanlav T., Chuluunbaatar O., Gusev A., Vinitsky S., Chuluunbaatar G.* High-Order Finite Difference and Finite-Element Methods for Solving Some Partial Differential Equations. *Springer Nature*, 2024. 114 p.
19. *Zhanlav T., Chuluunbaatar O.* New developments of Newton-Type Iterations for Solving Nonlinear Problems. *Springer Nature*, 2024. 281 p.
20. *Калиновская Л. В., Калиновский Ю. Л.* Матрицы и определители. М.: Инфра-инженерия, 2024. 164 с.
21. *Alexeeva N. V., Barashenkov I. V., Dika A., De Sousa R.* The Energy-Frequency Diagram of the  $(1 + 1)$ -Dimensional  $\Phi^4$  Oscillon // *J. High Energy Phys.* 2024. V. 10. 136.
22. *Kurakin S., Badreeva D., Dushanov E. et al.* Arrangement of Lipid Vesicles and Bicelle-Like Structures Formed in the Presence of  $A\beta$  (25–35) Peptide // *Biochimica et Biophysica Acta. Biomembranes.* 2024. V. 1866, Iss. 1. 184237.
23. *Batgerel B., Vinitsky S.I., Chuluunbaatar O. et al.* Schemes of Finite Element Method for Solving Multidimensional Boundary Value Problems // *J. Math. Sci.* 2024. V. 279. P. 738–755.
24. *Abdul-Magead I. A. M., Lukyanov V. K., Zemlyanaya E. V., Lukyanov K. V.* Analysis of the Proton Amplitude of Scattering on Bounded Nuclear Nucleons Based on Proton–Nucleus Scattering Data // *Intern. J. Mod. Phys. E.* 2024. 2441012; <https://doi.org/10.1142/S021830132441012X>.
25. *Kats P. B., Kudravets A. V., Rimashevskaya A. S., Voskresenskaya O. O.* Comparative Study of Some Rigorous and Approximate Methods for Calculating The Energy Loss Straggling // *Radiat. Phys. Chem.* 2024. V. 222. 111860.
26. *Bashashin M., Zemlyanaya E., Rahmonov I.* Simulation of the Magnetization Reversal Effect Depending on the Current Pulse Duration within the  $\phi 0$  Josephson Junction Model Using mpi and openmp Parallel Computing Techniques // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55, No. 4. P. 498–501.
27. *Рахмонов И. Р., Рахмонова А. Р., Стрельцова О. И., Зуев М. И.* Python-реализация алгоритмов и инструментарий для моделирования динамики сверхпроводникового квантового интерферометра с двумя джозефсоновскими переходами (СКВИД постоянного тока). <http://studhub.jinr.ru:8080/jjbook/DC-SQUID.html>
28. *Айриян А. С., Буша Я. (мл.), Мележик В. С.* Распараллеливание вычислительной схемы, основанной на двумерном DVR-базисе, для интегрирования нестационарного трехмерного уравнения Шрёдингера // *Письма в ЭЧАЯ.* 2025. Т. 22, вып. 3. С. 617–621.
29. *Chervyakov A. M.* On Finite-Element Modeling of Large-Scale Magnetization Problems with Combined Magnetic Vector and Scalar Potentials // *Phys. Part. Nucl. Lett.* V. 21, No. 5. P. 1074–1083.
30. *Соловьев А. Г., Соловьева Т. М., Лукьянов К. В., Земляная Е. В.* Веб-интерфейс на базе облачной инфраструктуры ОИЯИ для фитирования экспериментальных данных малоуглового рассеяния с использованием инструментов пакета ROOT // *Современные информ. технологии и ИТ-образование.* 2024. Т. 20, № 3.
31. *Yukalov V. I., Yukalova E. P.* Strong-Coupling Limits Induced by Weak-Coupling Expansions // *Ann. Phys. (N. Y.).* 2024. V. 467. 169716.
32. *Сюракшина Л., Юшанхай В.* Анизотропные спиновые модели для оксидов иридия: обоснование в кластерном квантово-химическом подходе // *Изв. РАН. Сер. физ. (в печати).*
33. *Палий Ю. Г., Боголюбская А. А., Янович Д. А.* Моделирование работы алгоритма QAOA на симуляторе квантовых вычислений Cirq. Препринт ОИЯИ P11-2024-57. Дубна, 2024.
34. *Ососков Г. А., Ужинский А. В., Нечаевский А. В.* Применение методов глубокого обучения для решения различных задач в сельском хозяйстве // *Государственный университет «Дубна».* 30 лет в науке: Сб. ст. Дубна, 2024. С. 289–302.

# ЛАБОРАТОРИЯ РАДИАЦИОННОЙ БИОЛОГИИ

В 2024 г. в лаборатории продолжены исследования по теме 05-7-1077-2009 «Исследования биологического действия ионизирующих излучений с разными физическими характеристиками». Сотрудниками ЛРБ проводились эксперименты на источниках ионизирующих излучений CellRad, SARRP, ИРЕН в ОИЯИ, а также в партнерских ор-

ганизациях: МРНЦ им. А. Ф. Цыба (Обнинск, РФ), Физико-техническом центре ФИАН (Протвино, РФ), CENTIS (Гавана, Куба). Для участия в исследованиях на базе инфраструктуры ЛРБ в 2024 г. были совершены визиты сотрудников из научных организаций Беларуси, Египта и Сербии.



Дубна, 11 октября. Встреча директора ЛРБ А. Н. Бугая с помощниками полномочных представителей правительств Кубы и Монголии

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ

Исследовано модифицирующее влияние ингибитора репаративного синтеза ДНК — арабидцитозина (АраЦ) в комплексе с бензамидом, ингибитором фермента PARP1, участвующего в репарации одностранных разрывов ДНК, на формирование радиационно-индуцированных двустранных разрывов (ДР) ДНК методом ДНК-комет в культуре клеток меланомы мышей линии В16 [1]. При облучении рентгеновскими

лучами в дозах 0–5 Гр (на установке Precision CellRad — 5 мА, 130 кВ, 1,5 Гр/мин) наблюдается резкое увеличение количества ДР ДНК в условиях комбинированного действия АраЦ и бензамидов по сравнению с облучением без модификаторов или в присутствии одного модификатора. Установлено, что репарация ДР ДНК в условиях влияния ингибиторов характеризуется кривой с максимумом на 6-й час пострадиационной

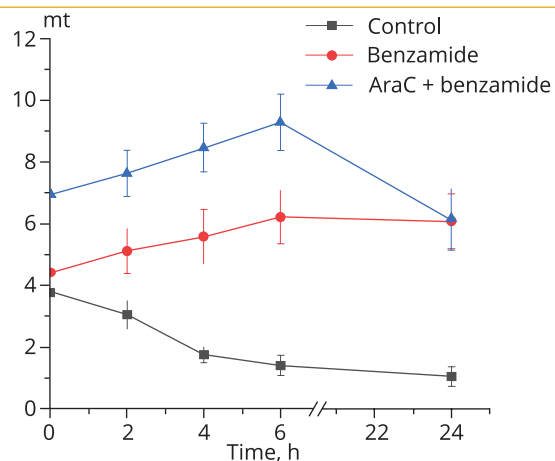


Рис. 1. Кинетика репарации ДР ДНК в клетках меланомы мышей линии В16 при рентгеновском облучении в дозе 5 Гр в обычных условиях (контроль) и в присутствии АраЦ и бензамида

инкубации в отличие от плавно ниспадающей экспоненциальной кривой кинетики репарации без модификаторов (рис. 1).

Проведена оценка эффективности комбинированного действия АраЦ и протонного излучения в дозе 10 Гр на формирование ДР ДНК в клетках асцитной карциномы Эрлиха *ex vivo* и *in vivo*. Образование ДР ДНК оценивали методом ДНК-комет. Установлено, что количество формируемых ДР ДНК в условиях влияния модификатора при облучении как *ex vivo*, так и *in vivo* увеличивается по сравнению с облученным контролем. При этом количество ДР ДНК в клетках асцитной карциномы при облучении *in vivo* достоверно превышает уровень повреждений при облучении *ex vivo*.

## РАДИАЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА И ЦИТОГЕНЕТИКА

Методом полногеномного окрашивания хромосом mFISH изучена биологическая эффективность рентгеновских установок ЛРБ CellRad и SARRP [2]. На рис. 2 показано, что среднее число aberrаций на клетку, индуцированных в лимфоцитах крови одного донора излучением 130 кВ CellRad с дополнительной фильтрацией Cu 0,1 мм и 220 кВ SARRP (рис. 2, а), не отличается от полученного ранее на рентгеновской установке 250 кВ Seifert (GSI, Германия). Спектр aberrаций, индуцированных всеми тремя видами, был сходным: около 20 % составили простые разрывы, 60 % — простые обмены и 20 % — комплексные

aberrации. Таким образом, излучение в указанных режимах может использоваться в качестве стандартного в радиобиологических исследованиях.

Получены и обобщены результаты цитогенетического исследования лимфоцитов обезьян и человека после облучения крови *in vitro* протонами с энергией 170 МэВ и 1 ГэВ [3]. Основной тип хромосомных aberrаций, выявленных в лимфоцитах крови обезьян после облучения протонами при анализе стандартным метафазным методом, составили дицентрики. Для общего числа хромосомных aberrаций наблюдается степен-

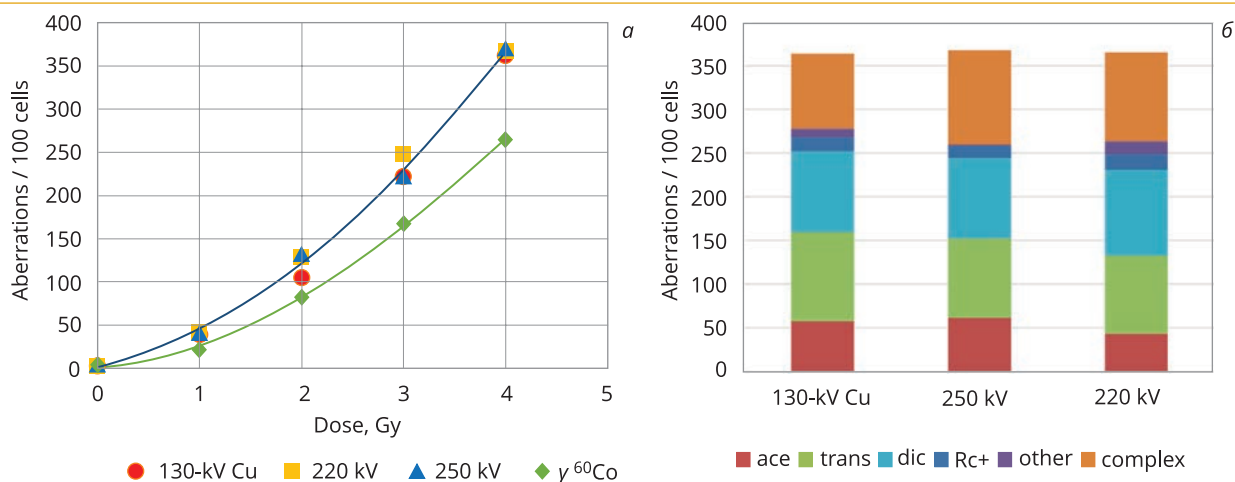


Рис. 2. а) Среднее число aberrаций на 100 клеток, индуцированных в лимфоцитах здорового донора рентгеновским излучением 130 кВ CellRad с дополнительной фильтрацией Cu 0,1 мм (130 кВ Cu), 220 кВ SARRP, 250 кВ Seifert (GSI, Германия; Lee et al. // Mutat. Res. 2010. V. 701. P. 52) (250 кВ) и гамма-излучением  $^{60}\text{Co}$  («Рокус-М», ОИЯИ). б) Спектр aberrаций, индуцированных теми же излучениями в дозе 4 Гр (ace — ацентрики, trans — транслокации, dic — дицентрики, Rc+ — центрические кольца, other — другие простые обмены, complex — комплексные aberrации)



Дубна, 24 ноября. Студенты медицинского факультета МГУ знакомятся с методикой проведения поведенческих экспериментов на мелких лабораторных животных

ная линейно-квадратичная зависимость от дозы вследствие вклада аберраций двухударного типа. Данные анализа хромосомных нарушений свидетельствуют о широком спектре возникающих хромосомных аберраций, увеличении их выхода с повышением дозы лучевого воздействия, а также отсутствии существенных количественных различий между клетками обезьян и человека, что подтверждает схожую радиочувствительность исследуемых объектов.

Изучены отдаленные последствия воздействия на неврологические проявления и биохимические, цитогенетические и гематологические показатели крови обезьян *Macaca mulatta* после локального облучения головы ионами криптона  $^{78}\text{Kr}$  с энергией 2,58 ГэВ/нуклон [4]. У облученных животных, характеризующихся отклонениями от стандартного поведения, обнаружены более низкие соотношения между лимфоцитами,

тромбоцитами, нейтрофилами и моноцитами, выявлены изменения показателей печеночных тестов и более высокий уровень хромосомных аберраций.

Продолжен анализ структурных перестроек плазмидной ДНК у мутантов, отобранных при облучении клеток дрожжей ускоренными ионами  $^{11}\text{B}$  (42 кэВ/мкм). С помощью генетического и электрофоретического анализа определены размер и локализация делеций. С помощью подобранных праймеров проведена ПЦР-амплификация интересующих участков и секвенирование амплифицированных фрагментов. Проведен анализ мутантов, индуцированных дозами 50 и 75 Гр и утративших три гена. Показано, что делеции размером 2211–6190 пн могут сопровождаться точечными мутациями в виде замен пар оснований, вставки нуклеотида и выпадения одного или нескольких нуклеотидов.

## МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ

Исследованы эффекты одиночного и сочетанного действия протонного и нейтронного излучений на популяцию опухолевых стволовых клеток (ОСК) [5], которая представляет наиболее резистентную к повреждающим воздействиям фракцию опухолевых клеток, вследствие чего играет ключевую роль в метастазировании и рецидивировании опухолевого процесса после лечения. Установлено снижение количества ОСК CD44 + CD24-/low после сочетанного облучения

в суммарной эквивалентной дозе 4,0 Гр по сравнению с контролем в отличие от эффектов гамма-излучения, которое приводит к повышению количества ОСК. Показано синергическое снижение пула ОСК при сочетанном действии нейтронов и протонов в случае, когда вклад излучений в суммарную дозу был одинаков, а время между сеансами облучения не превышало 4 ч.

Исследованы закономерности и молекулярно-клеточные механизмы комбинированного дей-

ствия АраЦ и фракционированного протонного излучения на мышиную меланому линии B16 *in vivo* [6]. Пять еженедельных облучений протонами общей фокальной дозой 50 Гр в присутствии АраЦ привели к более выраженному торможению роста меланомы B16, чем облучение в том же режиме без АраЦ. Показано, что введение АраЦ усиливает противоопухолевое действие протонного излучения путем реализации нескольких механизмов, среди которых уменьшение количества ОСК, угнетение пролиферации клеток и ангиогенеза в опухоли на фоне изменения иммунного ответа в первичном очаге и его инфильтрации лимфоцитами.

Изучены отдаленные побочные эффекты комбинированного применения протонов и АраЦ на физиологические показатели иммунокомпетентных органов крыс через 90 сут после облучения [7]. Проведена оценка токсичности АраЦ при

многократном введении. Установлено выраженное изменение гематологических показателей через 2 мес. после 5-кратного введения АраЦ на фоне отсутствия гистопатологических изменений в печени, селезенке и почках при рутинном гистологическом исследовании.

Изучено модифицирующее действие АраЦ при облучении протонами асцитной карциномы Эрлиха в условиях *in vivo* и *ex vivo*. Показано уменьшение скорости роста опухолей после облучения протонами в присутствии АраЦ в условиях как *in vivo*, так и *ex vivo*. Наиболее выраженные противоопухолевые эффекты АраЦ в комбинации с протонным излучением выявлены при облучении асцитных клеток *ex vivo*. Это может указывать на отличие действия АраЦ на клетки, облучаемые *in vivo* и *ex vivo* как на этапе первичного онкогенеза, так и в процессе развития сформировавшегося новообразования.

## РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИОЛОГИЯ И НЕЙРОРАДИОБИОЛОГИЯ

Проведен анализ функциональной активности головного мозга крыс после воздействия рентгеновского облучения (SARRP) в дозе 10 Гр (рис. 3). Показано статистически значимое снижение показателей абсолютной спектральной мощности электроэнцефалограммы (ЭЭГ): у тета-волны — в течение первых четырех суток, а у альфа-волны — в течение первых шести суток после рентгеновского облучения головного моз-

га крыс. Статистически значимое снижение бета-волны было выявлено только на третьи сутки после облучения.

Проведена оценка динамики нейровоспалительной реакции в мозге мышей линий ICR и C57BL/6 в краткосрочном (через 24 и 48 ч) и долгосрочном (спустя 2, 6 и 12 мес.) периодах после облучения протонами в пике Брэгга в дозе 2, 5 и 10 Гр. Для этого были выполнены измерения



Дубна, 19 февраля. Визит в ЛРБ представителей ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна (Москва) и специалистов ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр медицинской радиологии и онкологии» ФМБА России (Дмитровград)

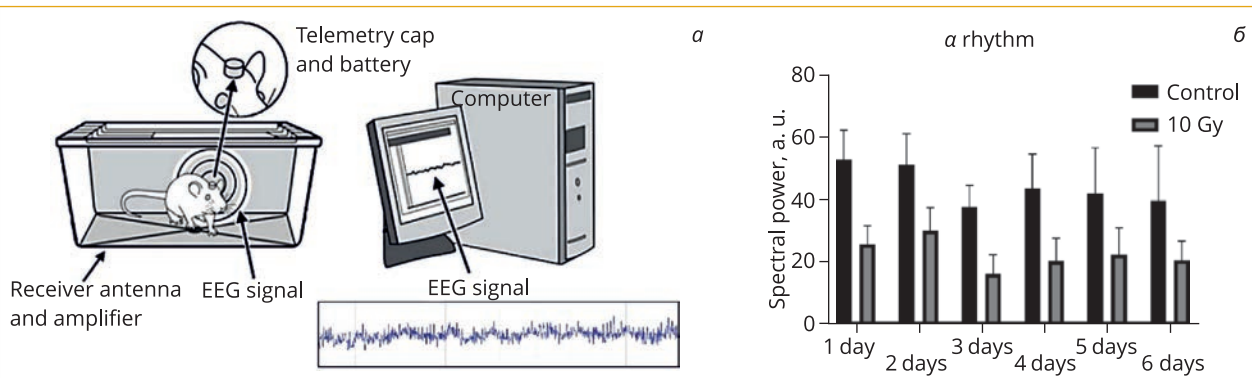


Рис. 3. а) Схема измерения сигнала ЭЭГ у облученных крыс. б) Спектральная мощность альфа-волн в разные сроки после облучения рентгеновским излучением в дозе 10 Гр на установке SARRP

уровней IL-1beta, аргиназы I и индуцибельной NO-синтазы в гомогенатах мозга мышей. Полученные концентрации нормировали на количество общего белка в образцах. При исследовании содержания IL-1beta было выявлено снижение секреции цитокина спустя 48 ч в после облучения протонами в дозе 10 Гр, а через 6 и 12 мес. отмечалось дозозависимое снижение его концентрации в гомогенатах мозга мышей. Показано статистически значимое снижение содержания аргиназы I в мозге мышей в краткосрочном периоде после облучения протонами в дозе 10 Гр.

Также отмечено уменьшение уровня аргиназы I в гомогенатах мозга через 2 и 12 мес. после облучения. При исследовании концентрации индуцибельной NO-синтазы статистически значимых различий между группами животных не выявлено. Анализ полученных данных свидетельствует, что изучаемые биомолекулы являются важными компонентами развития нейровоспалительного ответа. Исходя из этого изучение их содержания становится перспективным направлением для прогнозирования и профилактики воздействия радиации на ЦНС.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ

Проведено математическое моделирование индукции и репарации разрывов хроматина в нормальных и опухолевых клетках при действии рентгеновского и гамма-излучений. Определено среднее количество ДР ДНК в области одного разрыва хроматина. Показано хорошее согласие расчетных кривых с экспериментальными данными, полученными методом преждевременной конденсации хроматина, что делает возможным прогнозирование клеточного ответа на облучение [8].

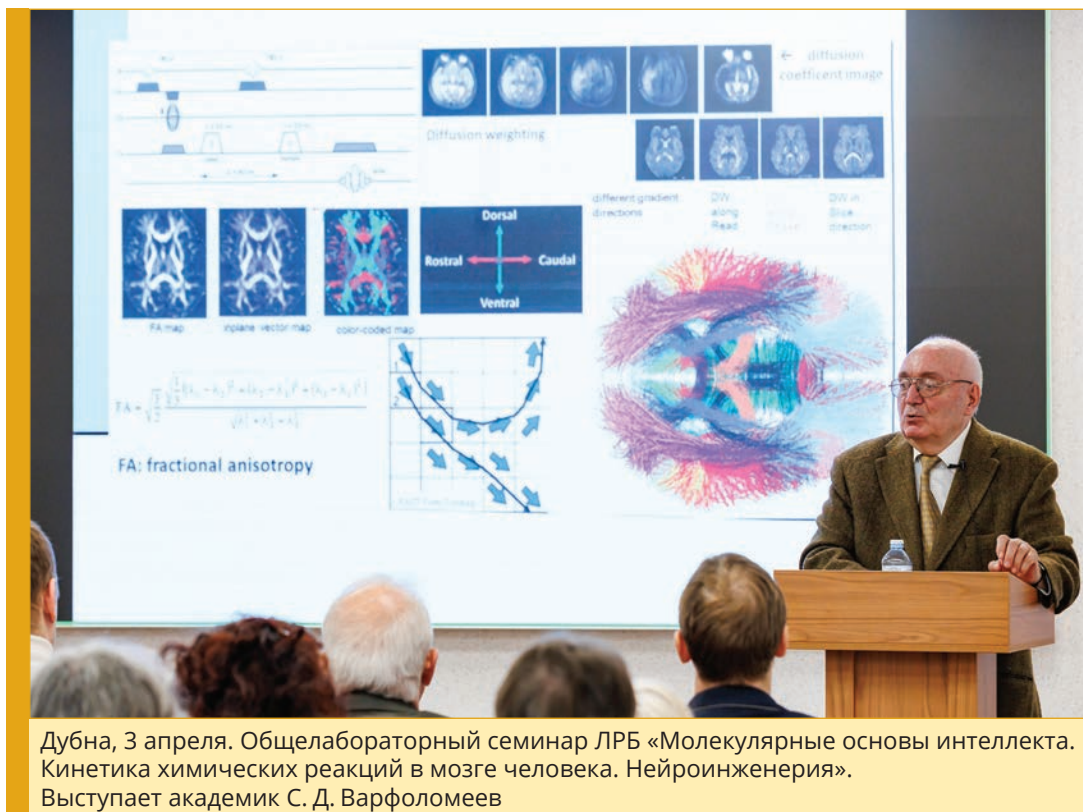
Проведено моделирование действия пучков эпитепловых нейтронов на клетки опухолей мозга при различных концентрациях наночастиц бора в клетке. С использованием программного пакета Geant4-DNA оценен выход ДР ДНК при различных геометриях ядра клеток и концентрациях бора [9].

С помощью методов молекулярно-динамического моделирования показано, что окисление аминокислотных остатков белков глутаматных рецепторов вследствие их взаимодействия с продуктами радиолитического распада может приводить к нарушению работы нейронных сетей головного мозга. В результате исследования получены электрофизиологические характеристики модели нейронной сети гиппокампа в зависимости от

модификаций ионного канала рецептора. Определен характер зависимости пиковых значений спектра мощности основных ритмов ЭЭГ в зависимости от проводимости рецепторов AMPA и NMDA с модифицированным триптофаном [10].

Рассмотрены механизмы формирования прямых и не прямых молекулярных повреждений в генетическом аппарате и синапсах нервных клеток за счет физических процессов, ведущих к разрывам связей, и химических реакций с продуктами радиолитического распада воды. Изучены физические и химические процессы, а также геометрические формы биологической мишени, которые играют важную роль в радиационно-индуцированных эффектах на уровне отдельных нейронов и их популяции [11].

Предложена биофизическая модель формирования основных типов радиационно-индуцированных повреждений оснований, однонитевых и двунитевых разрывов ДНК в клетках млекопитающих и человека при взаимодействии с интенсивными лазерными импульсами видимого и ближнего ИК-диапазонов. Показано, что в формировании повреждений ДНК основные вклады вносят эффекты многофотонной фотоионизации, лавинной ударной ионизации и взаимодействие с продуктами радиолитического распада воды [12].



Дубна, 3 апреля. Общелабораторный семинар ЛРБ «Молекулярные основы интеллекта. Кинетика химических реакций в мозге человека. Нейроинженерия». Выступает академик С. Д. Варфоломеев

Разработана математическая модель выживаемости гетерогенной популяции нервных стволовых клеток (НСК). В рамках модели рассчитана выживаемость НСК в зависимости от возраста и влияния облучения рентгеновскими лучами, гамма-лучами и частицами  $^{56}\text{Fe}$  в интервалах доз от 0 до 5 Гр. Модель воспроизводит экспериментальные данные и предсказывает появление

двух режимов выживания НСК в ответ на облучение, различающихся скоростью активации процесса деления покоящихся нервных стволовых клеток. Рассчитаны кривые выживаемости делящихся клеток-предшественников, незрелых нейронов и зрелых нейронов после облучения ускоренными ионами  $^{12}\text{C}$ ,  $^{28}\text{Si}$  и  $^{56}\text{Fe}$  [13].

## РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Продолжается разработка новых подходов к моделированию смешанных радиационных полей на ускорителях тяжелых заряженных частиц для проведения радиобиологических экспериментов. Разработана математическая модель симулятора галактического космического излучения — специальной установки, потенциально способной воспроизводить на пучке релятивистских тяжелых ядер смешанное поле ионизирующего излучения для имитации радиационных условий космоса [14]. В рамках данной работы создана программа расчета спектров первичных частиц галактического космического излучения при различной солнечной активности, устанавливаемой числом Вольфа. Результаты компьютерного моделирования показывают, что предлагаемая схема симулятора может быть реализована в рамках комплекса NICA на станции для исследований медико-биологических объектов (СИМБО) для проведения уникальных радиобиологических экспериментов в полях

излучения, имитирующих радиационные поля в космосе. Результаты проведенного цикла работ легли в основу диссертации, защита которой успешно прошла в 2024 г. [15].

Продолжаются работы по моделированию радиационных условий в помещениях ускорительного комплекса NICA. Совместно с сотрудниками ЛФВЭ успешно завершена работа по моделированию радиационной обстановки на станциях и каналах для прикладных исследований СИМБО и ИСКРА на базе комплекса NICA. Рассчитаны предельные интенсивности, при которых соблюдается установленное зонирование помещений для персонала. Полученные оценки показывают, что принятые конструктивные решения обеспечат соблюдение норм радиационной безопасности при эксплуатации станций с определенными в результате моделирования предельными интенсивностями пучка.

Совместно с ЛНФ выполнена работа по восстановлению спектров нейтронов с помощью

многоосферного спектрометра Боннера [16]. Получены результаты измерения энергетических спектров нейтронов за биологической защитой на источнике резонансных нейтронов (ИРЕН) ЛНФ ОИЯИ при энергиях электронов 60 и 100 МэВ. Определены мощности эффективной дозы нейтронов в точках измерения, что важно как для оценки радиационной обстановки на ИРЕН, так и для сравнения с показаниями нейтронных дозиметров автоматизированной системы радиационного контроля. Выполняются

работы по восстановлению спектра нейтронов с помощью программы RECONST. Продолжается разработка нового метода восстановления энергетических спектров нейтронов с использованием разложения спектра нейтронов по смещенным полиномам Лежандра с применением регуляризации Тихонова по показаниям спектрометра Боннера [17]. Продолжаются работы по созданию опытного образца дозиметра высокоэнергетических нейтронов ДВН-1.

## АСТРОБИОЛОГИЯ

Продолжено сравнительное микропалеонтологическое исследование метеоритов Allende, Dhofar 019, Jbilet Winselwan, Kilabo, Murchison, NWA 10178, Orgueil, Tissint, а также образцов нижнепротерозойских гнейсов Восточных Саян (2,5–1,65 млрд лет) с помощью сканирующего электронного микроскопа с рентгеновским микроанализатором. В ходе изучения в образцах метеоритов были сделаны новые находки остатков прокариотических и эукариотических микроорганизмов.

Опубликована коллективная монография «Астробиология» [18]. Данное издание является первой попыткой обобщения накопленных знаний по астробиологии. В ее создании приняли участие специалисты из разных стран и областей

науки. Главный редактор книги — начальник сектора астробиологии ЛРБ ОИЯИ, известный советский и российский специалист в области биологии, геологии, палеонтологии и стратиграфии академик А. Ю. Розанов. В книге изложены история развития взглядов на вопрос происхождения жизни, этапы становления астробиологии как науки, описаны фактология и модели, на которых это мировоззрение основано, и очерчен круг нерешенных вопросов и перспективных направлений исследований. В издание вошли результаты, предоставленные большим коллективом авторов из ОИЯИ, ПИН РАН, ИФХИБПП РАН, ИНМИ РАН, ИК СО РАН, ИФЗ РАН, U. S. Space & Rocket Center.



Академик А. Ю. Розанов и ряд соавторов монографии «Астробиология»

## КОНФЕРЕНЦИИ И ОБРАЗОВАНИЕ

В течение 2024 г. сотрудники лаборатории приняли участие в 15 международных и российских научных конференциях.

16–18 октября в Дубне состоялась международная конференция «Актуальные проблемы радиационной биологии. Модификация радиационно-индуцированных эффектов». В ее работе приняли участие более 100 ученых-радиобиологов из Азербайджана, Армении, Беларуси, Вьетнама, Кубы, Монголии и России. К началу конференции опубликован сборник материалов (Дубна: ОИЯИ, 2024. 129 с.). Было заслушано 5 пленарных и 52 устных доклада, рассмотрено 10 стендовых сообщений, представленных молодыми учеными.

25–28 февраля проведена Международная школа по ядерным методам и прикладным исследованиям в области экологии, материаловедения и наук о жизни (NUMAR-2024, Варадеро, Куба), организованная ОИЯИ и Национальным агентством атомной энергетики и передовых технологий. В работе школы приняли участие свыше 30 студентов и молодых ученых из Доминиканской Республики, Коста-Рики, Кубы и Мексики.

Продолжался учебный процесс на кафедре биофизики университета «Дубна». В настоящее время на кафедре обучаются 27 студентов и 4 аспиранта. 3 студента успешно закончили обучение и получили диплом магистра по направлению «Физика».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чаусов В. Н., Кожина Р. А., Кузьмина Е. А., Туунчик С. И., Борейко А. В. Индукция двунитевых разрывов ДНК в опухолевых клетках при действии протонов и рентгеновского излучения в условиях влияния модификаторов // Государственный университет «Дубна». 30 лет в науке: Сб. науч. тр. Дубна, 2024. С. 99–105.
2. Shipilova E. A., Nasonova E. A., Melnikova L. A., Gordееv I. S., Lobachevsky P. N. Biological Efficiency of Different Quality X-Rays Estimated by mFISH Analysis of Chromosome Aberrations Induced *In Vitro* in Human Lymphocytes // III Intern. Sci. Conf. “Innovative Technologies of Nuclear Medicine and Radiation Diagnostics and Therapy”, Oct. 21–23, 2024.
3. Кошлань И. В., Кошлань Н. А., Исакова М. Д., Мельникова Ю. В., Беляева А. Г., Штемберг А. С., Клоц И. Н., Гвоздик Т. Е., Бугай А. Н. Цитогенетические нарушения в лимфоцитах крови обезьян *Mascaca mulatta* в отдаленные сроки после облучения ускоренными ионами криптона // Радиация, биология. Радиоэкология. 2024. Т. 64, № 2. С. 145–156.
4. Кошлань Н. А., Кошлань И. В., Мельникова Ю. В., Беляева А. Г., Штемберг А. С., Шамсутдинова О. А., Мухаметзянова Е. И., Гварамия И. А., Клоц И. Н. Динамика изменения гематологических, биохимических, цитогенетических параметров и неврологические проявления у обезьян, облученных ионами криптона высоких энергий // Авиакосм. и эколог. медицина. 2024. № 2. С. 105–112.
5. Замулаева И. А., Матчук О. Н., Селиванова Е. И., Мосина В. А., Абрамова М. Р., Сабуров В. О., Корякин С. Н., Иванов С. А., Каприн А. Д., Борейко А. В., Чаусов В. Н., Красавин Е. А. Эффекты фракционированного действия протонного излучения в комбинации с 1-β-D-арабинофуранозилцитозинном на мышиную меланому линии B16 *in vivo* // Письма в ЭЧАЯ. 2024. Т. 21, № 6(257). С. 1128.
6. Замулаева И. А., Матчук О. Н., Чурюкина К. А., Сабуров В. О., Корякин С. Н., Иванов С. А., Каприн А. Д., Красавин Е. А. Эффекты сочетанного действия нейтронного и протонного излучений на пул стволовых клеток рака молочной железы *in vitro* // Письма в ЭЧАЯ. 2025. Т. 22, № 1(258). С. 75–76.
7. Пронских Е. В., Колесникова И. А., Северюхин Ю. С., Утина Д. М., Голикова К. Н., Храшко Т. С., Лалковичова М., Молоканов А. Г. Исследование модифицирующего влияния 1-β-D-арабинофуранозилцитозина на иммунный статус крыс в отдаленный период при действии протонов // Письма в ЭЧАЯ. 2024. Т. 21, № 5(256). С. 1026–1032.
8. Батова А. С., Пилинская Д. Л., Душанов Э. Б., Насонова Е. А., Бугай А. Н. Кинетика репарации двунитевых разрывов ДНК в клетках млекопитающих при фотонном облучении // Письма в ЭЧАЯ. 2024. Т. 21, № 4(255). С. 814–818.
9. Togtokhtur T., Dushanov E. B., Kulahava T. A., Batmunkh M., Bugay A. N. Calculation of DNA Damage in the Tumor Cell on Boron Neutron Capture Therapy // Phys. Part. Nucl. Lett. 2024. V. 21. P. 811–814.
10. Аксёнова С. В., Батова А. С., Бугай А. Н., Душанов Э. Б. Моделирование сетевой активности нейронов при окислительной модификации глутаматных рецепторов // Актуал. вопр. биол. физики и химии. 2024. Т. 9, № 2. С. 136–142.
11. Батмунх М., Баярчимэг Л., Бугай А. Н. Математическое моделирование радиационно-индуцированных эффектов в структурах центральной нервной системы при действии тяжелых ускоренных заряженных частиц. Препринт ОИЯИ P11-2024-49. Дубна, 2024; ЭЧАЯ (в печати).
12. Bugay A. N. Biological Action of Intense Laser Pulses at the Molecular Level // Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys. 2024. V. 88, No. 6. P. 842–846.
13. Глебов А. А., Колесникова Е. А., Бугай А. Н. Анализ влияния дозозависимых эффектов облучения

- тяжелыми частицами  $^{12}\text{C}$ ,  $^{28}\text{Si}$  и  $^{56}\text{Fe}$  на нейрогенез у взрослых мышей C57BL/6j // ЭЧАЯ. 2024. Т. 55, вып. 4. С. 1136–1145.
14. *Gordeev I. S., Bugay A. N.* Computer Modeling of a New Type Galactic Cosmic Rays Simulator // *Comp. Phys. Commun.* 2024. V. 305. P. 109346.
  15. *Гордеев И. С.* Моделирование смешанных радиационных полей в космических аппаратах и на ускорителях заряженных частиц. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Дубна: ОИЯИ, 2024. 169 с.
  16. *Якубов Т. Р., Тимошенко Г. Н., Бескровная Л. Г., Швецов В. Н.* Измерения спектральных и дозовых характеристик поля нейтронов за биологической защитой источника ИРЕН при энергии электронов 60 МэВ // *Письма в ЭЧАЯ.* 2024. Т. 21, № 4(255). С. 911–922.
  17. *Chizhov K., Beskrovnaya L., Chizhov A.* Neutron Spectra Unfolding from Bonner Spectrometer Readings by the Regularization Method Using the Legendre Polynomials // *Phys. Part. Nucl.* 2024. V. 55. P. 532–534.
  18. *Алексеев А. О., Алексеева Т. В., Афанасьева А. Н., Гувер Р. Б., Капралов М. И., Ривкина Е. М., Рюмин А. К., Самылина О. С., Симаков М. Б., Снытников В. Н., Фронтасьева М. В., Цельмович В. А., Сапрыкин Е. А., Розанов А. Ю.* Астробиология / Под ред. А. Ю. Розанова, Е. А. Сапрыкина. Дубна: ОИЯИ, 2024. 199 с.

# УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС НА БАЗЕ ОИЯИ

В 2024 г. был организован учебный процесс для студентов базовых кафедр МГУ, МИФИ, МФТИ, государственного университета «Дубна», СПбГУ и КФУ. Стажировки и практики в ОИЯИ прошли 520 студентов из университетов государств-членов ОИЯИ.

УНЦ организовал процесс сдачи кандидатских экзаменов по специальности для семи сотрудников ОИЯИ, прикрепленных к базовой кафедре МФТИ «Фундаментальные и прикладные проблемы физики микромира». С 2018 г. кандидатские экзамены на кафедре сдал 51 человек.

### Возобновление работы совета УНЦ

29 ноября на заседании Научно-технического совета ОИЯИ обсуждалась задача привлечения в Институт высококвалифицированных научных кадров. НТС поддержал возобновление работы совета УНЦ с целью формирования стратегии развития образовательных программ в ОИЯИ и совершенствования работы по подготовке кадров. Состав совета был утвержден одним из последних приказов директора ОИЯИ в 2024 г.



Дубна, 3–21 июня. Студенты из университетов ЮАР — участники международной практики по направлениям исследований Института

## Программа INTEREST

В 2024 г. в двух этапах онлайн-программы INTEREST принимали участие 85 студентов и аспирантов из Беларуси, Бразилии, Вьетнама, Германии, Египта, Индии, Кубы, Мексики, Румынии, России, Турции, Узбекистана, Швеции. Программа включала в себя дистанционное участие в научных проектах, лекции и экскурсии в онлайн-формате. Число участников программы с 2020 г. достигло 416.

## Программа START

В зимней и летней сессиях программы START (STudent Advanced Research Training at JINR) 85 представителей Армении, Беларуси, Боливии, Египта, Индии, Казахстана, Кубы, Мексики, РФ, Сербии, Узбекистана и ЮАР очно выполняли исследовательские проекты под руководством сотрудников ОИЯИ в течение 6–8 недель. С 2014 г. в программе приняли участие 459 человек.

## Международная студенческая практика

В трех этапах очной Международной практики 2024 г. участвовали 73 студента из Армении, Беларуси, Вьетнама, Египта, Казахстана, Мексики, Сербии, ЮАР. Практики проводятся с 2004 г., ее участниками стали 1873 человека.

## Летняя школа ЮАР–ОИЯИ

С 15 января по 2 февраля в Южно-Африканской Республике в пятый раз проходила трехнедельная Летняя школа ЮАР–ОИЯИ. Студенты трех южноафриканских университетов снова

собрались в iThemba LABS. Десять сотрудников ОИЯИ из ЛФВЭ, ЛЯР, ЛНФ и УНЦ подготовили лекции, семинары, мастер-классы и выставочные демонстрации. В главном зале iThemba LABS была представлена мультимедийная выставка ОИЯИ, которая позволила студентам Летней школы и сотрудникам iThemba LABS ознакомиться с основными объектами ОИЯИ, с помощью VR-технологий увидеть ускорительный комплекс NICA и строительство нейтринного телескопа на озере Байкал. В программу были включены экскурсии по iThemba LABS, а также презентации студентов.

## Научная школа Росатома по новым материалам и перспективным энергосистемам

С 21 по 24 октября в ДМС ОИЯИ проходил второй модуль отраслевой научной школы «Новые материалы и технологии для перспективных энергетических систем» для молодых ученых. Осенний этап образовательной программы был посвящен изучению основ синтеза сверхтяжелых элементов и поведения материалов в экстремальных условиях. В программе принимали участие более 40 специалистов из 17 предприятий Росатома. Мероприятие было организовано Государственной корпорацией РФ по атомной энергии «Росатом» при поддержке ОИЯИ.

## Школа-интенсив для студентов

С 22 по 26 ноября в Дубне проводилась школа-интенсив по физике кварк-глюонной материи для 30 студентов 1–4-х курсов из МГУ, МФТИ, МИФИ, ВГУ, СПбГУ, университета «Дубна». Шко-



Дубна, апрель. Участники программы START на выставке «Базовые установки ОИЯИ»

ла-интенсив была посвящена подготовке к экспериментам по проверке фундаментальных знаний квантовой хромодинамики на установке класса «мегасайенс» — адронном коллайдере NICA.

### Мастерская физики «105-й элемент»

С 5 июля по 5 августа в рамках 21-й Летней школы проводилась мастерская физики «105-й элемент». Среди организаторов мастерской — сотрудники УНЦ, ЛРБ, ЛЯП, ЛФВЭ. Участниками мастерской стали студенты МГУ, МФТИ, НИЯУ МИФИ, СПбГУ, вузов Тулы и Новосибирска, изучающие физику, радиобиологию, математику и IT. В мастерской проводились лекции по нейтринной физике, медицинской физике, по ускорителям заряженных частиц, о применении нейтронов в экологии, об ионизирующем излучении в космосе, о нейронных сетях и др. Для слушателей школы были организованы экскурсии на базовые установки ОИЯИ.

### Практикумы для студентов

Участниками инженерных практикумов УНЦ в 2024 г. стали 83 человека из России (государственного университета «Дубна», ДВФУ, СПбГУ, МИФИ), Вьетнама, Кении, Мексики, Польши, Сербии и ЮАР. Продолжается работа по развитию практикумов (в том числе по увеличению количества рабочих мест).

### Работа с информационными центрами ОИЯИ

В Тунисе 4, 22 апреля и 4 июня при содействии общества женщин — ученых-ядерщиков Туниса Women in Nuclear Tunisia в созданном в 2023 г. Информационном центре ОИЯИ в штаб-квартире Арабского агентства по атомной энергии

(ААЕА) проходили совместные с ОИЯИ научные мероприятия, на которых с лекциями из области наук о жизни выступили сотрудники ОИЯИ. Мероприятия вызвали большой интерес, например, один из вебинаров привлек внимание значительного числа слушателей из Туниса, Ливии, Египта, Йемена, Сирии, Ирака, Иордании и других стран — около 60 участников в Zoom и около 400 в социальной сети.

9 декабря в ЮАР на базе научно-исследовательской лаборатории iThemba LABS состоялось открытие Информационного центра ОИЯИ. Это уже двенадцатый инфоцентр Института. На открытии присутствовали руководители университетов и научных центров из ЮАР и стран-партнеров ОИЯИ. Открытие сопровождалось семинаром по привлечению молодежи в науку с участием представителей информационных центров в Алматы, Владикавказе, Иркутске, а также руководства университета «Дубна». Работа инфоцентра в iThemba LABS будет способствовать дальнейшему развитию и реализации программ подготовки кадров в рамках совместных проектов и созданию новых инструментов для привлечения молодежи в науку.

### Образовательные вопросы и программы ОИЯИ для подготовки кадров на международных встречах

Доклады сотрудников УНЦ о программах подготовки кадров, о взаимных визитах и возможностях для студентов и молодых ученых, о развитии партнерской сети были представлены на следующих международных встречах, совещаниях, конференциях и школах:

- круглый стол «Международные аспекты подготовки кадров для крупных научных проектов» в рамках 31-й Международной конферен-



ЮАР, февраль. Делегация ОИЯИ в ходе посещения вузов ЮАР для обсуждения сотрудничества

ции «Математика. Компьютер. Образование», 23 января, Дубна;

- встреча с представителями университетов Азербайджанской Республики, 23–24 января, Дубна;
- Международная школа по ядерным методам и прикладным исследованиям в области экологии, материаловедения и наук о жизни (NUMAR-2024), 25–28 февраля, Варадеро, Куба;
- встреча представителей дирекции ОИЯИ, руководителей УНЦ, ЛНФ, ЛРБ, ЛИТ с делегацией из Бразилии во главе со статс-секретарем по вопросам политики и стратегических программ Министерства науки, технологий и инноваций Бразилии, 28 февраля, Дубна;
- совещание ОИЯИ–Куба по прикладным исследованиям и развитию кадрового потенциала, 1 марта, Гавана, Куба;
- 24-я Международная стажировка для руководителей науки и естественно-научного образования (JEMS-24), 11–15 марта, Дубна;
- круглый стол «Международное научно-технологическое сотрудничество в новых условиях» в рамках 11-го Международного форума «Технопром-2024», 27 августа, Новосибирск;
- 13-я Международная конференция «International Conference on Photonics and Applications», а также рабочие встречи и круглые столы в научных и образовательных центрах в г. Ханое и г. Хошимине, 13–19 октября, Вьетнам;
- 4-й Конгресс молодых ученых, федеральная территория «Сириус», 27–29 ноября.

## Сотрудничество с университетами

На встрече в Дубне 1 марта представители дирекции ОИЯИ, руководители УНЦ, ЛИТ, ЛФВЭ и Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана обсудили расширение научного сотрудничества. Перспективными областями были названы проекты в области вакуумных систем и криогенных систем и автоматизации процессов. Обсуждалась возможность участия студентов и аспирантов МГТУ в конференциях и школах, проводимых в ОИЯИ, в профориентационных мероприятиях Института, а также защита квалификационных работ студентов МГТУ под научным руководством ученых ОИЯИ.

Визит сотрудников УНЦ, ЛИТ, ЛФВЭ в Томский политехнический университет 3–6 марта проходил в рамках сотрудничества в области подготовки кадров для мегаустановок России и профориентационной работы со школьниками. Мероприятия проводились Информационным центром ОИЯИ, организованным на базе Томского политеха в 2022 г. В программе — презентация нового учебно-методического комплекса для изучения физики на углубленном уровне в школе, открытые лекции для студентов, встречи с ма-

гистрантами, аспирантами и с преподавателями вуза, со школьниками и учителями.

8 апреля состоялся визит делегации Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга в ОИЯИ. На встрече с представителями дирекции и УНЦ обсуждались вопросы научного сотрудничества и реализации новых совместных образовательных программ. В рамках программы визита гости посетили научные объекты в лабораториях ОИЯИ и ознакомились с инженерным практикумом в УНЦ.

29 июля на встрече представителей правительства Приморского края и дирекции ОИЯИ, УНЦ и ЛИТ обсуждался комплекс вопросов, связанных с развитием сотрудничества в области подготовки высококвалифицированных кадров. Стороны обсудили дальнейшее развитие сотрудничества Приморского края с ОИЯИ по широкому спектру вопросов, включая возможности для школьников и студентов, а также повышение квалификации школьных учителей. Точкой входа для учащихся приморских школ, студентов и педагогов в ОИЯИ является инфоцентр Института, действующий с 2022 г. на базе Дальневосточного федерального университета.

## Профориентационные мероприятия

Сотрудники УНЦ совместно с представителями лабораторий ОИЯИ участвовали в организации выставок и лекций на различных мероприятиях:

- День науки, 7–9 февраля;
- Неделя высоких технологий и предпринимательства, 18–24 марта;
- день карьеры на физическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова, 11 апреля;
- ярмарка трудоустройства «Работа России. Время возможностей» на площадке ОЭЗ «Дубна», 11 апреля;
- день открытых дверей МФТИ, 14 апреля;
- карьерная ярмарка «На старт» в НИЯУ МИФИ, 25 апреля;
- «Дубна — город профессий», 1 июня;
- день карьеры МФТИ, 7 июня;
- День наукоградов, выставка достижений предприятий Дубны, 14 июня;
- «Мир науки и чудес», 1 сентября;
- Всероссийский фестиваль науки «Наука 0+» в Москве (парк «Зарядье» и библиотека МГУ), 11–13 октября;
- день открытых дверей базовой кафедры МФТИ «Фундаментальные и прикладные проблемы физики микромира», 3 ноября;
- областная профориентационная акция для выпускников средних образовательных учреждений в ОЭЗ «Дубна», 27 ноября;
- день карьеры физфака МГУ, 28 ноября.

## РАБОТА С УЧИТЕЛЯМИ И ШКОЛЬНИКАМИ

### Научные школы для учителей физики в ОИЯИ в 2024 г.

В марте–декабре проводились:

- школа для учителей физики из Иркутской, Воронежской и Саратовской областей, 25–29 марта;
- 13-я научная школа для учителей физики из различных регионов РФ: Архангельской, Иркутской, Калужской, Новосибирской, Оренбургской, Самарской, Саратовской, Ульяновской областей, Ямало-Ненецкого АО, Башкортостана, Крыма, Удмуртии, а также из Санкт-Петербурга и Ставрополя, 8–12 июля;
- школа для учителей физики из городов присутствия Росатома, 28 октября – 1 ноября;
- Первая научная школа для учителей Республики Беларусь, 2–6 декабря.

В программы мероприятий входили ознакомительные лекции, экскурсии, мастер-классы, знакомство с учебником «Физика 7–9. Инженеры будущего».

### Мероприятия для школьников. Взаимодействие с образовательными учреждениями города

В Дубне при поддержке ОИЯИ работают межшкольный физико-математический факультатив, физический практикум УНЦ и Яндекс.Лицей.

В середине июня состоялся четвертый выпуск слушателей в Яндекс.Лицее. Полный двухгодичный курс обучения завершили более 50 уче-

ников. В Дубне Яндекс.Лицей работает с 2019 г. при активной поддержке ОИЯИ, и в 2024 г. прошел уже шестой набор первокурсников. УНЦ является куратором Яндекс.Лицея со времени его открытия в Дубне.

В 2024/2025 учебном году в межшкольном физико-математическом факультативе организованы занятия по физике и математике для учащихся 5–10-х классов.

### Школы для старшеклассников

- Научно-инженерная школа-интенсив для старшеклассников из Томска, 24–26 июня, Дубна;
- 36-я Летняя международная компьютерная школа (МКШ-2024), 5–17 июля, Ратмино;
- 13-я Летняя школа «Физика. Математика. Информатика» в государственном университете «Дубна», 7–17 июля, Дубна;
- 4-я научная школа для слушателей Школьного университета при Академии научных исследований и технологий Египта, 10–14 сентября, Дубна;
- Международная научная школа для старшеклассников Дубны и Астаны (Казахстан), 18–22 ноября, Дубна.

В программу школ входили лекции, экскурсии и практикумы.

### Фестиваль науки «Дни физики»

1 июня УНЦ ОИЯИ в сотрудничестве с молодыми учеными из ОМУС ОИЯИ проводили в Дубне традиционный фестиваль науки «Дни



25–29 марта. Школа для учителей физики из Иркутской, Воронежской и Саратовской областей



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 24 июня. Старшеклассники томской Заозерной школы на ознакомительной экскурсии в лаборатории



Дубна, 10–14 сентября. 4-я научная школа для слушателей Школьного университета при Академии научных исследований и технологий Египта. На экскурсии в ЛФВЭ

физики». Его участниками стали более 85 учащихся 4–9-х классов школ Дубны. В программе фестиваля: опыты, демонстрации и мастер-классы из различных областей физики, показ работы устройств, использующих физические законы. В 2024 г. фестиваль проходил на двух площадках города: в лицее № 6 им. Г. Н. Флорова и в корпусе УНЦ.

### Турнир по робототехнике «CyberDubna»

13 апреля проходил 13-й открытый региональный турнир по робототехнике «CyberDubna», организованный УНЦ на базе Физико-математического лицея им. В. Г. Кадышевского. В нем принимали участие 14 команд из городов Долгопрудный, Дмитров, Дубна, Протвино, Санкт-Петербург и пос. Запрудня. На заседании круглого стола наставники команд и педагоги дополни-

тельного образования обсудили возможности расширения сети учебных технических хакатон с целью привлечения участников и наметили план мероприятий на следующий учебный год с использованием различных площадок на территории Московской обл.

### Технический хакатон

24–25 февраля УНЦ в седьмой раз проводил технический хакатон «Дубна-2024», соорганизаторами которого выступили Физико-математический лицей им. В. Г. Кадышевского и колледж «Дубна». В мероприятии участвовали 38 учащихся 5–10-х классов школ и младших курсов колледжей из Дмитрова, Дубны, Запрудни и Серпухова. Программа включала образовательные

мастер-классы, самостоятельные задания для участников по разработке, конструированию и программированию, а также различные тематические конкурсы.

22–23 ноября проводились отборочные туры технического хакатона «Дубна-2025» для начинающих по основам робототехники. В них приняли участие 17 команд из школ северного Подмосковья: Дубны, Дмитрова, Сергиева Посада, Талдома и пос. Вербилки.

### Визиты

В рамках профориентационной работы в очном и онлайн-режимах было организовано 64 экскурсии и 31 лекция для инфоцентров ОИЯИ, для групп школьников и студентов.

## ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ И ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ

Начались систематические работы по использованию инженерного практикума УНЦ для повышения квалификации сотрудников лабораторий ОИЯИ, первыми обучаемыми стали молодые сотрудники из стран-участниц Института.

В 2024/2025 учебном году 92 сотрудника ОИЯИ занимается в группах английского языка.

В ноябре открыл свои двери Русский разговорный клуб УНЦ ОИЯИ. Первые участники клу-

ба — 29 представителей Вьетнама, Египта, Индии, Китая, Кубы, Монголии, Румынии, Чехии, ЮАР. Ежедневные встречи клуба охватывали следующие темы: нормы этикета и речи, жизнь и проблемы, знакомство с культурой и традициями России.

50 студентов из колледжа университета «Дубна», колледжа МЭИ и Дмитровского техникума прошли практику в ОИЯИ.



Дубна, сентябрь. Презентация нового учебно-методического комплекса по физике для школьников «Физика 7–9. Инженеры будущего»



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**  
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 2832195

Способ изготовления соединения высокотемпературопрочных сверхпроводящих кабелей

Патентообладатель: *Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) (RU)*

Авторы: *Шемчук Андрей Васильевич (RU), Ильин Максим Валерьевич (RU), Новиков Михаил Станиславович (RU)*

Заявка № 2024102420  
Приоритет изобретения 31 января 2024 г.  
Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 23 декабря 2024 г.  
Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 31 января 2044 г.

Руководитель: \_\_\_\_\_

# ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

# ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

## ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

В 2024 г. продолжались работы по созданию Инновационного центра ядерно-физических исследований в сфере наук о жизни, биомедицинских технологий, радиационной биологии и радиационного материаловедения, а также экологии и информационных систем. В рамках данной инициативы для специалистов из стран-участниц, работающих над прикладными задачами и созданием новых технологий, формируется специализированная пользовательская инфраструктура вокруг действующих уникальных установок ОИЯИ, создаются новые установки, имеющие значительный потенциал использования в инновационной сфере.

В ЛФВЭ с завершением монтажа магнитной системы и с созданием соответствующей инженерной инфраструктуры для доставки и гибкого управления пучками заряженных частиц, используемыми в новых станциях для прикладных исследований — ИСКРА (испытательной станции компонентов радиоэлектронной аппаратуры) и СИМБО (станции исследований медико-биологических объектов), полностью подготовлена к работе зона прикладных исследований на базе выведенных пучков ускорительного комплекса NICA (ARIADNA — работы в области наук о жизни, биомедицинские приложения, исследования радиационной стойкости полупроводниковой электроники, ядерно-физические данные для новой энергии; пучки с энергиями от МэВ/нуклон до ГэВ/нуклон).

Продолжается разработка вспомогательного оборудования зоны прикладных исследований, детекторных и дозиметрических систем, идет создание целевой лаборатории ИМБП РАН для совместных работ в области космической биологии и медицины, изучения радиационно-защитных свойств материалов для космических аппаратов и радиобиологических исследований на лабораторных животных.

В коллаборации ARIADNA (в 2024 г. в нее вошли четыре новые организации из России, Беларуси и Узбекистана) выполнена серия научно-методических работ в области наук о жизни и радиационного материаловедения. В целях повышения эффективности регистрации двунитевых разрывов

ДНК — наиболее тяжелых повреждений, формируемых при воздействии ускоренных ионов, совместно с ФМБЦ им. А. И. Бурназяна был разработан метод экспресс-оценки количества фокусов белков репарации ДНК уН2АХ и фосфорилированного АТМ (рАТМ) в облученных клетках. В области радиационного материаловедения в сотрудничестве с Федеральным исследовательским центром химической физики им. Н. Н. Семенова РАН методами оптической спектроскопии, спектроскопии диффузного и зеркального отражения исследованы оптические характеристики пленок терморadiационно-модифицированного политетрафторэтилена (ТРМ-ПТФЭ) толщиной 100 мкм, облученных ионами ксенона с энергией 3,2 МэВ/нуклон и протонами с энергией 260 МэВ.

На установке СОЧИ (станции облучения чипов, ARIADNA) было проведено пять сеансов облучения декапсулированных микросхем. Облучено шесть типов микросхем с целью исследования воздействия импульсной структуры пучка на электронно-компонентную базу. Усовершенствовано диагностическое оборудование станции, позволяющее с высокой достоверностью определять основные параметры ионных пучков и потоков ионов на мишень.

Продолжались работы по развитию технологии высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП): разработан модельный магнит с обмоткой из ВТСП-кабеля для работы при температуре 50 К, изготовлена и запущена в эксплуатацию машина для изготовления кабеля типа нуклотрон из ВТСП.

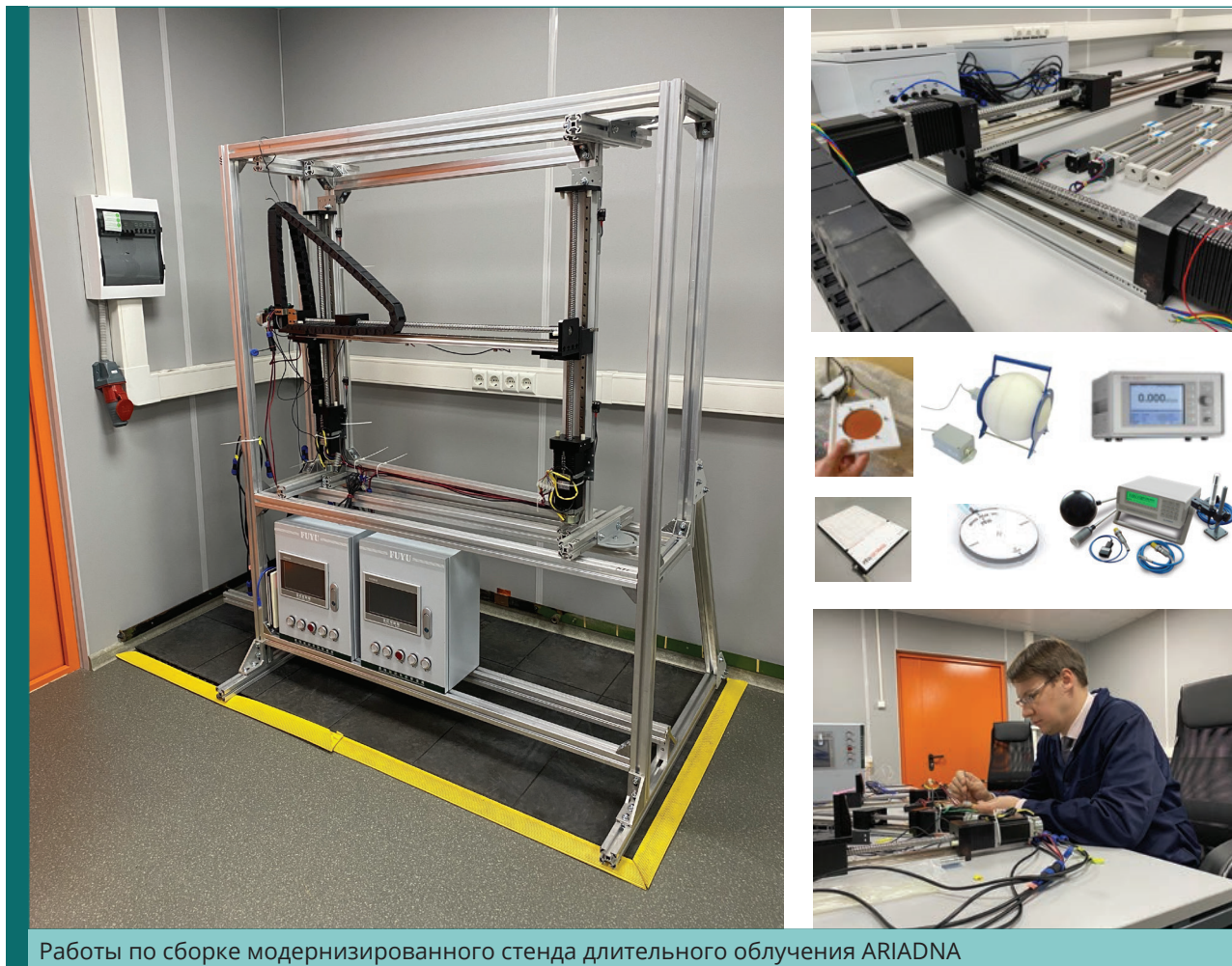
В ЛЯП был подготовлен запуск новой базовой установки ОИЯИ с высоким потенциалом использования в прикладных и инновационных проектах, в том числе в области радиационного материаловедения, радиобиологии и радиохимии, — Линак-800 на базе электронного ускорителя, где для экспериментов будут доступны пучки в широком диапазоне энергий: от 24 до 800 МэВ. Закончены разработка и монтаж систем безопасности ускорителя АСРК (автоматической системы радиационного контроля) и СБИС (системы блокировки и сигнализации) линейного ускорителя электронов Линак-800. Были реализованы три



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, февраль.  
Торжественное открытие станций для прикладных исследований на NICA по проекту ARIADNA



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина. Каналы транспортировки пучков в зоне прикладных исследований на базе выведенных пучков ускорительного комплекса NICA



Работы по сборке модернизированного стенда длительного облучения ARIADNA

вывода для энергий: 24, 133,5, 207 МэВ. Завершается подготовка магнитов и вакуумных камер для вывода на 60 МэВ.

В рамках разработки медицинского сверхпроводящего циклотрона МСЦ-230 (рис. 1), предназначенного для проведения протонной лучевой терапии и медико-биологических исследований,

проведены расчеты характеристик электромагнита, резонансной системы, динамики пучка протонов в зоне ускорения и вывода циклотрона, а также завершены проектирование и изготовление гелиевого рефрижератора. Продолжаются техническое проектирование систем циклотрона и подготовка инфраструктуры для проведения



Рис. 1. 3D-модель циклотрона МСЦ-230



Рис. 2. Препаративная система тангенциальной фильтрации для R&D и биотехнологий (ЦПФ ЛЯР)

криогенных испытаний сверхпроводящего соленоида.

В Центре прикладной физики (ЦПФ) ЛЯР развиваются новые направления поисковых исследований и разработок, нацеленных на создание продуктов и технологий на базе трековых мембран. Создана препаративная система тангенциальной фильтрации, предназначенная для быстрой микро-, ультра- и диафильтрации проб (культуральной среды, плазмы крови, буферных и прочих растворов) (рис. 2). Это уникальная технология получения пористых структур с регулируемой степенью анизотропии в полиэфирных пленках, которая позволяет ориентировать микрокапилляры в полимерной матрице заданным образом, прецизионно задавать радиус этих капилляров и объемную пористость. Таким образом можно получать трековые мембраны, обладающие преимущественным направлением ориентации пор, что обеспечивает предпочтительное направление для движения фронта жидкости.

Данный результат позволяет начать работы по созданию иммунохроматографических тест-полосок, предназначенных для простого, быстрого и недорогого средства первичного обнаружения заболевания или состояния организма по технологии point-of-care (по месту лечения).

Совместно с НМИЦ эндокринологии продолжались исследования, направленные на разработку имплантируемого биореактора для последующей загрузки тканеинженерным материалом и питательной средой с целью оценки применимости трековой мембраны в качестве материала для создания тканеинженерной конструкции (поджелудочной железы) с различными инсулинпродуцирующими клетками.

Были продолжены работы в партнерстве с инновационными компаниями, в том числе с резидентами ОЭЗ «Дубна». В ЦПФ ЛЯР реализуется проект, нацеленный на разработку новых материалов для водородной энергетики и преодоление недостатков существующих коммерческих

протонпроводящих мембран, в котором изучается возможность создания гибридных мембран на основе модифицированных фторированных пленок для применения в качестве протонпроводящих мембран для водородно-воздушных и метанольных топливных элементов. Для использования в стоматологии разрабатывается костно-пластический материал (барьерная мембрана) на основе трековых мембран, покрытых методом электроспиннинга слоем коллагена. Продолжались совместные с промышленным партнером эксперименты по использованию микропланшетов, полученных с применением ионно-трековых технологий, а также с разработанной совместно со специалистами сектора молекулярной генетики ЛЯП модифицированной трековой мембраной, способной избирательно аккумулировать макромолекулы ДНК. Перспективным направлением применения этих разработок является лабораторная диагностика резистентности бактерий к антимикробным препаратам.

Совместно с партнером из ОЭЗ «Дубна» в ЛНФ и ЦПФ ЛЯР ведутся исследования по созданию доступных биоподобных роговичных графтов длительного хранения, пригодных для основных видов кератопластики и обладающих высокой степенью биосовместимости, что, как ожидается, позволит полноценно заменить человеческий донорский материал в офтальмологии. Оптимизация параметров развиваемого метода проведена по результатам экспериментов по малоугловому рентгеновскому рассеянию (МУРР) на станции USAXS/SAXS/WAXS XEUS 3.0.

В рамках проекта TANGRA специалистами ЛНФ и ЛФВЭ в сотрудничестве с промышленным партнером и профильными институтами продолжались работы по созданию мобильной установки и отработке методики определения содержания углерода в почве для использования в рамках мониторинга эмиссии и поглощения парниковых газов, а также разработки более экологических технологий агроиндустрии и климатических проектов. Проведены совместные



Сканер на основе меченых нейтронов (ЛНФ и «Диамант») на беспилотной транспортной платформе, созданной в университете «Дубна»

со специалистами профильных климатических и агрополигонов эксперименты по применению разработанного в ОИЯИ сканера на основе метода меченых нейтронов в полевых условиях с использованием различных вариантов беспилотных транспортных платформ, в том числе платформы, созданной в университете «Дубна».

В ЛЯП в рамках проекта «Новые полупроводниковые детекторы для фундаментальных и прикладных исследований» продолжается создание полупроводникового пиксельного энергочувствительного детектора, работающего в режиме регистрации отдельных фотонов (SPC-детектора). Главные области применения таких детекторов: компьютерная томография (КТ) для медицинской диагностики и для аппаратов, неразрушающий контроль готовых изделий в промышленности.

Ключевой элемент SPC-детектора — пиксельная микросхема (ASIC). Разработка собственной микросхемы JMed ведется в ЛЯП совместно с коллегами из НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета. В феврале 2024 г. на АО «Микрон» (Зеленоград) в рамках MPW тестового проекта была запущена в производство первая часть JMed — аналоговый усилитель.

Совместно с коллегами из МГУ ведутся разработка и изучение оксидных наночастиц ( $\text{Ln}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) и их композитов (КА) для создания новых способов визуализации в медицине. Разработаны новые методы идентификации КА в КТ, позво-

ляющие определять наличие КА и измерять их концентрацию, начиная от 0,1 мг/мл.

Разработан счетчик нейтронов для измерения потоков нейтронов на уровне  $10^{-6} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , и получен патент № 226117 «Компактный низкофоновый счетчик нейтронов на основе гелий-3». Для поиска безнейтринного двойного  $\beta$ -распада  $^{130}\text{Te}$  разработан сцинтиллятор на основе полистирола и комплекса оксида дифенилтеллура с ди-(2-этилгексил) фосфорной кислотой. Световых выход (доля металла 1 %) образцов относительно стандартного пластика составляет ~ 60 %. Методом ускоренных климатических испытаний спрогнозирован срок службы сцинтиллятора, который составляет ~ 4 года (до уменьшения световых выходов на 10 %).

Участники проекта от России, Болгарии, Азербайджана и ЮАР провели запуск масс-спектрометра (МС-ИСП). Определены выходы реакций  $^{59}\text{Co}(\gamma, xn)^{55-58}\text{Co}$ ,  $^{52-56}\text{Mn}$ ,  $^{49,51}\text{Cr}$  с использованием тормозного излучения Линак-200 при энергии электронов 40–130 МэВ. Впервые измерено отношение выходов для изомерной пары  $^{52m/52g}\text{Mn}$  в области 80–130 МэВ. Расчетные сечения по программе TALYS-1.96 оказались в согласии с экспериментальными данными.

В рамках проекта «Прецизионная лазерная метрология для ускорителей и детекторных комплексов» с помощью инклинометров проводилось мониторингирование «балконов» для вывода пучков в зал MPD коллайдера NICA. Проведен эксперимент по определению собственных частот «балкона», они составляют 2,5, 5, 7,5 и 9 Гц.



Дубна, 10–20 сентября. Делегация из Вьетнама — участники рабочего совещания по ускорительным технологиям на установке Линак-200 в ЛЯП



Установка позитронной аннигиляционной спектроскопии (ПАС)

В течение 2024 г. разрабатывался прецизионный лазерный инклинометр (ПЛИ) нового типа — интерферометрический (ИПЛИ). Принцип его действия использует запатентованные технические решения. Создан прототип прибора, на котором исследовались: температурная стабильность ИПЛИ, влияние мощности лазера, необходимость использования вакуумирования. Основная задача — создание инклинометра более простого и надежного, чем МПЛИ (малогабаритного ПЛИ), с уменьшением каналов счи-

тывания, меньших габаритов и более низким частотным диапазоном работы.

В 2024 г. в рамках проекта «Развитие техники эксперимента и прикладные исследования на монохроматических пучках позитронов (PAS)» в ЛЯП был установлен и протестирован ионный источник, предназначенный для стравливания тонких слоев материала с образцов.

В дополнение к методу доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) на потоке позитронов был запущен метод ДУАЛ на совпа-

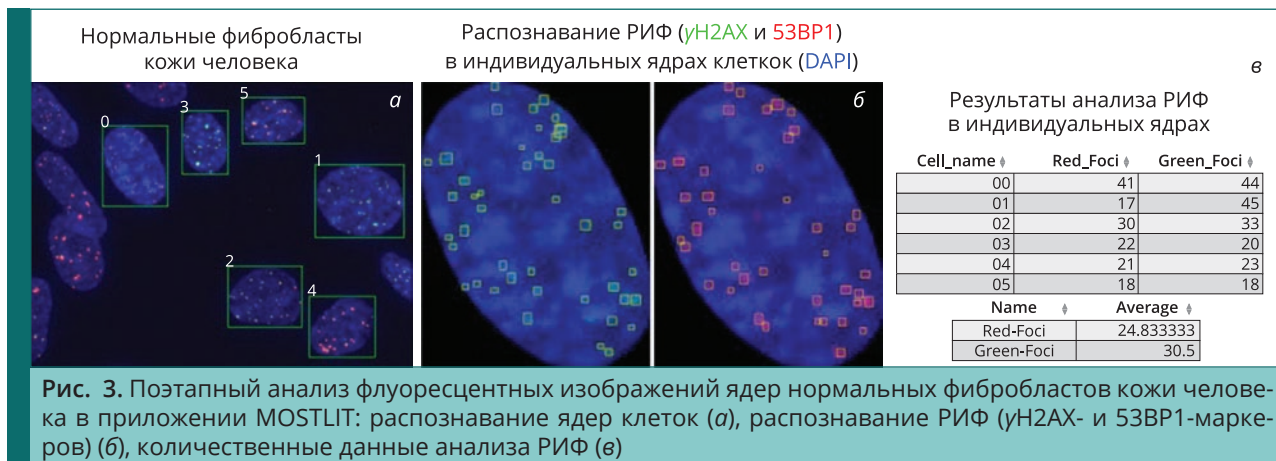


Рис. 3. Поэтапный анализ флуоресцентных изображений ядер нормальных фибробластов кожи человека в приложении MOSTLIT: распознавание ядер клеток (а), распознавание РИФ ( $\gamma$ H2AX- и 53BP1-маркеров) (б), количественные данные анализа РИФ (в)

дении, с помощью которого можно исследовать структуру дефектов и их химическое окружение с высокой точностью. Применение этих двух методов позволяет проводить анализ концентрации и распределения дефектов в материалах, анализ сплавов, наноструктур, тонкопленочных покрытий, характеризацию материалов, используемых в электронике, катализе и ядерной энергетике, исследование окружения дефектов для изучения химического состава материала.

В сотрудничестве ЛРБ и ЛИТ ОИЯИ продолжается разработка приложения (MOSTLIT) для анализа флуоресцентных изображений радиационно-индуцированных фокусов (РИФ), полученных с использованием метода иммуноцитохимии (рис. 3). На базе нейросетевого подхода разработан алгоритм по автоматическому анализу и подсчету РИФ в ядрах клеток нормальных фибробластов человека. Данные автоматического подсчета с использованием алгоритма MOSTLIT хорошо коррелируют с результатами, полученными при анализе изображений операторами. Сервис доступен на сайте [mostlit.jinr.ru](http://mostlit.jinr.ru).

В рамках проекта совместных исследований с Институтом микробиологии им. Стефана Ангелова (София, Болгария) изучены закономерности индукции мутаций антибиотикорезистентности у дрожжевых и бактериальных пробиотических штаммов. Высокая радиорезистентность и низкая мутабельность протестированных пробиотических препаратов свидетельствуют о возможности их использования в условиях космических полетов.

Создана программа прогнозирования радиационного повреждения нервных клеток с учетом детального описания субнейронной мишени, структуры трека и механизма радиолиза. Программа позволяет моделировать геометрию нервных клеток с учетом пространственной организации многочисленных дендритных шипиков и объединять их с моделью структуры трека на физической и радиационно-химической стадии. Результатом работы программы являются высокоточное предсказание величины поглощенной дозы и вероятности попадания частиц

в различные части клетки (тело, аксон, дендриты, шипики) при воздействии в широком диапазоне ускоренных частиц.

Реализована в программном виде математическая модель симулятора галактических космических лучей (ГКЛ) — специальной установки, потенциально способной воспроизводить на пучке релятивистских тяжелых ядер смешанное поле ионизирующего излучения для имитации радиационных условий космоса. В дальнейшем предполагаются создание и испытание прототипа симулятора ГКЛ в рамках комплекса NICA на прикладной станции СИМБО для проведения радиобиологических экспериментов в полях излучения, имитирующих радиационные поля в космосе.

Создана расчетная модель дозиметра нейтронов с гетерогенным замедлителем и гелиевым счетчиком с помощью кода MCNP для измерения амбиентной дозы нейтронов в широком диапазоне энергий: от тепловой области до высокоэнергетической (от  $10^{-9}$  МэВ до 1 ГэВ). Программа предназначена для восстановления нейтронных спектров на ядерно-физических установках методом статистической регуляризации по показаниям детекторов спектрометра Боннера. В программу вводятся данные счетов детекторов спектрометра Боннера, энергетические функции чувствительности детекторов, перечень используемых детекторов, а также априорная информация о максимальной энергии нейтронов.

В целях создания инновационных продуктов на базе исследовательской инфраструктуры и компетенций Института, развития международных, межлабораторных, междисциплинарных инициатив по актуальным для технологической повестки государств-членов Института направлениям подготовлено проведение конкурса инновационных разработок молодых ученых ОИЯИ, в рамках которого получают ежегодную поддержку 5–10 молодежных команд разработчиков из стран-участниц ОИЯИ.

Создан информационный ресурс по детекторным технологиям ОИЯИ — «Карта детекторных технологий» (Detector Center). Для форми-

рования и визуализации подобных баз данных в ОИЯИ создано интерактивное приложение. С его помощью формируется аналогичная база по ускорительным технологиям ОИЯИ — «Карта ускорительных технологий» (Accelerator Center). Базы данных по детекторным и ускорительным технологиям ОИЯИ наполняют молодежные межлабораторные команды Института. По SSO доступен контекстный поиск информации об имеющемся в лабораториях Института оборудовании, об опыте использования компонентов и материалов, об имеющихся компетенциях в об-

ласти создания современных детекторов, а также разработки и эксплуатации ускорителей частиц.

Для приведения в соответствие с законодательством страны местопребывания ОИЯИ действующего в Институте порядка по выплате вознаграждений авторам служебных результатов интеллектуальной деятельности во взаимодействии с лабораториями и службами Института подготовлено и введено в действие Положение о размерах и порядке выплаты вознаграждения за служебные результаты интеллектуальной деятельности.

## ЗАЩИТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Отделом инноваций и интеллектуальной собственности СГИ ОИЯИ было продолжено 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 2023–2024 гг. С целью определения технического уровня новых разработок сотрудников ОИЯИ на предмет патентоспособности выполнена экспертиза ряда проектных разработок, включающая определение объектов правовой охраны и их классификацию в соответствии с Международной патентной классификацией (МПК), поиск аналогов и прототипов. Совместно с сотрудниками лабораторий готовились отчеты о патентных исследованиях.

По девяти разработкам совместно с авторами подготовлены комплекты заявочных документов, которые поданы в Роспатент РФ для получения патентов на изобретения.

Получено семь патентов РФ на изобретения и полезную модель:

— (RU) 2813557 «Позиционно-чувствительный детектор тепловых и холодных нейтронов на основе плоскопараллельной резистивной камеры», авторы: М. О. Петрова, А. А. Богдзель, В. И. Боднарчук, О. Даулбаев, В. М. Милков, А. К. Курилкин, К. В. Булатов, А. В. Дмитриев, В. А. Бабкин, М. М. Румянцев;

— (RU) 2814514 «Полупроводниковый лавинный детектор», авторы: З. Я. Садыгов, Н. И. Замятин, Р. А. Акберов, Т. Ю. Бокова, Ф. И. Ахмадов, А. З. Садыгов;

— (RU) 2816244 «Позиционно-чувствительный детектор тепловых и холодных нейтронов от компактного исследуемого образца», авторы: А. Г. Колесников, Б. Ж. Залиханов, В. И. Боднарчук;

— (RU) 2816242 «Способ сборки супермодулей для детектирования ионизирующего излучения», авторы: В. В. Елша, Д. В. Дементьев, А. Д. Шереметьев, А. Л. Воронин, Ю. А. Мушин;

— (RU) 226117 «Компактный низкофононовый счетчик нейтронов на основе гелий-3», авто-

ры: С. А. Евсеев, А. Н. Емельянов, И. И. Камнев, С. В. Розов, Е. А. Якушев;

— (RU) 2828765 «Способ охлаждения потока нейтронов и устройство для его реализации», автор С. Н. Доля;

— (RU) 2832195 «Способ изготовления соединения высокотемпературных сверхпроводящих кабелей», авторы: А. В. Шемчук, М. В. Ильин, М. С. Новиков.

Также в конце года получено положительное решение Роспатента РФ на выдачу патента по заявке 2024112102 «Способ импульсного напуска и запираения нейтронов в кольцевом накопителе нейтронов», авторы: Ю. В. Никитенко, Е. Д. Колупаев, В. В. Журавлев.

В реестре программ для электронных вычислительных машин Роспатента зарегистрированы 12 программ для ЭВМ:

— 2024612337 «Программа View\_KEE\_KSH дистанционного управления ключами эвакуации энергии коллайдера», авторы: А. К. Панфилов, Р. М. Ахмадриязлов, В. Н. Карпинский, С. В. Киров, А. В. Копченков, А. В. Сергеев;

— 2024616778 «Программа формирования управляющих сигналов для источника тока стенда испытаний сверхпроводящих магнитов», авторы: В. Н. Карпинский, Н. А. Блинов, А. Г. Зорин;

— 2024618617 «Программа визуализации данных компьютерной модели облучательной установки, имитирующей поле смешанного излучения на ускорителях заряженных частиц», автор И. С. Гордеев;

— 2024681268 «Программа прогнозирования радиационного повреждения нервных клеток с учетом детального описания субнейронной мишени, структуры трека и механизма радиолиза», авторы: Мунхбаатар Батмунх, Лхагваа Баярчимэг;

— 2024611065 «Интеллектуальная координационная система управления на основе квантового нечеткого выхода для Tango Controls», авторы: П. В. Зрелов, М. С. Катулин, А. Г. Решетников, С. В. Ульянов;

— 2024611064 «Программа восстановления нейтронных спектров по показаниям спектрометра Боннера (RECONST)», автор Л. Г. Бескровная;

— 2024661482 «Нейтронно-активационный анализ на установке РЕГАТА реактора ИБР-2», авторы: Д. С. Гроздов, В. А. Галустов;

— 2024661642 «Программа расчета спектров первичных частиц галактического космического излучения при различной солнечной активности GCRs Спектра», автор И. С. Гордеев;

— 2024661481 «Программа управления пневмотранспортной установкой РЕГАТА на реакторе ИБР-2», автор Д. С. Гроздов;

— 2024666033 «Программа регистрации заявок для иностранных сотрудников, приглашенных в ОИЯИ от лабораторий института», авторы: В. П. Елисеев, И. А. Журавлева;

— 2024666184 «Программа прямого доступа к таблицам данных регистрации командировок», автор В. П. Елисеев;

— 2024690973 «Программа визуализации и учета технологий и компетенций организации», авторы: А. В. Ильина, И. С. Пелеванюк.

В 2024 г. осуществлялась поддержка действия 72 патентов ОИЯИ. Проводилась работа с лабо-

раториями по выявлению патентов с приоритетом больше 10 лет, необходимость в дальнейшем поддержании действия которых отсутствует. В области патентно-информационной работы в 2024 г. в ОИЯИ поступило в электронном виде 36 номеров бюллетеня Роспатента «Изобретения. Полезные модели».

Оформляются информационные листы ОИиИС о получении Институтом новых патентов и государственной регистрации других объектов промышленной интеллектуальной собственности (программ для ЭВМ, баз данных и ТИМС). 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>).



МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ  
И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Основные итоги 2024 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 77 проектам и подпроектам ПТП ОИЯИ;

— для решения вопросов сотрудничества и участия в научных совещаниях и конференциях Объединенный институт командировал 1580 специалистов;

— для совместных работ и консультаций, а также для участия в совещаниях, конференциях, школах в ОИЯИ были приняты 608 специалистов;

— организованы и проведены 70 международных научных конференций и школ, 16 рабочих и 13 организационных совещаний.

Международное сотрудничество ОИЯИ оформлено соответствующими соглашениями и договорами. 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.

С 14 по 18 января в научном симпозиуме, проходившем в Дю Клэф Лодж (Западно-Капская провинция ЮАР), приняли участие сотрудники ЛЯП ОИЯИ Д. Р. Зинатулина, А. Баймуханова и М. П. Зарубин.

Научный симпозиум был посвящен созданию подземной низкофоновой лаборатории PAUL (Paarl Africa Underground Laboratory) под горой Дю Тойтсклуф (1300 м) в середине уже существующего вспомогательного тоннеля, имеющего длину 3,9 км, что позволит достичь толщины экранирующего материала скалы порядка 800 м. Лаборатория станет первой специализированной глубокоподземной низкофоновой лабораторией в Африке и второй в Южном полушарии. Ключевые задачи лаборатории — физика частиц, астрофизика, ядерная физика и междисциплинарные исследования по геологии, геофизике и биологии. Сотрудники ОИЯИ приняли участие



Дубна, 23–24 января. Визит в ОИЯИ представителей университетов Азербайджанской Республики



Москва, 25 января. Ректор МГУ В. А. Садовничий вручает директору ОИЯИ Г. В. Трубникову диплом о присуждении звания «Почетный профессор МГУ»

в обсуждении вопросов реализации проекта лаборатории, тематики перспективных исследований и возможностей для сотрудничества.

**23–24 января** в ОИЯИ проходил визит представителей университетов Азербайджанской Республики. Делегация во главе с основателем Университета Хазар (Баку) Г. Исаевым посетила лаборатории Объединенного института, встретилась с дирекцией ОИЯИ, а также приняла участие в обзорном семинаре в ЛЯП.

На встрече в дирекции Института стороны обсудили возможности развития двустороннего сотрудничества, прежде всего в области инженерных, естественных и информационных наук, теоретической и прикладной физики, химии, биологии, нанотехнологий и математики.

На обзорном семинаре в ЛЯП гости из Азербайджана рассказали собравшимся об основных направлениях деятельности и сферах научных исследований Университета Хазар, аспектах международного сотрудничества в области науки и образования и партнерских связях университета в мире. Был высказан ряд предложений об организации на базе научной инфраструктуры ОИЯИ образовательных программ и стажировок студентов из разных стран, обучающихся в университете. Гости выразили заинтересованность в вовлечении ученых ОИЯИ в образовательный процесс университета.

В ходе визита представители азербайджанских образовательных центров детально ознакомились с направлениями научных исследований и объектами научной инфраструктуры ОИЯИ, провели встречи с ведущими учеными в лабораториях Института, а также побывали в УНЦ, где обсудили возможные шаги по выстраиванию сотрудничества в сфере подготовки кадров.

**25 января** в главном здании МГУ им. М. В. Ломоносова состоялось торжественное заседание, посвященное 269-летию университета, в ходе которого ректор МГУ В. А. Садовничий подчеркнул, в частности, что сотрудничество Объединенного института и Московского государственного университета ведется с 1961 г. В 2022 г. было принято решение о создании филиала МГУ в Дубне, в ноябре 2023 г. в ходе совместного заседания Ученого совета МГУ–ОИЯИ было подписано новое соглашение о сотрудничестве научных организаций.

В рамках заседания В. А. Садовничий вручил директору ОИЯИ Г. В. Трубникову диплом о присуждении звания «Почетный профессор МГУ» за большой вклад в развитие ядерной физики и физики элементарных частиц и за многолетнее плодотворное сотрудничество с Московским университетом.

**25 января** в режиме видеоконференции директор ОИЯИ Г. В. Трубников вместе с молодыми учеными Института принял участие в открытии в Дубне головного референсного центра промышленной медицины, который будет координировать работу еще девяти центров промышленной медицины ФМБА России в других городах. Мероприятие прошло в онлайн-формате при участии заместителя Председателя Правительства РФ Т. А. Голиковой и руководителя ФМБА России В. И. Скворцовой.

Центры промышленной медицины позволят работникам предприятий быстро и комфортно проходить диспансеризацию и получать необходимую медицинскую помощь. В наукограде такой центр организован на базе МСЧ № 9 ФМБА России, подразделением которого является цифровой здравпункт в ОЭЗ «Дубна».



Дубна, 29 января. После подписания соглашения об организации Информационного центра ОИЯИ на базе iThemba LABS (ЮАР) директором iThemba LABS М. В. Тшивхасе и директором ОИЯИ Г. В. Трубниковым

29 января соглашение об организации Информационного центра ОИЯИ на базе iThemba LABS (ЮАР) было подписано директором ОИЯИ Г. В. Трубниковым и директором iThemba LABS М. В. Тшивхасе.

Деятельность нового информационного центра нацелена на информирование широкой общественности страны о результатах международных исследований, достигнутых в ОИЯИ, в том числе с участием южноафриканских ученых, а также на профориентацию и привлечение молодежи в науку благодаря проведению научных и образовательных мероприятий, таких

как виртуальные туры по базовым установкам Института, лекции ученых из Дубны, лабораторные работы и практикумы в режиме онлайн.

5 февраля состоялось подписание Соглашения о создании консорциума для IT-обеспечения исследовательской инфраструктуры класса «мегасайенс». Торжественная церемония в Президентском зале международного мультимедийного пресс-центра «Россия сегодня» прошла при участии заместителя Председателя Правительства Российской Федерации Д. Н. Чернышенко. Подписи на документе поставили ди-



Москва, 5 февраля. Подписание Соглашения о создании консорциума для IT-обеспечения исследовательской инфраструктуры класса «мегасайенс». Фото: © Медиабанк РИА Новости



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 13 февраля. Посещение ускорительного комплекса NICA делегацией посольства Республики Шри-Ланка в РФ во главе с Чрезвычайным и Полномочным Послом профессором Дж. Лиянаге (2-я слева)

ректор ОИЯИ Г. В. Трубников, президент НИЦ «Курчатовский институт» М. В. Ковальчук и директор Института системного программирования им. В. П. Иванникова РАН А. И. Аветисян.

Консорциум, создаваемый для объединения инфраструктуры и компетенций в сфере IT-технологий на территории России, призван обеспечить функционирование и развитие национальной сети исследовательских установок класса «мегасайенс» для достижения прорывных научных результатов. Кроме того, консорциум станет основной вычислительной инфраструктурой для Национальной базы генетической информации и биоресурсных центров.

Как отметил Д. Н. Чернышенко, консорциум будет использовать национальную исследовательскую компьютерную сеть, к которой уже подключено более 80 % научных организаций России.

**13 февраля** делегация посольства Республики Шри-Ланка в РФ во главе с Чрезвычайным и Полномочным Послом профессором Дж. Лиянаге посетила ускорительный комплекс NICA в ОИЯИ.

Гости ознакомились с процессом реализации мегасайенс-проекта, узнали о физических задачах NICA в области фундаментальной науки и прикладных исследований и осмотрели ключевые установки комплекса NICA: линейный ускоритель, бустер, туннель коллайдера и зал детектора MPD. В частности, делегация посетила облучательную станцию СОЧИ, узнала о программе исследований на этой экспериментальной установке и работе коллаборации ARIADNA по прикладным исследованиям на комплексе NICA.

**16 февраля** в Москве в Государственном музее изобразительных искусств им. А. С. Пушкина состоялась первая церемония награждения лауреатов премии «Оганесон». В торжественном мероприятии приняли участие представители научных организаций и российских министерств, деятели культуры и искусства, работники средств массовой информации.

Открывая церемонию, директор ОИЯИ Г. В. Трубников выразил благодарность администрации Пушкинского музея, Министерству культуры, Министерству науки и высшего образования, Министерству иностранных дел РФ за помощь в организации мероприятия.

Председатель жюри премии «Оганесон», научный руководитель российского Национального центра физики и математики А. М. Сергеев в своем выступлении процитировал слова академика А. Д. Сахарова о важности осуществления научно-технического прогресса через «сохранение человеческого в человеке и природного в природе».

Профессору физики Национального автономного университета Мексики А.-М. Четто Крамис премия присуждена за выдающиеся научные работы в области квантовой механики и теоретической физики, за огромный личный вклад в укрепление глобального научного сотрудничества во имя мира и устойчивого развития.

За выдающийся личный вклад в развитие международного научного и культурного сотрудничества, популяризацию достижений современной науки в средствах массовой информации был награжден доктор искусствоведения М. Е. Швыдкой.



Москва, 16 февраля. Лауреаты премии «Оганесон» на первой церемонии награждения в Государственном музее изобразительных искусств им. А. С. Пушкина

Третьим лауреатом премии «Оганесон» за теоретические исследования электронного строения и химических свойств сверхтяжелых элементов Периодической таблицы Д. И. Менделеева стала профессор химии Института тяжелых ионов в Дармштадте (ФРГ) В. Г. Першина.

В номинации для молодых лауреатов за существенный личный вклад на раннем этапе своей научной карьеры в создание новых базовых экспериментальных установок ОИЯИ, обеспечивающих получение прорывных научных результатов в области ядерной физики, был награжден начальник научно-экспериментального отдела ускорительного комплекса ЛЯР ОИЯИ В. А. Семин. Он возглавил работы по вводу в эксплуатацию и наладке циклотрона ДЦ-280.

В заключительной части торжественной церемонии выступил основатель премии академик Ю. Ц. Оганесян, который, в частности, подчеркнул, что очень доволен тем, что премия присуждается не только за научные достижения, но и за популяризацию науки. В завершение церемонии награждения было сделано общее памятное фото лауреатов и учредителей премии.

**19–20 февраля** состоялся визит в ОИЯИ представителей ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна и специалистов ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр медицинской радиологии и онкологии» ФМБА России. Цель визита — обсуждение перспектив создания Научно-клинического центра протонной терапии в Дубне. В удаленном формате участие в работе мероприятия приняли академик РАН, хирург-онколог И. В. Решетов и генеральный директор Федерального научно-кли-

нического центра медицинской радиологии и онкологии ФМБА России Ю. Д. Удалов.

В рамках визита прошло совещание, на котором были представлены доклады, посвященные созданию в Дубне центра протонной терапии. С докладом на тему «Концепция научно-клинического центра протонной терапии в Дубне» выступил помощник директора ОИЯИ по развитию медико-биологических проектов Г. Д. Ширков. Директор ЛРБ А. Н. Бугай представил доклад по тематике радиобиологических исследований на пучках протонов. О статусе реализации проекта «Медицинский сверхпроводящий циклотрон MSC-230» доложил главный инженер ЛЯП С. Л. Яковенко. Доклад начальника сектора радиационной медицины и биологии ЛЯП Г. В. Мицына был посвящен особенностям формирования пучка для проведения протонной флэш-терапии на ускорителе MSC-230.

Итоги работы совещания были подведены во время дискуссии, в ходе которой участники обсудили планы и дальнейшую стратегию развития центра протонной терапии в Дубне.

**1 марта** в Дубне состоялась встреча представителей ОИЯИ и МГТУ им. Н. Э. Баумана, посвященная вопросам расширения научного сотрудничества.

Среди направлений совместных работ на встрече были обозначены вопросы криогеники, создания вакуумных систем, автоматизации криогенных систем, инновационных покрытий для внутренних стенок ускорителей и нейтронководов, автоматизации систем управления и контроля инженерной инфраструктуры.



Дубна, 1 марта. Представители МГТУ им. Н. Э. Баумана на встрече с дирекцией ОИЯИ

Также предметом активного обсуждения стало сотрудничество в области подготовки высококвалифицированных инженерных кадров. Обсуждалась возможность участия студентов и аспирантов МГТУ в конференциях и школах, проводимых в ОИЯИ, в профориентационных мероприятиях Института, а также защита квалификационных работ студентов МГТУ под научным руководством ученых ОИЯИ.

Представители МГТУ совершили экскурсии в ЛФВЭ, где осмотрели фабрику сверхпроводящих

магнитов, строящийся коллайдер NICA и его криогенно-компрессорную станцию, и посетили ЛИТ.

1 марта в Гаване (Куба) прошло совещание ОИЯИ-Куба по прикладным исследованиям и развитию кадрового потенциала под председательством полномочного представителя правительства Кубы в ОИЯИ Г. Вальвина Саласа. В работе совещания участвовали руководители Кубинского центра передовых исследований (СЕА), Института технологий и прикладных иссле-



Гавана (Куба), 1 марта. Участники совещания ОИЯИ-Куба по прикладным исследованиям и развитию кадрового потенциала



Дубна, 4 марта. Визит в ОИЯИ делегации из Бразилии во главе со статс-секретарем по вопросам политики и стратегических программ Министерства науки, технологий и инноваций Бразилии профессором М. Барбозой (2-я слева)

дований (InSTEC), Центра радиационной защиты и гигиены (CPHR) и Центра прикладных технологий и ядерного развития (CEADEN), а также молодые ученые.

Члены делегации ОИЯИ представили общую информацию о научной деятельности Института, а также рассказали о существующих возможностях для молодых ученых и студентов в ОИЯИ.

Состоялась встреча делегации ОИЯИ с руководством, преподавателями и научными сотрудниками Гаванского университета с участием заместителя министра науки, технологий и окружающей среды Кубы (СITMA) А. Родригеса и вице-президента Кубинской академии наук К. Родригеса Кастельяноса. В преддверии празднования 50-летия вступления Кубы в состав ОИЯИ в качестве государства-члена были рассмотрены возможности расширения сотрудничества не только с Гаванским университетом, но и с кубинским научным сообществом в целом.

Накануне делегация из ОИЯИ под руководством вице-директора Л. Костова ознакомилась с инфраструктурой, научными направлениями и результатами Кубинского центра передовых исследований, деятельность которого охватывает широкий спектр работ в области нанотехнологий и их приложений в биотехнологиях и медицине.

**4 марта** состоялся визит в ОИЯИ делегации из Бразилии во главе со статс-секретарем по вопросам политики и стратегических программ Министерства науки, технологий и инноваций Бразилии профессором М. Барбозой.

На встрече в дирекции была отмечена многолетняя история сотрудничества ОИЯИ с Бразилией и другими странами Латинской Америки, которая служит прочным фундаментом для его расширения.

Директор ОИЯИ Г.В. Трубников рассказал о приоритетных направлениях исследований и представил крупную исследовательскую инфраструктуру ОИЯИ.

В ходе встречи стороны подтвердили заинтересованность в сотрудничестве по ряду направлений фундаментальных и прикладных исследований в соответствии с планом развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. Кроме того, была отмечена перспективность многостороннего сотрудничества стран БРИКС на площадке Института в интересах развития национальной науки, технологий и подготовки высококвалифицированных кадров.

Делегация ознакомилась с научной инфраструктурой ускорительного комплекса NICA в ЛФВЭ и импульсного реактора ИБР-2 с комплексом спектрометров в ЛНФ, а также приняла участие в совещании в формате круглого стола.

**5 марта** в Иркутске состоялось рабочее совещание, на котором был рассмотрен статус проекта нейтринного телескопа Baikal-GVD. Обсуждались перспективы увеличения объема установки Baikal-GVD и возможности по расширению коллаборации проекта. Кроме того, были озвучены планы по развитию инфраструктуры байкальской территории и междисциплинарных исследований на озере Байкал.

Совещание было организовано совместными усилиями ОИЯИ, ИЯИ РАН, НИЯУ МИФИ и Иркутского государственного университета. В мероприятии приняли участие представители вузов, задействованных в работах по реализации мегасайенс-проекта Baikal-GVD: Московского, Новосибирского, Кабардино-Балкарского государственных университетов и Томского политехнического университета.

Одной из ключевых тем встречи стал проект Федеральной научно-технической программы исследований в области физики нейтрино и астрофизики частиц в России, одобренный в 2023 г. Минобрнауки России. Строительство байкальского нейтринного телескопа и достижение им объема 1,5–2 км<sup>3</sup> определено в качестве важнейшей задачи программы, а в числе ключевых результатов ее реализации — развертывание установки TAIGA на площади 10 км<sup>2</sup> и создание большого баксанского нейтринного телескопа массой 10 килотонн. ОИЯИ и НИЦ «Курчатовский институт» выступают головными организациями в реализации программы. Рабочая группа по подготовке первоочередных проектов Нейтринной программы включает представителей ИЯИ РАН, НИЦ «Курчатовский институт», МИФИ, МГУ и ОИЯИ.

Г. В. Трубников представил участникам планы дальнейшего развития инфраструктуры проекта Baikal-GVD, в том числе прикладные перспективы в таких областях, как электроника, энергетика, природоподобные технологии, медицина, биология, IT. Прозвучали доклады сотрудников ИЯИ

РАН: Ж.-А. Джилкибаев рассказал об основных научных результатах Baikal-GVD, В. М. Айнутдинов — о статусе мегаустановки, С. В. Троицкий — о перспективах нейтринной астрономии высоких энергий и вкладе в нее байкальского проекта.

В докладах представителей университетов речь шла о перспективах сотрудничества и развития междисциплинарных исследований на базе Baikal-GVD, о развитии программного обеспечения и электроники для оптических модулей, об исследовании оптического модуля Baikal-GVD в черенковском водном детекторе НЕВОД, об исследовании мюонов сверхвысоких энергий для проекта Baikal-GVD, о развитии методики двухфазных детекторов для регистрации нейтрино малых энергий и др.

Вниманию участников совещания был представлен проект Всероссийского экологического кампуса ЭКО.ЦЕХ — центра компетенций по экологическому туризму и эколого-ориентированному развитию, который создается в г. Байкальске. Были обсуждены перспективы совместного сотрудничества в области популяризации научных знаний в регионе.

6 марта участники совещания посетили ледовый лагерь на месте проведения очередной экспедиции по развертыванию глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD.

С 11 по 15 марта в ОИЯИ проходила очередная Международная стажировка для административно-технического персонала (JEMS-24). В ней приняли участие руководители различных уровней



Дубна, 11–15 марта. Международная стажировка для административно-технического персонала (JEMS-24)

и сотрудники в роли координаторов по сотрудничеству Гомельского государственного университета им. Франциска Скорины, Института ядерных проблем Белорусского государственного университета, Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Дальневосточного федерального университета, Воронежского, Смоленского и Тверского государственных университетов, а также Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан.

Участники посетили все семь лабораторий Института, ознакомились с его флагманскими проектами, встретились с ведущими учеными, прослушали лекции по избранным научным направлениям деятельности Института, об истории ОИЯИ, международном сотрудничестве, его образовательных программах и социальной инфраструктуре. Также программа JEMS-24 включала посещение мультимедийной выставки «Базовые установки ОИЯИ» и обзорную экскурсию по Дубне.

На встрече с представителями дирекции ОИЯИ участники рассказали о своих рабочих планах в рамках программы JEMS и поделились первыми впечатлениями от посещения Института.

**15 марта** ОИЯИ посетили представители Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр РАН» (ФИЦ КазНЦ РАН) — директор КазНЦ РАН член-корреспондент РАН

А. А. Калачев и заведующий лабораторией структурного анализа биомакромолекул К. С. Усачев.

На встрече в дирекции стороны обсудили существующие успешные практики двустороннего сотрудничества и наметили направления для будущих проектов. В частности, были отмечены совместные проекты в области структурной биологии.

В целях реализации намеченных планов руководители ОИЯИ и КазНЦ РАН подписали соглашение о сотрудничестве. Документ подразумевает совместную работу по следующим направлениям: новые методы визуализации в радиобиологии и медицине (квантовые сенсоры, флуоресцентная микроскопия высокого разрешения, оптико-акустическая томография); структурный анализ биомакромолекул на основе методов рентгеновского малоуглового рассеяния, синхротронного и нейтронного излучения; исследования механизмов нейродегенерации при действии ионизирующих излучений с разными физическими характеристиками; исследования механизмов действия радиосенсибилизаторов для терапии онкозаболеваний и радиозащитных препаратов.

В завершение программы визита представители Казанского научного центра РАН приняли участие в торжественном семинаре, приуроченном к 40-летию запуска импульсного исследовательского реактора ОИЯИ ИБР-2.



Дубна, 15 марта. Визит в ОИЯИ представителей Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр РАН»



Дубна, 20 марта. Директор ОИЯИ Г. В. Трубников и директор Национальной научной лаборатории им. А. И. Алиханяна Г. Карян подписали Соглашение о расширении сотрудничества в сфере фундаментальной науки, информационных технологий, инноваций и образования

**20 марта** директор ОИЯИ Г. В. Трубников и директор Национальной научной лаборатории им. А. И. Алиханяна (ННЛА, Армения) Г. Карян подписали Соглашение о расширении сотрудничества в сфере фундаментальной науки, информационных технологий, инноваций и образования. В тот же день гости из Армении посетили ЛФВЭ, где осмотрели ускорительный комплекс NICA: зал синхрофазотрона, павильон MPD, тоннель коллайдера и станции для прикладных исследований ARIADNA.

21 марта в ЛИТ состоялось рабочее совещание ОИЯИ–ННЛА, в ходе которого члены армянской делегации были ознакомлены с научной программой ОИЯИ, а также представили совместные реализуемые и планируемые проекты.

Сотрудники ННЛА А. Мкртчян и Г. Мкртчян рассказали о проекте аэрогелевого детектора для эксперимента SPD на коллайдере NICA. Производство изотопов и измерение сечений ядерных реакций стало предметом доклада Р. Даллакяна. Об исследовании взаимодействия нейтронов и ионов с конденсированными состояниями вещества сделал сообщение В. Арутюнян.

Один из организаторов совещания со стороны ОИЯИ А. С. Жемчуггов отметил, что сотрудничество двух крупных организаций в области физики высоких энергий ведется практически со дня основания ЕрФИ (Ереванского физического института — так до 2011 г. называлась ННЛА). Сейчас группа из ННЛА активно участвует в подготовке эксперимента SPD на комплексе NICA, в частности, в создании аэрогелевого черенковского детектора совместно с ОИЯИ и ИЯФ СО РАН.

**21–22 марта** проходил визит в ОИЯИ делегации Министерства науки, технологий и окружающей среды Республики Куба (СИТМА) во главе с заместителем министра А. Родригесом Батистой.

На встрече в дирекции была отмечена многолетняя история сотрудничества ОИЯИ с Республикой Куба. В настоящее время кубинские ученые в составе международной команды принимают активное участие в реализации мегасайенс-проекта NICA.

Заместитель министра науки, технологий и окружающей среды Республики Куба поблагодарил дирекцию ОИЯИ за возможность побывать в «Мекке ядерных наук». Приоритетными направлениями для сотрудничества он назвал радиобиологию, ядерную медицину, науки о жизни.

Кроме того, на встрече обсуждались инициативы по проведению научных школ и стажировок для научного персонала, а также реализация программ развития академической мобильности научной молодежи. Обсуждалась подготовка высококвалифицированных научных кадров на базе Объединенного института.

В преддверии празднования 50-летия вступления Кубы в состав Объединенного института в качестве государства-члена стороны обсудили возможность проведения на Кубе Дней ОИЯИ.

Одним из ключевых пунктов программы визита стало участие делегации в работе сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ. А. Родригес Батиста представил членам КПП решение Кубинской академии наук (КАН) о присвоении статуса члена-корреспондента КАН научному руководителю ЛЯР ОИЯИ Ю. Ц. Оганесяну за его

выдающийся вклад в мировую науку и в знак признания академией заслуг ученого в воспитании нескольких поколений кубинских физиков.

В ходе визита в ОИЯИ А. Родригес Батиста провел встречу с представителями национальной группы Республики Куба в ОИЯИ, на которой кубинские ученые рассказали о своей научной работе и жизни в Дубне.

**22 марта** ОИЯИ посетил вице-министр науки и высшего образования Казахстана Д. Ахмед-Заки. На встрече в дирекции ОИЯИ стороны обсудили реализацию нескольких намеченных совместных проектов по направлениям ядерной медицины, а также создание крупной установки с каналом ультрахолодных нейтронов. Передовой проект по исследованиям с ультрахолодными нейтронами уже смог привлечь внимание не только ученых Дубны и Казахстана, но и специалистов из многих стран.

В качестве примера успешного опыта сотрудничества стороны отметили создание в Казахстане с помощью ОИЯИ ускорительного комплекса ДЦ-60. На протяжении многих лет Институт курирует этот проект, помогая казахстанским специалистам поддерживать ускоритель в качестве одного из лучших в Европе. Другим примером эффективной кооперации выступает запуск в 2023 г. кластера облачных вычислений на базе Института ядерной физики в Алматы, который обеспечил доступ к мощным ресурсам вычислительной инфраструктуры ОИЯИ.

В ходе встречи особое внимание было уделено обсуждению совместных программ по подготовке высококвалифицированных научных кадров на базе ОИЯИ. Д. Ахмед-Заки также принял участие в работе сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ.

В рамках знакомства с флагманскими проектами научной инфраструктуры ОИЯИ высокий гость посетил площадку мегапроекта NICA в ЛФВЭ, импульсный реактор ИБР-2 в ЛНФ, фабрику СТЭ в ЛЯР, а также осмотрел суперкомпьютер «Говорун» в ЛИТ.

В завершение программы визита вице-министр провел встречу с национальной группой Республики Казахстан в ОИЯИ, где с докладом о деятельности ученых выступил руководитель группы Е. Мухамеджанов.

**28 марта** состоялся визит в ОИЯИ представителей Хэфэйского института физических наук (HFIPS) и Института физики плазмы Китайской академии наук (ASIPP). Делегация обсудила с дирекцией ОИЯИ вопросы научного сотрудничества и совместного участия в международных проектах. Директор ОИЯИ Г. В. Трубников рассказал об успешном опыте сотрудничества ученых Института с коллегами из Китая в международных экспериментах, подчеркнув важность установления партнерских отношений между ОИЯИ

и большими исследовательскими центрами и лабораториями Китая.

В рамках рабочей программы визита состоялось совещание, на котором представители руководства ОИЯИ обсудили с китайскими коллегами вопросы, связанные, в частности, с организацией в Дубне заседания рабочей группы БРИКС по исследовательской инфраструктуре.

В Лаборатории физики высоких энергий члены делегации ознакомились с ходом реализации мегасайенс-проекта NICA, побывали в экспериментальном зале детектора MPD и на фабрике сверхпроводящих магнитов.

**29 марта** в ОИЯИ состоялось подписание соглашения между ОИЯИ и НИУ «Высшая школа экономики». Подписи под документом поставили директор ОИЯИ Г. В. Трубников и ректор НИУ ВШЭ Н. Ю. Анисимов. Соглашение определяет основные направления сотрудничества между организациями, включая участие в основных экспериментах мегасайенс-проекта NICA, взаимодействие в области теоретической физики и информационных технологий и подготовку кадров.

На встрече в дирекции ОИЯИ стороны обсудили несколько ключевых направлений, перспективных для организации совместных исследований. Было отмечено, что НИУ ВШЭ и ЛТФ ОИЯИ имеют давние связи в сфере математической физики. Физики и математики ВШЭ уже вносят вклад и в реализацию проектов MPD и BM@N на комплексе NICA. Была рассмотрена возможность проведения совместных лекций и семинаров, а также организации в ОИЯИ Дней НИОКР для углубленного представления потенциалов ОИЯИ и НИУ ВШЭ в области научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

В ходе визита в ОИЯИ руководители Высшей школы экономики посетили павильон MPD и фабрику сверхпроводящих магнитов в ЛФВЭ и осмотрели суперкомпьютер «Говорун» в ЛИТ.

**1-5 апреля** в ОИЯИ проходила научная сессия секции ядерной физики Отделения физических наук РАН, посвященная 300-летию Российской академии наук. Программа мероприятия охватывала основные теоретические и экспериментальные аспекты физики элементарных частиц и связанные с ней проблемы ядерной физики и космологии.

Открывая сессию, научный руководитель ОИЯИ академик В. А. Матвеев рассказал о начале реализации нового семилетнего плана развития ОИЯИ, подчеркнув важность укрепления международного научного сотрудничества. С приветственным словом к гостям мероприятия обратился директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников. О формате проведения, программе научной сессии и об организационных вопросах рассказал директор ЛТФ Д. И. Казаков.



Дубна, 29 марта. Подписание соглашения между ОИЯИ и НИУ «Высшая школа экономики» директором ОИЯИ Г. В. Трубниковым и ректором НИУ ВШЭ Н. Ю. Анисимовым

Научную программу мероприятия открыл доклад Г. В. Трубникова на тему «Ускорительный комплекс NICA: вызовы и решения», в котором были представлены статус реализации мегасайенс-проекта NICA, степень готовности ко вводу в эксплуатацию основных элементов и экспериментальных установок ускорительного комплекса, охарактеризованы основные научные задачи проекта. В рамках пленарной сессии первого дня выступили руководитель коллаборации MPD В. Г. Рябов с докладом о физике столкновений тяжелых ядер и научный руководитель ЛЯР академик Ю. Ц. Оганесян, чей доклад был посвящен сверхтяжелым ядрам и элементам.

В ходе научной сессии было представлено более двухсот сообщений по заявленным в программе тематикам: физика на протон-протонных и  $e^+e^-$ -коллайдерах; физика релятивистских тяжелых ионов; квантовая теория поля; гравитация и космология; физика ароматов (СКМ, CP, g-2...); физика нейтрино; астрофизика частиц и космические лучи; темная материя; экзотика (аксионы...); ядерная физика низких и промежуточных энергий; структура и спектроскопия адронов (в том числе XYZ, глюболы...); детекторы, методика эксперимента; физика и техника ускорителей; фундаментальная ядерная физика.

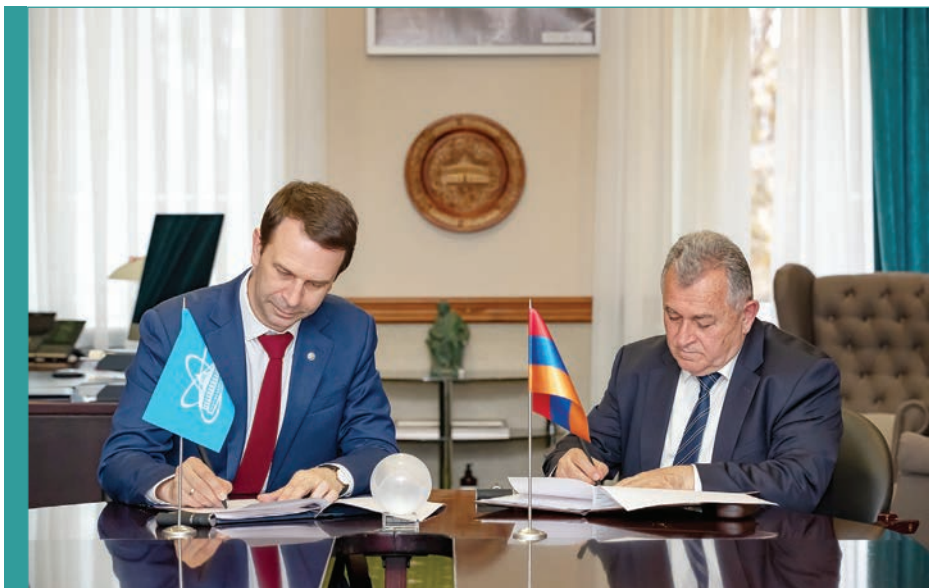
**8 апреля** состоялся визит в ОИЯИ и. о. ректора Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга О. А. Ребковец. В ходе встречи с директором ОИЯИ Г. В. Трубниковым обсуждались вопросы научного сотрудничества и реализации новых совместных образовательных программ.

Ректор КамГУ отметила успешный опыт Информационного центра ОИЯИ в организации научных школ и других образовательных мероприятий на фоне наблюдаемой в регионе тенденции к росту числа студентов, выбирающих физико-математические специальности.

Директор УНЦ Д. В. Каманин подчеркнул высокую эффективность работы Инфоцентра ОИЯИ в КамГУ и рассказал о дальнейших планах взаимодействия УНЦ с Инфоцентром, а руководитель ИЦ ОИЯИ в КамГУ Д. И. Исрапилов сообщил о планах по развитию контактов с партнерами ОИЯИ через ИЦ.

В рамках программы визита ректор КамГУ посетила научные объекты в лабораториях Института и ознакомилась с инженерным практикумом в УНЦ.

**14 апреля** в дирекции ОИЯИ было подписано Соглашение между ОИЯИ и Национальной академией наук (НАН) Республики Армении о сотрудничестве в сфере фундаментальной науки, информационных технологий, инноваций и образования. Согласно документу, в НАН Армении будет основан Научно-технологический центр ОИЯИ – НАН РА, нацеленный на поддержание взаимодействия ученых и специалистов научно-исследовательских институтов Республики Армении с ОИЯИ, углубление сотрудничества в научно-технической сфере, в области подготовки кадров и популяризации естественных наук. Подписи под документом поставили директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников и президент НАН Республики Армении А. Сагян. Стороны договорились назначить ответственных со стороны Армении за совместные работы.



Дубна, 14 апреля. Подписание Соглашения между ОИЯИ и Национальной академией наук Республики Армении о сотрудничестве в сфере фундаментальной науки, информационных технологий, инноваций и образования

В ходе визита гости ознакомились с научной инфраструктурой фабрики сверхтяжелых элементов в ЛЯР.

С 17 по 19 апреля состоялся рабочий визит сотрудников ОИЯИ в Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ) и Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КазНЦ РАН). Ученые ОИЯИ организовали в Институте физики КФУ семинар для студентов 3–4-х курсов, обучающихся по направлениям «Физика», «Радиофизика», «Нанотехнологии», «Астрономия».

На семинаре с целью привлечения студентов на базовую кафедру ОИЯИ «Ядерно-физическое материаловедение» (заведующий кафедрой — член-корреспондент РАН А. В. Белушкин) старший научный сотрудник ЛНФ Ю. Е. Горшкова рассказала о научной деятельности ОИЯИ и образовательной программе, связанной с ее направлениями. Директор ЛРБ А. Н. Бугай сделал обзорный доклад «Радиобиологические исследования на ускорителях ОИЯИ». Активную дискуссию вызвал доклад научного руководителя ЛИТ В. В. Коренькова «Методы и технологии обработки данных в гетерогенных вычислительных средах».

В рамках визита сотрудники ОИЯИ посетили научные лаборатории Института органической и физической химии им. А. Е. Арбузова и Казанского физико-технического института им. Е. К. Завойского. В ходе встреч с директором Института физики КФУ М. Р. Гафуровым и директором ФИЦ КазНЦ РАН А. А. Калачевым были подтверждены намерения сторон развивать сотрудничество в рамках подписанных двусторонних соглашений.

19 апреля ОИЯИ посетили заместители директора Центра изотопов (CENTIS) Республики Куба Р. А. Серра Агила и Х. К. Крус Аренсибия. CENTIS — это ведущее кубинское предприятие по производству и разработке радиофармацевтических препаратов.

В ходе встречи делегации с заместителем главного ученого секретаря ОИЯИ А. С. Жемчуговым обсуждались вопросы развития сотрудничества в сферах ядерной медицины, медицинского приборостроения, радиохимии и подготовки кадров. Также была выражена взаимная заинтересованность в подготовке договора о трехстороннем сотрудничестве между CENTIS, Университетом Гаваны и ОИЯИ по реализации учебно-образовательных программ и подготовке кадров.

В рамках визита делегация посетила ЛЯП, где гостям были представлены проекты дубненских ученых в области протонной терапии и микротомографии, а также ознакомилась с исследованиями и экспериментальным оборудованием ЛРБ.

22 апреля состоялся вебинар, организованный Арабским агентством по атомной энергии (АААЭ) совместно с ОИЯИ и Ассоциацией тунисских женщин-ученых «Women in Nuclear Tunisia» и посвященный исследованиям в области наук о жизни и прикладным экологическим разработкам. В вебинаре приняли участие представители Туниса, Ливии, Египта, Йемена, Сирии, Ирака, Иордании и других стран: около 60 участников в Zoom и около 400 — в соцсетях.

Участников вебинара, ставшего продолжением серии совместных мероприятий ОИЯИ и АААЭ, приветствовал специальный представитель директора ОИЯИ по сотрудничеству с международными и российскими научными организациями



Дубна, 26 апреля. Учителя школ Дубны — лауреаты конкурса грантов ОИЯИ за 2023 г., врученных на заседании Научно-технического совета ОИЯИ

Б. Ю. Шарков. Он рассказал об опыте сотрудничества Объединенного института с АААЭ, а также проинформировал о планируемом участии ОИЯИ в программе им. Лизы Мейтнер МАГАТЭ, направленной на развитие карьеры женщин в ядерной сфере.

В рамках онлайн-мероприятия научный сотрудник ЛЯР У. В. Пинаева представила доклад о радиационно-индуцированной модификации полимеров. Основательница и президент «Women in Nuclear Tunisia» А. Зауак (Тунис) поблагодарила АААЭ и ОИЯИ за расширение международного сотрудничества между учеными и продвижение идеи мирного использования атомных технологий во благо науки.

**26 апреля** в Доме международных совещаний состоялось заседание Научно-технического совета ОИЯИ под председательством Е. А. Колгановой. Участники заслушали доклад директора Института Г. В. Трубникова о последних результатах деятельности ОИЯИ: статусе работ по проекту NICA, итогах очередной ежегодной Байкальской экспедиции, положении дел с реактором ИБР-2, прогрессе в развитии информационно-вычислительных ресурсов Института, работах по созданию медицинского циклотрона MSC-230, а также строительству нового корпуса для ускорителя У-400Р, о деятельности по улучшению социальной инфраструктуры и недавних событиях в сфере международного сотрудничества.

Новым правилам организации международного научно-технического сотрудничества в Институте был посвящен доклад вице-директора ОИЯИ Л. Костова. Был разработан проект положения, которое конкретизирует функции и обязанности координаторов и лиц, ответственных за взаимодействие с государствами-членами и партнерами ОИЯИ, а также с международными организациями. Положение было представлено для обсуждения членами НТС.

Руководитель Департамента международного сотрудничества ОИЯИ О.-А. Куликов в своем докладе привела статистику по сотрудникам Инсти-

тута из стран-участниц и государств-партнеров, а также выдвинула предложение о мерах и механизмах поддержки сотрудников, не имеющих национальных групп в Дубне.

НТС ОИЯИ единогласно поддержал выдвижение кандидатуры научного руководителя ОИЯИ академика В. А. Матвеева на соискание Золотой медали им. Н. Н. Боголюбова РАН.

Состоялось вручение грантов ОИЯИ учителям школ Дубны. Ряд сотрудников Объединенного института были отмечены ведомственными наградами Министерства науки и высшего образования РФ и ГК «Росатом».

**27 апреля** в Дубне проходило рабочее совещание по сотрудничеству между ГК «Росатом» и ОИЯИ под председательством генерального директора госкорпорации А. Е. Лихачева и директора ОИЯИ академика Г. В. Трубникова.

В основной программе совещания с докладами, посвященными развитию совместных проектов и исследований, выступили сотрудники ОИЯИ и представители Росатома.

Вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев выступил с презентацией о работах на фабрике сверхтяжелых элементов ОИЯИ: результатах и планах развития работ, включая синтез элементов 119 и 120.

Директор ОИЯИ Г. В. Трубников рассказал о планах развития научной инфраструктуры ОИЯИ на 2024–2030 гг. по основным направлениям научных исследований Института и перспективах сотрудничества ОИЯИ–Росатом. Были предложены идеи новых проектов, участие в которых может принять госкорпорация, а также сформулированы основные задачи взаимодействия ОИЯИ и ГК «Росатом» по проекту ИЯУ ИБР-2 и созданию нового импульсного нейтронного источника.

В рамках программы совещания состоялась церемония вручения знаков отличия Госкорпорации «Росатом» сотрудникам ОИЯИ за значительные успехи в научно-исследовательской де-



Дубна, 27 апреля. Рабочее совещание по сотрудничеству между ОИЯИ и ГК «Росатом»

тельности и большой личный вклад в развитие атомной отрасли.

По итогам совещания было принято решение о совместной разработке нового соглашения о сотрудничестве между ОИЯИ и ГК «Росатом».

**В конце апреля** в Национальной научной лаборатории им. А. И. Алиханяна (ННЛА, ЕрФИ) в Армении состоялось 2-е рабочее совещание ОИЯИ–ННЛА.

Совещание, помимо детального обсуждения вопросов сотрудничества между ОИЯИ и научными центрами Армении в сфере фундаментальной науки, информационных технологий, инноваций и образования, было нацелено на определение конкретных тематических направлений деятельности создаваемой совместной лаборатории ОИЯИ–ННЛА.

В ходе пленарных заседаний, которые охватывали широкий спектр тем — от информационных технологий до ядерной физики и материаловедения, руководители научно-исследовательских организаций Армении представили научную программу своих институтов, уделив особое внимание ведущимся и планируемым совместным работам с ОИЯИ.

Важным итогом рабочего совещания стало подписание соглашения о вступлении ННЛА в коллаборацию ARIADNA по прикладным исследованиям на комплексе NICA.

С учетом многолетнего взаимодействия ННЛА с ЛНФ ОИЯИ подписано дополнительное соглашение в области научно-методических исследований и разработок для изучения конденсированных сред на нейтронных пучках ИБР-2 и в области исследований функциональных материалов и наносистем с использованием рассеяния нейтронов.

По итогам совещания было принято решение поддержать дальнейшую проработку инициативы по созданию совместной лаборатории ОИЯИ–ННЛА и рекомендовать рабочим группам представить соответствующие предложения, дополнив их сведениями о предполагаемом кадровом составе лаборатории ОИЯИ–ННЛА, о необходимых финансовых ресурсах, оснащении и обеспечении соответствующего помещения для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

**С 13 по 17 мая** в Алматы в Казахском национальном исследовательском техническом университете им. К. И. Сатпаева (КазНТИУ) в смешанном формате проходило 12-е коллаборационное совещание по эксперименту VM@N.

Работу совещания открыл проректор по международному сотрудничеству и стратегическому развитию КазНТИУ С. Еремекбаев. Он поприветствовал участников и поблагодарил Объединенный институт за организацию мероприятия.

Совещание было посвящено вопросам реконструкции и идентификации странных частиц, а также анализу топологии событий в столкновениях ядер пучка ксенона (Xe) с мишенью из иодида цезия (CsI), полученных в ходе физического сеанса на комплексе бустер–нуклотрон. Участники рассмотрели статус физического анализа и подготовку публикаций на основе ранее зарегистрированных данных аргон-ядерных взаимодействий и обсудили физическую программу и конфигурацию детекторов в следующем сеансе на установке VM@N.

В рамках программы пленарного заседания с докладом о результатах и статусе проекта VM@N выступил руководитель коллаборации, начальник отдела ЛФВЭ ОИЯИ М. Н. Капишин.



Алматы (Казахстан), 13–17 мая. Участники 12-го коллаборационного совещания по эксперименту BM@N

Докладчик также сообщил о планах по усовершенствованию установки к будущим физическим сеансам эксперимента BM@N.

Заместитель начальника отдела многоцелевого детектора MPD С. М. Пиядин рассказал о развитии конфигурации установки BM@N и работе детекторов во время физического сеанса на пучке ядер ксенона. О статусе сверхпроводящих ускорителей комплекса NICA — бустера и нуклотрона — в связи с намеченной модернизацией инжекторного комплекса коллайдера доложил заместитель начальника ускорительного отделения по научной работе ЛФВЭ ОИЯИ В. А. Лебедев. Всего на совещании было представлено более 50 докладов, посвященных реализации проекта BM@N.

17 мая, в заключительный день работы совещания, на базе КазНИТУ прошел ежегодный международный семинар «Дни NICA-2024», на котором участники рассмотрели статус мегасайенс-проекта, а также физическую программу экспериментальных установок ускорительного комплекса NICA: BM@N, MPD, SPD и ARIADNA. Мероприятие было организовано в том числе с целью информирования студентов, аспирантов, молодых ученых и привлечения их к участию в проекте.

С 14 по 17 мая в Нижнем Новгороде проходило 10-е заседание Научного совета ОФН РАН по физике тяжелых ионов «Релятивистская ядерная физика и физика тяжелых ионов», организованное ОИЯИ и Институтом прикладной



Нижний Новгород, 14–17 мая. 10-е заседание Научного совета ОФН РАН по физике тяжелых ионов «Релятивистская ядерная физика и физика тяжелых ионов»



Сан-Паулу (Бразилия), 29 мая. Делегация ОИЯИ в Институте ядерных и энергетических исследований (IPEN) CNEN

физики РАН. В его работе приняли участие представители РФЯЦ-ВНИИЭФ (Саров), ГНЦ НИИАР (Дмитровград), ФГУП «ЭХП» (Лесной), НИИЭФА (Санкт-Петербург), НЦФМ (Саров), СПбГУ (Санкт-Петербург).

Открыл сессию председатель совета научный руководитель ЛЯР академик Ю. Ц. Оганесян. С приветственными словами к гостям обратились директор ИПФ РАН академик Г. Г. Денисов и научный руководитель ОИЯИ академик В. А. Матвеев.

Директор Института академик Г. В. Трубников выступил с докладом о физической программе ОИЯИ, ее ключевых целях и задачах. Он также остановился на основных исторических этапах развития ядерной физики в Объединенном институте и обозначил перспективы исследований по физике тяжелых ионов.

Академик Ю. Ц. Оганесян представил программу совещания и выступил с обзорным докладом о фабрике сверхтяжелых элементов, озвучив цели, результаты и планы по исследованиям в области физики тяжелых ионов. Особое внимание в своем докладе ученый уделил национальному проекту «Атом и новые энергетические технологии», реализуемому консорциумом институтов ГК «Росатом» и ОИЯИ.

В ходе заседания было представлено более 30 научных докладов по физике тяжелых ионов низких и высоких энергий и прикладным исследованиям.

На сессии состоялось торжественное вручение международной премии им. Г. Н. Флерова за выдающиеся работы в области ядерной физики и ядерной химии.

Во второй половине мая делегация ОИЯИ находилась с официальным визитом в Бразилии. 19–23 мая представители ОИЯИ приняли участие в Осеннем собрании Бразильского физического общества (SBF) во Флорианополисе и в семинаре физического факультета Федерального университета Санта-Катарины, а 27–29 мая посетили институты Национальной комиссии по атомной энергии (CNEN).

Осеннее собрание является крупнейшим научным форумом по конденсированному веществу в Бразилии, объединяющим около тысячи участников из бразильских исследовательских организаций и университетов.

Заместитель руководителя Департамента научно-организационной деятельности ОИЯИ профессор Н. Кучерка осветил деятельность ОИЯИ и общие возможности сотрудничества на специальной сессии «Возможности сотрудничества в Объединенном институте ядерных исследований». Пример научных результатов, полученных на базе ОИЯИ, был представлен в докладе сотрудника ЛНФ ОИЯИ профессора Х. Холмуродова «Проведение молекулярно-динамических исследований наноразмерных систем в сочетании с экспериментами по рассеянию нейтронов».

После заседания физического общества возможности сотрудничества с ОИЯИ были представлены на семинаре физического факультета Федерального университета Санта-Катарины, в ходе которого особое внимание было уделено возможностям академического обмена.

27 мая представители ОИЯИ посетили Центр развития ядерных технологий (CDTN) CNEN

в Белу-Оризонти. Местными объектами, включенными в программу научного визита, стали Радиофармацевтический центр, Лаборатория прикладной физики и исследовательский реактор TRIGA.

28 мая состоялся визит в Институт ядерной техники (IEN) CNEN, расположенный в Рио-де-Жанейро. Для представителей ОИЯИ были организованы экскурсия на исследовательский реактор «Аргонаута» и посещение связанных с ним лабораторий. Бразильские коллеги представили свои магистерские программы по ядерной науке и технологиям, радиозащите и дозиметрии, а зам. директора ЛНФ С. А. Куликов рассказал об образовательных программах ОИЯИ.

29 мая делегация ОИЯИ посетила Институт ядерных и энергетических исследований (IPEN) CNEN в Сан-Паулу. Были представлены презентации о структуре и деятельности IPEN, ОИЯИ и Северо-Восточного регионального центра ядерной науки (CRCN-NE), а также о программах институтов для выпускников и повышения квалификации. Были организованы посещения исследовательского реактора IEA-R1 и циклотронных ускорителей.

В результате проведенных встреч и технических визитов был определен широкий круг тем, представляющих взаимный интерес.

С 20 по 24 мая в Казахстанско-Британском техническом университете (Алматы) проходило 7-е коллаборационное совещание по эксперименту SPD на ускорительном комплексе NICA.

Открывая работу совещания, соруководитель коллаборации, зам. директора ЛЯП ОИЯИ А. В. Гуськов поблагодарил Казахстанско-Британский технический университет (КБТУ) и Институт ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан за помощь в организации мероприятия.

С приветственной речью к участникам обратились ректор КБТУ М. Т. Габдуллин и заместитель генерального директора по научной работе ИЯФ Министерства энергетики Республики Казахстан Н. О. Садуев.

О статусе и развитии проекта SPD доложил соруководитель коллаборации, заместитель руководителя отделения физики высоких энергий Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова (НИЦ «Курчатовский институт») В. Т. Ким. В настоящее время коллаборация SPD объединяет более 400 представителей из 15 стран и продолжает расширяться. По итогам выступления был представлен предварительный план работ по проекту SPD.

Заместитель председателя совета коллаборации SPD А. Тумасян (Национальная научная лаборатория им. А. И. Алиханяна) в своем докладе обратил внимание на положительную динамику роста числа организаций, готовых принять участие в проекте. Со словами благодарности за плодотворную работу над экспериментом к участникам обратилась председатель совета коллаборации SPD профессор Э. Томази-Густафсон (CEA Saclay, Франция).



Алматы (Казахстан), 20–24 мая. 7-е коллаборационное совещание по эксперименту SPD на ускорительном комплексе NICA

В ходе работы совещания ответственные координаторы доложили о технической и физической составляющих эксперимента, а также о разработке программного обеспечения и IT-инфраструктуры. Участники подробно обсудили статус работ по основным подсистемам установки, электронике и программному обеспечению эксперимента. Особое внимание было уделено рассмотрению физической программы SPD.

С 20 мая по 18 июня в ОИЯИ проходила 17-я ежегодная Международная стажировка для молодых ученых и специалистов из стран СНГ. Участие в ней принимали молодые ученые, специалисты и студенты из Азербайджана, Армении, Беларуси, Казахстана, России, Таджикистана и Узбекистана, представлявшие ведущие научные и образовательные центры своих стран.

В ходе стажировки участники ознакомились с научно-исследовательской инфраструктурой ОИЯИ, тематикой научных исследований в лабораториях Института, побывали на предприятиях особой экономической зоны и в государственном университете «Дубна». Молодые ученые работали в интернациональных командах по 4–5 человек для подготовки научно-технических или инновационных проектов. Опыт проведения стажировок показал, что образовавшиеся связи молодые ученые не теряют и в дальнейшем, совместно участвуя в конференциях, готовя научные публикации.

По итогам стажировки состоялась защита проектов, авторы лучших из которых получают

возможность участвовать в ежегодном конкурсе грантов МИЦНТ СНГ при поддержке Межгосударственного фонда гуманитарного сотрудничества государств-участников СНГ и ОИЯИ.

31 мая в конференц-зале ЛФВЭ состоялось рабочее совещание коллаборации ARIADNA, посвященное научным программам семи организаций, получивших поддержку Министерства науки и высшего образования РФ для выполнения прикладных исследований с использованием инфраструктуры комплекса NICA.

На открытии совещания выступил вице-директор ОИЯИ Л. Костов. Он поздравил организаторов и участников с открытием мероприятия. Руководитель коллаборации ARIADNA О. В. Белов проинформировал собравшихся о статусе коллаборации ARIADNA, ее составе и текущих задачах и пожелал коллегам удачной и плодотворной работы.

В программу рабочего совещания вошли доклады по вопросам радиационного материаловедения и радиационной модификации материалов, биомедицинских исследований и тестирования радиационной стойкости электроники с использованием пучков ионов ускорительного комплекса NICA.

Совещание, проходившее в гибридном формате, собрало более 100 участников из ОИЯИ, НИЯУ МИФИ, МФТИ, ФИЦ химической физики РАН, Института общей неорганической химии РАН, Института медико-биологических проблем РАН, Института теоретической и экспе-



Дубна, 20 мая – 18 июня. 17-я Международная стажировка для молодых ученых и специалистов из стран СНГ



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 31 мая. Участники рабочего совещания коллаборации ARIADNA

риментальной биофизики РАН, Северо-Осетинского государственного университета.

В настоящее время в коллаборации принимают участие 162 человека из 21 организации пяти стран. Исследовательская программа ARIADNA запущена, в конце 2022 – начале 2023 г. состоялся эксперимент на выведенных пучках ионов высоких энергий, получены первые результаты.

В основной блоке докладов выступили ученые из организаций-участниц коллаборации, представившие планы работ по своим направлениям. В общей сложности по научной программе ARIADNA было заслушано 28 докладов.

Заключительным пунктом работы совещания стало обсуждение его итогов и планов ближайших мероприятий. Было принято решение о подготовке первой научной статьи от имени коллаборации для публикации в одном из международных журналов.

**13 июня** в ходе визита в Дубну Президент Российской Федерации В. В. Путин дал старт работам по технологическому пуску установки класса «мегасайенс» — сверхпроводящего коллайдера ускорительного комплекса NICA.

Этот важнейший этап реализации мегасайенс-проекта NICA знаменует собой начало подготовки к физическому запуску комплекса. С этого момента начинается тестирование работы источников питания сверхпроводящих магнитов коллайдера, а также тестирование сверхпроводящего магнита первой экспериментальной установки комплекса — MPD (Multi-Purpose Detector).

В. В. Путин посетил ускорительный комплекс NICA, где в сопровождении директора ОИЯИ

академика Г. В. Трубникова ознакомился с технологическими особенностями сборки кольца коллайдера тяжелых ионов комплекса NICA. После осмотра экспериментальной установки MPD Президент РФ дал старт технологическому пуску коллайдера, отдав команду на подачу тестового тока в магнитную систему комплекса NICA.

В экспериментальном павильоне MPD В. В. Путин провел встречу с ведущими российскими и зарубежными учеными и получателями мегагрантов на проведение научных исследований. «Мы открыты для сотрудничества, для использования тех достижений, которые появляются благодаря вашей работе. Мы открыты для того, чтобы результаты вашей работы были использованы не только в России, но и в других странах», — подчеркнул Президент РФ.

Коллайдер тяжелых ионов NICA — один из знаковых мегасайенс-проектов, реализуемых на территории России. В создании комплекса участвуют ученые из 30 стран мира, а также Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН). Проект NICA объединяет более 130 научных институтов, университетов и предприятий, из которых 36 представляют Российскую Федерацию. Это 2400 специалистов, включая 1650 российских.

**13 июня** в Доме международных совещаний ОИЯИ Президент Российской Федерации В. В. Путин провел заседание Совета по науке и образованию, главной темой повестки которого стали вопросы формирования и реализации национальных проектов технологического суверенитета.





Дубна, 13 июня. Президент РФ В. В. Путин посетил ускорительный комплекс NICA и провел выездное заседание Совета по науке и образованию



Дубна, 14 июня. Конференция «Наукограды РФ: задачи современного этапа развития»

В заседании приняли участие заместитель Председателя Совета безопасности РФ Д. А. Медведев, первый заместитель Председателя Правительства РФ Д. В. Мантуров, помощник Президента РФ А. А. Фурсенко, председатель Комитета Совета Федерации по науке, образованию и культуре Л. С. Гумерова, министр науки и высшего образования РФ В. Н. Фальков, ректор МГУ им. М. В. Ломоносова В. А. Садовничий, генеральный директор ГК «Росатом» А. Е. Лихачев, гендиректор Российского научного фонда В. А. Беспалов и другие члены совета.

Приветствуя участников заседания, В. В. Путин отметил символичность того, что именно здесь, в Дубне, проходит обсуждение научно-технологических приоритетов России, а также поздравил членов Совета, отечественное и зарубежное научное сообщество и коллектив ОИЯИ со знаковым событием — технологическим пуском установки NICA.

Заместитель Председателя Правительства РФ Д. Н. Чернышенко озвучил приоритеты научно-технологического развития РФ и рассказал о предстоящем к реализации проекте национального технологического суверенитета, в который будут включены федеральные проекты, посвященные науке и технологиям, обратив внимание Совета на необходимость соответствующего кадрового обеспечения национальных проектов. Детальную экспертизу всех проектов будет проводить Российская академия наук.

Президент РАН Г. Я. Красников представил членам Совета приоритеты научно-технологического развития РФ, сформулированные РАН при участии широкого круга ученых и экспертов.

Директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников выступил в поддержку перечня важнейших нау-

коемких технологий, подготовленного по поручению Президента России Правительством и Российской академией наук.

Президент РФ подвел итог мероприятия, анонсировав подписание в ближайшее время указа, который утвердит приоритетные направления научного развития России.

**14 июня** в Доме международных совещаний ОИЯИ прошла конференция «Наукограды РФ: задачи современного этапа развития», приуроченная ко Дню наукоградов Московской области. Участие в ней приняли представители 13 российских наукоградов. Модератором заседания выступил директор ОИЯИ Г. В. Трубников.

Открывая конференцию, глава городского округа Дубна М. А. Тихомиров поздравил всех присутствующих представителей наукоградов с праздником и поблагодарил Объединенный институт за помощь в организации мероприятия.

В рамках заседания Г. В. Трубников представил проект Международного инновационного парка науки и технологий, который планируется построить в Дубне. Проект, предусматривающий строительство современного университетского кампуса и комплексное развитие прилегающих территорий, будет реализовываться совместно ОИЯИ, ОЭЗ «Дубна», государственным университетом «Дубна», а также органами местного самоуправления, региональными и федеральными органами исполнительной власти. Был представлен перечень специальностей и образовательных программ, в которых сегодня нуждаются предприятия города. Самыми востребованными оказались направления «Искусственный интеллект и большие данные», «Ядерно-физические методы и науки о жизни», «Инженерные науки и материаловедение».

Во второй части пленарного заседания перед участниками конференции выступил директор Союза развития наукоградов М. И. Кузнецов. Доклады, посвященные развитию наукоградов, представили главы городских округов Фрязино, Черноголовка, Кольцово и Обнинск. На конференции прошла торжественная церемония награждения ученых наукоградов Подмосквья за выдающиеся достижения в науке.

**14 июня** в ОИЯИ проходило 1-е рабочее совещание ОИЯИ – НИУ ВШЭ в рамках соглашения, подписанного в марте 2024 г., которое определяет основные направления сотрудничества, включающие участие в экспериментах мегасайенс-проекта NICA, взаимодействие в области теоретической и математической физики, информационных технологий и подготовку кадров.

Главный ученый секретарь ОИЯИ С. Н. Неделько коротко рассказал об ОИЯИ, подчеркнув, что Институт по масштабам, спектру и результативности исследований, численности персонала является одним из лидеров среди международных межправительственных научных организаций. Он также отметил, что ОИЯИ и ВШЭ, в силу многодисциплинарности и особенностей организации своей работы, обладают высоким потенциалом для развития сотрудничества.

Старший директор по научным исследованиям и разработкам НИУ ВШЭ А. Л. Судариков представил структуру и направления деятельности этого междисциплинарного научного центра.

Пленарное заседание совещания открыл и. о. директора ЛФВЭ А. В. Бутенко. Поприветствовав участников заседания, он доложил о статусе реализации мегасайенс-проекта NICA.

В ходе параллельных секций на совещании состоялись предметные обсуждения научной программы экспериментальных коллабораций MPD, SPD, BM@N на комплексе NICA, математических методов в науках о жизни, некоторых аспектов современной математики и математической физики, развития информационных технологий хранения и обработки данных физических экспериментов. Участники обсудили возможности подготовки научных кадров высшей квалификации, в том числе проведения студенческих практик и стажировок в ОИЯИ.

**1–2 июля** делегация ОИЯИ во главе с Г. В. Трубниковым посетила Институт физики плазмы Китайской академии наук (ASIPP) в Хэфэе (Китай). В рамках визита состоялась продуктивная встреча с директором ASIPP профессором Сун Юньтао, в ходе которой обсуждались перспективы расширения научного сотрудничества между двумя научными центрами.

Сотрудничество между ОИЯИ и ASIPP активно развивается с 2010 г. в области ускорительных технологий, физики низких температур и сверхпроводимости, медицинской физики и протонной лучевой терапии. В рамках проекта

NICA реализован ряд уникальных сверхпроводящих магнитных устройств, в том числе с использованием высокотемпературной сверхпроводимости. Совместно разработан проект и созданы сверхпроводящие протонные циклотроны (С200 и С240) для Центра протонной терапии в Хэфэе.

В приветственном слове директор ASIPP Сун Юньтао подчеркнул важность международного взаимодействия для достижения значимых научных результатов и выразил уверенность в расширении плодотворного сотрудничества с ОИЯИ. Стороны провели детальное рабочее совещание, обсудили результаты текущих исследований, а также обозначили ключевые направления для будущих совместных проектов. Среди обсуждаемых тем: перспективные разработки в области высокотемпературной сверхпроводимости, создание компактных медицинских циклотронов и систем диагностики, ядерно-физические методы для исследования экологии и климата, а также академические обмены.

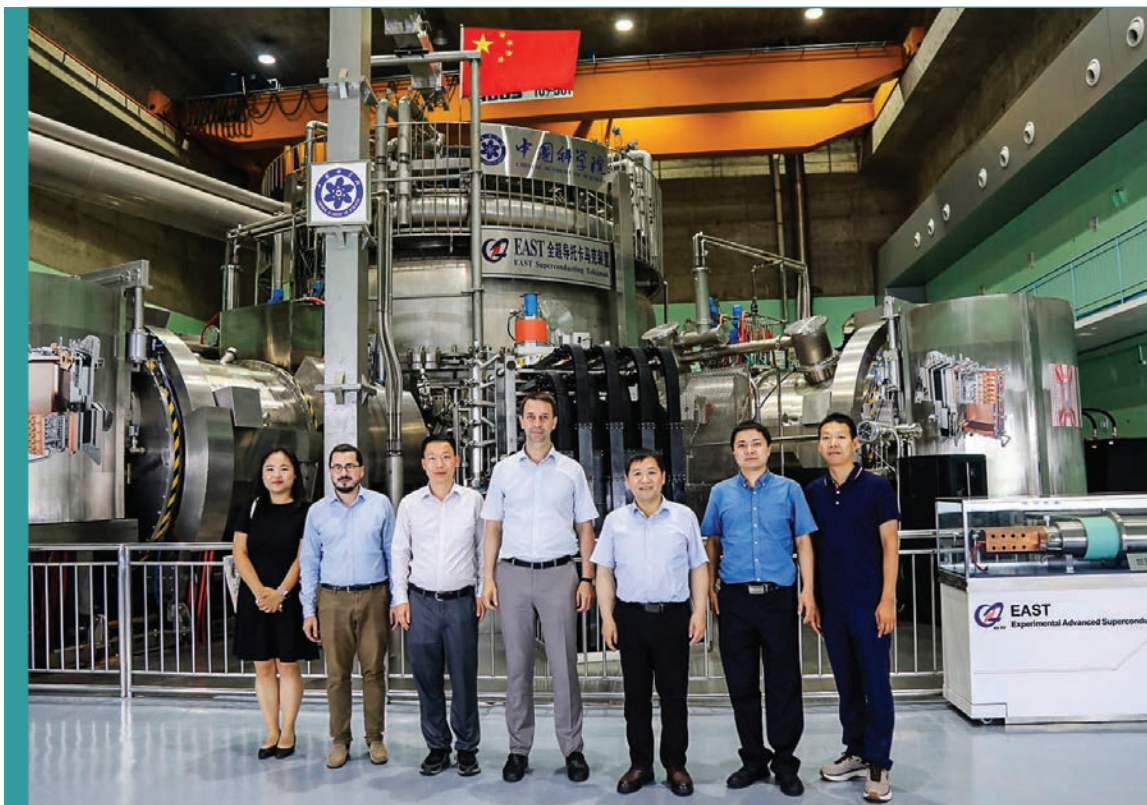
В ходе визита делегация ОИЯИ ознакомилась с исследовательской инфраструктурой института ASIPP и его вкладом в научное развитие КНР. В знак признательности за долгосрочное и доверительное сотрудничество Г. В. Трубников был удостоен чести посадить в Международном парке дружбы на острове Науки именованное дерево — чайную оливу (*Osmanthus fragrans*), дерево-символ Хэфэя.

**С 1 по 5 июля** на базе Иркутского государственного университета проходило 2-е координационное рабочее совещание по радиационному материаловедению на пучках быстрых и многозарядных тяжелых ионов. Целью совещания, в котором участвовали сотрудники ОИЯИ, а также представители Казахстана, России, Сербии и Южной Африки, было обсуждение состояния дел и перспектив развития совместных исследований.

На встрече были рассмотрены предложения по направлениям работ с акцентом на новые методические возможности изучения радиационно-стимулированного изменения свойств материалов на создаваемом в ЛЯР ОИЯИ циклотроне ДЦ-140, установке однородного ионного легирования на ускорителе Tandetron в iThemba LABS, установках облучения на циклотроне ДЦ-60 (Астана), комплексе FAMA (Белград).

Как одно из перспективных направлений развития методической базы совместных исследований по радиационному материаловедению был рассмотрен проект циклотронного комплекса для одновременного облучения мишеней пучками атомов водорода, гелия и одного из металлов (железа, хрома, никеля), что является наиболее эффективным методом проведения испытаний новых реакторных материалов.

В рамках года председательства России в БРИКС 6-я встреча рабочей группы БРИКС по



Хэфэй (Китай), 1–2 июля. Визит делегации ОИЯИ во главе с Г. В. Трубниковым в Институт физики плазмы Китайской академии наук

исследовательским инфраструктурам и проектам класса «мегасайенс» стартовала 1 июля в Москве на площадке НИЦ «Курчатовский институт», а затем продолжила свою работу 2 и 3 июля в Дубне, в Доме международных совещаний ОИЯИ, с участием представителей всех стран БРИКС, вклю-

чая и новые государства-члены этого объединения.

Программу совещания в Дубне открыл вице-директор ОИЯИ Л. Костов, который от имени руководства Института выразил готовность всемерно способствовать расширению участия



Дубна, 2–3 июля. Участники 6-й встречи рабочей группы БРИКС по исследовательским инфраструктурам и проектам класса «мегасайенс»

стран БРИКС в деятельности ОИЯИ по развитию крупной исследовательской инфраструктуры, а также в проведении научных исследований с ее использованием.

В ходе встречи состоялся обмен информацией о научно-технологической политике и стратегии стран-участниц БРИКС в области исследовательской инфраструктуры. Участники совещания посетили ряд объектов ОИЯИ — ускорительный комплекс NICA, фабрику сверхтяжелых элементов, реактор ИБР-2 с комплексом спектрометров.

**3 июля** в Шанхае состоялось 2-е заседание совместного координационного комитета по сотрудничеству ОИЯИ–Китай под сопредседательством директора ОИЯИ академика Г. В. Трубникова и заместителя министра науки и технологий Китая Лун Тэна в рамках подписанного в марте 2023 г. четырехстороннего Протокола между Минобрнауки России, Министерством науки и технологий Китая, ОИЯИ и Китайской академией наук (КАН) об укреплении сотрудничества в области фундаментальных научных исследований.

По итогам отчета о деятельности экспертной рабочей группы при комитете и ее рекомендациям о совместных исследовательских проектах комитет принял решение о начале реализации в 2024 г. восьми (получивших наибольшую экспертную поддержку) совместных проектов в области теоретической физики, разработки технологий для сверхбольшого глубокоководного нейтринного телескопа, использования нейтринных пучков для решения фундаментальных

и прикладных задач, синтеза и изучения свойств сверхтяжелых элементов, разработки ускорительных технологий, создания монолитных кремниевых детекторов, а также сотрудничества в рамках подготавливаемого в КНР нейтринного эксперимента JUNO. Кроме того, экспертная рабочая группа выступила с инициативой поддержать программу академических обменов и проведения совместных научных мероприятий. В число головных организаций по реализации проектов со стороны Китая вошли ведущие научные учреждения и вузы страны: Институт физики высоких энергий КАН (ИФЕР, Пекин), Институт современной физики КАН (Ланьчжоу), Педагогический университет Центрального Китая (Ухань), Институт теоретической физики КАН (Пекин) и др.

В ходе заседания также был рассмотрен вопрос расширения перечня направлений сотрудничества, в частности, в области ИТ. В настоящее время как в ОИЯИ, так и в ИФЕР используется платформа DIRAC Interware для построения распределенных многоуровневых гетерогенных вычислительных систем, что позволяет обрабатывать данные мегасайенс-проектов: NICA в ОИЯИ, JUNO и BESIII в ИФЕР. Другими многообещающими направлениями сотрудничества ОИЯИ и КНР могут стать радиобиология и медицина. Учитывая значительные достижения Китая в области наук о жизни, а также высокий уровень применения новейших технологий в области ядерной медицины и протонной терапии, ОИЯИ намерен наладить более тесное сотрудничество с научными



Шанхай (Китай), 3 июля. Участники 2-го заседания совместного координационного комитета по сотрудничеству ОИЯИ–Китай под сопредседательством директора ОИЯИ академика Г. В. Трубникова и заместителя министра науки и технологий Китая Лун Тэна

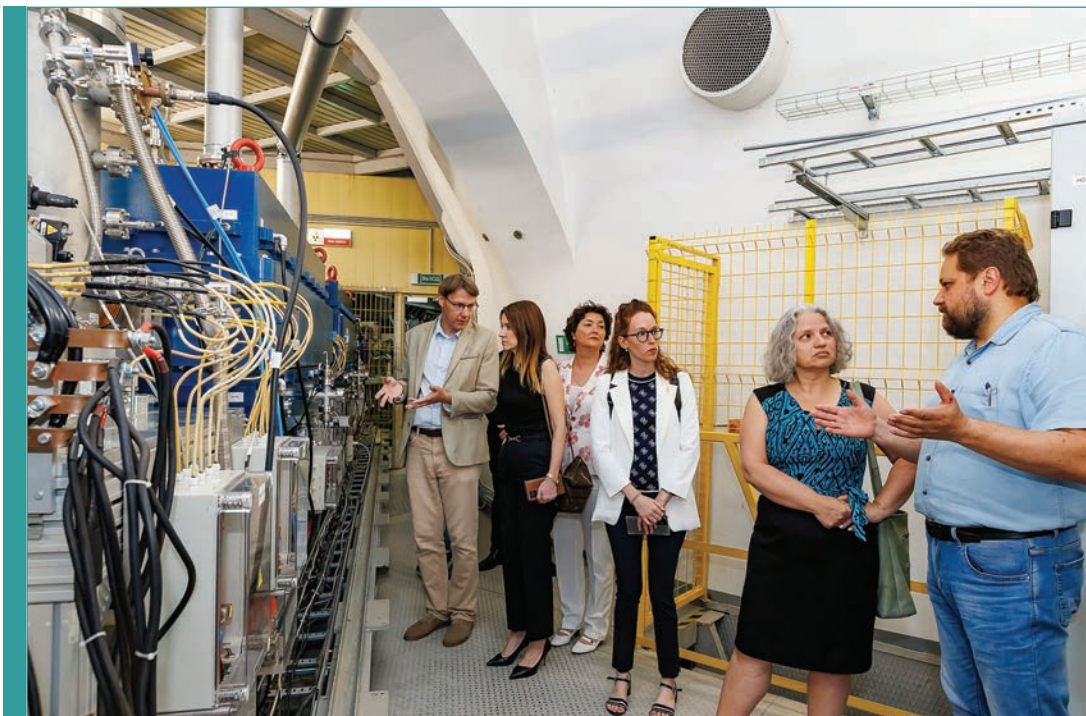
центрами КНР в этой области. В свою очередь, китайские коллеги были приглашены к участию в коллаборации по прикладным исследованиям ARIADNA в рамках проекта NICA.

4 июля в Дальневосточном федеральном университете (Владивосток, Приморский край) со-

стоялось заседание, посвященное подведению промежуточных итогов партнерства с ОИЯИ в результате реализации четырехстороннего соглашения, подписанного в 2022 г. представителями ОИЯИ, ДВФУ, Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВО РАН) и правительства Приморского края. ОИЯИ на встрече пред-



Владивосток (Приморский край), 4 июля. Визит научного руководителя ОИЯИ академика В. А. Матвеева в Дальневосточный федеральный университет



Дубна, 11 июля. Визит в ОИЯИ Чрезвычайного и Полномочного Посла Государства Израиль в РФ С. Гальперин (2-я справа) с сопровождающими лицами

ставлял научный руководитель ОИЯИ академик В. А. Матвеев.

В ходе заседания был отмечен значительный прогресс, достигнутый в результате плодотворного сотрудничества ДВФУ и ОИЯИ в реализации новых образовательных программ, повышении академической мобильности и квалификации научных кадров, а также популяризации научных знаний. Одно из наиболее важных достижений совместной работы — запуск сетевой образовательной программы бакалавриата «Медицинская физика» на базе Института наукоемких технологий и передовых материалов ДВФУ.

На заседании ученого совета ДВФУ, приуроченного к празднованию столетия физико-математического образования на Дальнем Востоке, научному руководителю ОИЯИ академику В. А. Матвееву было присвоено звание почетного доктора Дальневосточного федерального университета в знак признания многолетнего плодотворного сотрудничества и за значительный вклад ученого в развитие физико-математического образования в ДВФУ. В своем выступлении перед коллегами он осветил аспекты сотрудничества ДВФУ и ОИЯИ в сфере научных исследований и образовательной деятельности, а также перспективы его развития, уделив особое внимание планам по сооружению на базе ДВФУ на острове Русский (Владивосток) установки класса «мегасайенс» — синхротрона «Русский источник фотонов» (РИФ).

В Инфоцентре ОИЯИ при ДВФУ В. А. Матвеев встретился с молодыми учеными, студентами и преподавателями, а также с председателем

Законодательного собрания Приморского края В. В. Горчаковым, бывшим ректором Дальневосточного государственного университета (ДВГУ), с инициативы которого в 1970-е гг. началось плодотворное сотрудничество ДВГУ и ОИЯИ.

**11 июля** состоялся визит в ОИЯИ Чрезвычайного и Полномочного Посла Государства Израиль в РФ С. Гальперин с сопровождавшими лицами с целью обсуждения перспектив укрепления сотрудничества между ОИЯИ и Израилем.

Программа визита началась со знакомства с объектами крупной научной инфраструктуры ОИЯИ. В ЛФВЭ гости осмотрели ускорительный комплекс NICA, побывав в экспериментальном павильоне детектора MPD, зале синхрофазотрона и на фабрике по производству сверхпроводящих магнитов. В ЛЯР делегация ознакомилась с фабрикой сверхтяжелых элементов на базе циклотрона ДЦ-280 и посетила Центр прикладной физики ЛЯР.

На встрече в дирекции стороны обсудили результаты сотрудничества между ОИЯИ и научными организациями Израиля и перспективы его развития. Была подчеркнута плодотворность сотрудничества в области физики релятивистских тяжелых ионов в рамках мегасайенс-проекта NICA, в области теоретической физики, а также отмечены совместные работы в других международных научных коллаборациях, в особенности в ЦЕРН.

**29 июля** состоялся визит в ОИЯИ руководителя аппарата губернатора Приморского края



Дубна, 29 июля. Руководитель аппарата губернатора Приморского края и правительства Приморского края Д. М. Маликова (2-я слева) на встрече в дирекции ОИЯИ

и правительства Приморского края Д. М. Маликовой для обсуждения комплекса вопросов, связанных с развитием сотрудничества в области подготовки высококвалифицированных кадров.

Встречу провел научный руководитель Института академик В. А. Матвеев, в ней приняли участие директор УНЦ Д. В. Каманин и начальник сектора ЛИТ, куратор от ОИЯИ Информационного центра в Дальневосточном федеральном университете О. И. Стрельцова.

Был рассмотрен широкий спектр вопросов, включая возможности ОИЯИ для школьников и студентов, повышение квалификации школьных учителей, профессиональное становление студентов в научной сфере и развитие науки на Дальнем Востоке, в том числе в трансфере технологий в Приморском крае в рамках подписанного 10 октября 2022 г. во Владивостоке четырехстороннего соглашения между ДВФУ, ОИЯИ, ДВО РАН и правительством Приморского края.

В рамках визита в ОИЯИ Д. М. Маликова побывала с экскурсией на выставке «Базовые установки ОИЯИ» в ДК «Мир» и посетила ускорительный комплекс NICA в ЛФВЭ.

**3 августа** ОИЯИ посетила делегация Агентства стратегических инициатив (АСИ) в лице генерального директора С. В. Чупшевой и заместителя директора дивизиона «Городская экономика» АСИ М. С. Комковой.

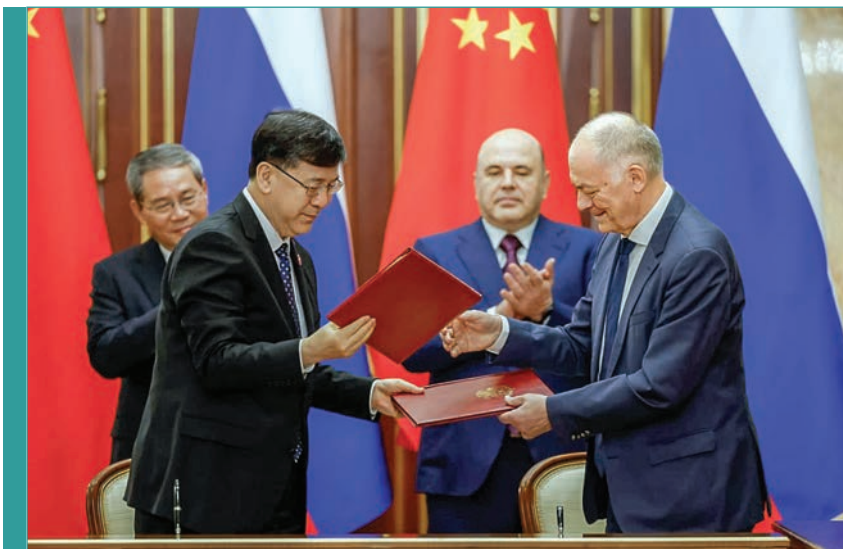
В ходе визита состоялось совещание в дирекции ОИЯИ, посвященное обсуждению вопросов формирования современной комфортной городской среды в Дубне и других наукоградах России. В совещании принимали участие директор ОИЯИ Г. В. Трубников, глава городского округа Дубна М. А. Тихомиров, ректор государственного

университета «Дубна» А. С. Деникин и помощник директора ОИЯИ по проектам развития А. В. Рузаев.

Особое внимание было уделено необходимости совместной работы в разработке мастер-плана социально-экономического развития Дубны. С. В. Чупшева подчеркнула важность этой работы в контексте поручения Президента РФ о формировании списка из 200 крупных и малых городов, для которых будут разработаны соответствующие стратегии развития. Как заверила С. В. Чупшева, агентство предоставит необходимую методологическую и экспертную поддержку Дубне и Объединенному институту при разработке мастер-плана. По итогам встречи стороны определили первоочередные шаги по выполнению согласованных задач и реализации будущих совместных проектов.

В рамках знакомства с научной инфраструктурой ОИЯИ делегация АСИ посетила ускорительный комплекс NICA в ЛФВЭ, Центр прикладной физики ЛЯР, а также интерактивную выставку «Базовые установки ОИЯИ» в ДК «Мир».

**21 августа** в Москве в Доме Правительства Российской Федерации состоялось подписание Соглашения между ОИЯИ и Министерством науки и технологий Китайской Народной Республики (Миннауки Китая). Документ был подписан в ходе 29-й регулярной встречи глав правительств России и Китая. Со стороны ОИЯИ соглашение было подписано вице-директором ОИЯИ В. Д. Кекелидзе, с китайской стороны подписантом документа выступил министр науки и технологий Китая Инь Хэцзюнь. Церемония подписания прошла в присутствии премьер-министра РФ М. В. Мишустина и премьер-министра Государственного Совета КНР Ли Цяна.



Москва, 21 августа. Подписание Соглашения между ОИЯИ и Министерством науки и технологий Китайской Народной Республики

В рамках подписанного соглашения ОИЯИ и Миннауки Китая планируют совместное финансирование научных проектов сотрудничества в области фундаментальных исследований на базе крупных научных установок. Стороны определили восемь совместных проектов в области физики нейтрино, теоретической и ядерной физики, исследований и разработок в области микросхем и детекторных технологий, синтеза новых элементов и изучения химических свойств сверхтяжелых элементов.

Участниками отобранных совместных с Объединенным институтом проектов выступают со стороны Китайской академии наук Институт теоретической физики, Институт физики высоких энергий, Институт современной физики, а также Университет Цинхуа и Педагогический университет Центрального Китая.

3 сентября ОИЯИ посетила делегация, представлявшая группу компаний «Таврида Энерго Строй» (ГК «ТЭС») — генерального подрядчика



Дубна, 3 сентября. Визит в ОИЯИ делегации группы компаний «Таврида Энерго Строй» — генерального подрядчика по сооружению здания коллайдера NICA

по сооружению здания коллайдера NICA с марта 2024 г.

На протяжении более десяти лет ГК «ТЭС» является надежным партнером ОИЯИ по реализации различных инфраструктурных энергетических проектов. Группу компаний «Таврида Энерго Строй» представляли директор ГК «ТЭС» Д. В. Дударев, руководитель филиала «ТЭС-Киров» А. Н. Гурьев и коммерческий руководитель проекта Н. Заболотский. От руководства ОИЯИ в совещании принимали участие директор ОИЯИ Г. В. Трубников, руководитель проекта ускорительного комплекса NICA В. Д. Кекелидзе и заместитель главного инженера ОИЯИ А. В. Дударев.

На встрече с дирекцией ОИЯИ обсуждались вопросы, касающиеся выполнения поставленных задач и поиска необходимых решений для завершения комплекса строительных работ на объекте в срок. Совместно с представителями Института генеральный подрядчик провел выездное совещание на строительной площадке в ЛФВЭ, в рамках которого был осуществлен осмотр ускорительного комплекса и представлен статус текущих работ.

По итогам визита были определены наиболее сложные участки объекта, которые требуют особого внимания и дополнительного контроля с точки зрения своевременной реализации поставленных задач, а также принято совместное решение углубить взаимодействие служб ОИЯИ и генподрядчика для успешного выполнения всех строительно-монтажных и пусконаладочных работ на комплексе NICA.

**9 сентября** в учебном корпусе филиала МГУ в Дубне состоялось торжественное мероприятие, посвященное началу нового учебного года.

Заместитель директора филиала МГУ в Дубне А. Г. Ольшевский, открывая мероприятие, поздравил студентов и преподавателей с началом учебного года, подчеркнув важность научно-образовательного сотрудничества между МГУ и ОИЯИ.

В 2024 г. на направления «Физика элементарных частиц» и «Фундаментальная и прикладная ядерная физика» поступили 11 студентов, 10 из которых получили бюджетные места. Географический спектр нового набора студентов охватывает такие города России, как Владикавказ, Воронеж, Самара, Казань, Иркутск и Дубна.

Директор филиала МГУ в Дубне член-корреспондент РАН Э. Э. Боос рассказал об истории основания учреждения, событиях, которые предшествовали его появлению на карте Дубны в середине XX в., и планах по развитию филиала на ближайшие годы.

С презентацией, посвященной современным проектам и исследованиям ОИЯИ, а также истории научного и образовательного сотрудничества с МГУ, выступил директор ОИЯИ, руководитель программы «Фундаментальная и при-

кладная ядерная физика» в филиале МГУ в Дубне академик Г. В. Трубников.

Проректор МГУ С. А. Бушев, поздравляя студентов, отметил, что Дубна обладает уникальным сочетанием высокого научного потенциала и комфортной для жизни городской среды.

В торжественной обстановке состоялась церемония вручения студенческих билетов магистрантам первого года обучения, после чего для всех студентов и преподавателей была организована экскурсия в ЛФВЭ, где они посетили площадку ускорительного комплекса NICA.

**13 сентября** на 136-й сессии Ученого совета ОИЯИ были объявлены имена лауреатов премии «Оганесон» за 2024 г. Премия организована по предложению и за счет средств академика Ю. Ц. Оганесяна. Учредителями премии выступают Ю. Ц. Оганесян и ОИЯИ.

Директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников, выступая на сессии Ученого совета, напомнил, что премия присуждается ежегодно за значимые достижения в теоретических и экспериментальных исследованиях в области физики, химии, биологии и прикладных задач, а также за творческую деятельность в области образования и популяризацию науки.

Лауреатами премии «Оганесон» за 2024 г. стали:

- А. К. Нурмуханбетова (Назарбаев Университет, Казахстан), заведующая лабораторией Research and Innovation System (NURIS), — за разработку и реализацию программы исследований легчайших ядер на ускорителе ионов низких энергий (ДЦ-60);

- Г. Н. Княжева (ЛЯР ОИЯИ), старший научный сотрудник, — за пионерские работы по наблюдению и исследованию процесса квазиделения тяжелейших ядер;

- Т. В. Черниговская, директор Института когнитивных исследований СПбГУ (Россия), профессор, заслуженный деятель высшего образования и заслуженный деятель науки Российской Федерации, — за выдающийся вклад в популяризацию научных знаний и развитие междисциплинарных исследований на стыке нейронаук, лингвистики и психологии;

- Ю. А. Золотов, академик РАН, главный научный сотрудник кафедры аналитической химии МГУ им. М. В. Ломоносова, главный научный сотрудник Института общей и неорганической химии (Россия), — за выдающиеся научные работы в области аналитической химии, за огромный личный вклад в подготовку молодых ученых, специалистов и кадров высшей квалификации;

- З. Вилакази, вице-канцлер и ректор Витватерсрандского университета (ЮАР), — за большой вклад в развитие научного сотрудничества ЮАР и ОИЯИ в области изучения ядерных реакций, ускорительных технологий и физики высоких энергий.



Дубна, 16 сентября. Визит в ОИЯИ Чрезвычайного и Полномочного Посла Республики Беларусь в РФ А. Н. Рогожника (в центре) с сопровождающими лицами

Торжественная церемония награждения лауреатов премии «Оганесон» прошла в феврале 2025 г. в Москве.

**16 сентября** состоялся визит в ОИЯИ Чрезвычайного и Полномочного Посла Республики Беларусь в РФ А. Н. Рогожника с сопровождавшими лицами.

Гости побывали на экскурсии в ЛФВЭ, где ознакомились с ходом реализации мегасайенс-проекта NICA, а также получили представление о широком спектре научных исследований Института в ДК «Мир» на интерактивной выставке «Базовые установки ОИЯИ».

В ходе встречи с дирекцией ОИЯИ обсуждались вопросы укрепления сотрудничества с ведущими научными центрами Беларуси в сферах физики, оптики, микроэлектроники и медицины.

**16–20 сентября** делегация ОИЯИ под руководством вице-директора Л. Костова находилась в Вене (Австрия), где приняла участие в 68-й Генеральной конференции Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в качестве наблюдателей.

18 сентября состоялась встреча делегации ОИЯИ с заместителем генерального директора МАГАТЭ М. В. Чудаковым. Обе стороны с удовлетворением отметили развитие сотрудничества и регулярные контакты организаций, в частно-

сти участие представителей МАГАТЭ в качестве наблюдателей на сессиях КПП ОИЯИ.

Значительное внимание было уделено обсуждению реализации обновленного рамочного договора о сотрудничестве между ОИЯИ и МАГАТЭ, подписанного 27 сентября 2022 г. Документом, в частности, предусматривается сотрудничество в области подготовки кадров и развития исследовательской инфраструктуры, функционирования и эксплуатации ядерных исследовательских реакторов и ускорителей частиц, включая экспертную поддержку при разработке новых установок. В ходе встречи стороны обсудили практические шаги по участию в программе им. Лизы Мейтнер, а также для запуска проекта «Интернет-лаборатории».

В рамках участия в Генеральной конференции МАГАТЭ делегация ОИЯИ провела двусторонние встречи с представителями более десятка стран и международных организаций. Кроме того, представители ОИЯИ участвовали в ряде спутниковых мероприятий Генконференции.

**17 сентября** в Доме ученых ОИЯИ был проведен круглый стол с участием представителей Национальной академии наук Беларуси.

В состав белорусской делегации входили главный ученый секретарь НАН Беларуси В. Л. Гурский, академик-секретарь Отделения физико-технических наук, ответственный от НАН



Вена (Австрия), 18 сентября. Делегация ОИЯИ под руководством вице-директора Л. Костова на встрече с заместителем генерального директора МАГАТЭ М. В. Чудаковым (в центре) в рамках 68-й Генеральной конференции МАГАТЭ

Беларуси по контактам с ОИЯИ С. С. Щербаков, академик-секретарь Отделения физики, математики, информатики А. Г. Шумилин, генеральный директор государственного научно-производственного объединения «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» М. В. Богданович и старший специалист аппарата НАН Беларуси О. Н. Григорьева.

ОИЯИ на встрече представляли директор Г. В. Трубников, вице-директор ОИЯИ, ответственный руководитель по контактам ОИЯИ с Республикой Беларусь В. Д. Кекелидзе, главный ученый секретарь Института С. Н. Неделько,

директора лабораторий ОИЯИ: С. И. Сидорчук (ЛЯР), Е. В. Лычагин (ЛНФ), Е. А. Якушев (ЛЯП), начальник отделения физики на встречных пучках ЛФВЭ Д. В. Пешехонов, начальник сектора детектирующих систем, обработки и анализа физической информации ЛЯП, руководитель национальной группы Республики Беларусь в ОИЯИ Ю. А. Кульчицкий.

Были рассмотрены предложения о присоединении научных организаций НАН РБ к проекту Baikal-GVD и их участии в создании медицинского протонного циклотрона MSC-230, возможности сотрудничества в части производства оптоволокон-



Дубна, 17 сентября. Круглый стол с представителями НАН Беларуси, посвященный вопросам сотрудничества



Дубна, 21 сентября. Визит в ОИЯИ представителей руководства Академии наук Республики Узбекистан

на, микроэлектроники, создания программного обеспечения и анализа экспериментальных данных, обсуждались участие белорусских школьников и учителей в образовательных программах ОИЯИ и возможность обмена специалистами по узким направлениям между ядерным институтом Беларуси ОИЭЯИ — Сосны и ЛНФ ОИЯИ.

В рамках визита в ОИЯИ делегация НАН Беларуси посетила ЛНФ и ЛЯП, фабрику сверхтяжелых элементов и наноцентр в ЛЯР, ускорительный комплекс NICA и фабрику сверхпроводящих магнитов в ЛФВЭ. Были проведены плодотворные рабочие встречи с представителями руководства этих лабораторий, направленные на расширение сотрудничества.

**19–22 сентября** состоялся визит делегации ОИЯИ в Монголию. Представители ОИЯИ приняли участие в международной конференции, приуроченной к 50-летию юбилею Института математики и цифровой технологии МАН. На конференции, собравшей представителей институтов Китая, Монголии, Португалии, России, США, Франции, ЮАР, Японии и других стран, с докладами выступили научный руководитель ЛИТ В. В. Кореньков, директор ЛРБ, ответственный руководитель от ОИЯИ по контактам с Монголией А. Н. Бугай, заместитель директора ЛИТ О. Чулуунбаатар и ведущий научный сотрудник ЛИТ А. А. Гусев.

Делегация ОИЯИ совершила визиты в Институт математики и цифровой технологии, Институт физики и технологии Монгольской академии наук (МАН) и Центр ядерно-физических исследований Монгольского государственного университета, где ознакомилась с научными программами

и исследовательской инфраструктурой, в частности с вычислительным кластером, источниками ионизирующих излучений и строящейся радиохимической лабораторией. В Центре ядерно-физических исследований делегация посетила мемориальный кабинет академика Н. Соднома, Президента Академии наук Монголии и ректора Монгольского государственного университета, занимавшего пост вице-директора ОИЯИ (1967–1973 гг.). Состоялась встреча с известными монгольскими учеными, которые работали в ОИЯИ.

На круглом столе с руководителями институтов и членами МАН под председательством полномочного представителя правительства Монголии в ОИЯИ академика С. Даваа был достигнут ряд договоренностей об интенсификации взаимодействия между исследовательскими коллективами ОИЯИ и Монголии, участии в образовательных программах и использовании возможностей по привлечению ассоциированного персонала. Стороны договорились о развитии будущего Инфоцентра Объединенного института в Монголии и организации мероприятий в рамках Дней ОИЯИ в Монголии в 2025 г.

**21 сентября** состоялся визит в ОИЯИ представителей руководства Академии наук Республики Узбекистан (АН РУз): временно исполняющего обязанности президента АН РУз С. Мирзаева и вице-президента академии Г. Бахадирова.

Делегацию принял вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев. От имени дирекции Института он выразил соболезнования в связи с уходом из жизни президента АН РУз, полномочного представителя правительства Республики Узбе-

кистан в ОИЯИ, члена Ученого совета Института Б. С. Юлдашева. Стороны обсудили двусторонние организационные вопросы, в том числе участие делегации Узбекистана на предстоящих в ноябре сессиях Финансового комитета и КПП ОИЯИ.

На встрече также обсуждались перспективы двустороннего сотрудничества в области фундаментальных и прикладных исследований. В частности, была выражена заинтересованность в разработке медицинских радиоизотопов, изучении объектов культурного наследия методами нейтронно-активационного анализа и радиографии, применении прецизионных инклинометров ОИЯИ в сейсмических станциях Узбекистана в целях прогнозирования землетрясений.

В ходе визита делегация АН РУз посетила ЛФВЭ, ЛЯР, ЛНФ и ЛИТ ОИЯИ, ознакомилась с инфраструктурой Института и спектром проводимых исследований.

С 24 по 27 сентября в Москве и Московской области проходила завершающая часть международной молодежной акселерационной программы «Бизнес-инкубатор Шанхайской организации сотрудничества (ШОС)». Программа проводится при поддержке Президента Российской Федерации.

В рамках первого дня программы в Дубне в конгресс-центре ОЭЗ «Дубна» с докладом «Протонная терапия. Опыт и предложения ОИЯИ» выступил помощник главного инженера ОИЯИ

С. Г. Ширков. Во второй день интенсива участники посетили ЛФВЭ и ЛИТ ОИЯИ, где ознакомились с флагманским мегасайенс-проектом NICA, Многофункциональным информационно-вычислительным комплексом ОИЯИ и суперкомпьютером «Говорун», а также выставку «Базовые установки ОИЯИ» в ДК «Мир».

В акселерационной программе принимали участие 50 предпринимателей в возрасте от 18 до 35 лет из Беларуси, Индии, Казахстана, Китая, Киргизии, Пакистана, России и Узбекистана, возглавляющие отдельные проекты, стартапы и фирмы в самых разных областях: от прикладной физики, химии до IT и педагогики, от фармацевтики до ресторанного дела и логистики.

26 сентября ОИЯИ посетила вьетнамская делегация во главе с министром науки и технологий Социалистической Республики Вьетнам (СРВ) Хюинь Тхань Датом. Основными темами обсуждения стали подготовка кадров для планируемого во Вьетнаме исследовательского реактора, вовлечение вьетнамских сотрудников в ключевые проекты ОИЯИ и поддержка со стороны ОИЯИ проекта по созданию ускорительного комплекса в Ханое.

В ДМС ОИЯИ состоялось заседание объединенного координационного комитета (ОКК) по научным проектам ОИЯИ–Вьетнам. Сопредседатель ОКК со стороны ОИЯИ Б. Ю. Шарков рассказал о ходе работ по выполнению совмест-



Дубна, 27 сентября. Участники международной молодежной акселерационной программы «Бизнес-инкубатор Шанхайской организации сотрудничества» на экскурсии в ЛФВЭ

ных проектов и грантов полномочного представителя правительства СРВ. Особое внимание сосредоточено на реализации проекта создания совместной лаборатории Винатом–ОИЯИ на базе исследовательского реактора, который планируется построить на юге Вьетнама в рамках программы Вьетнам–Росатом. Обсуждалась организация и проведение курса JEMS для представителей стран Юго-Восточной Азии и участие Вьетнама в других образовательных программах ОИЯИ. На заседании также были вручены дипломы об окончании международной студенческой практики, состоявшейся в сентябре, выпускникам из Вьетнама. Был заслушан доклад руководителя вьетнамского землячества в ОИЯИ.

Сопредседатель ОКК, вице-президент Вьетнамской академии наук и технологий, полномочный представитель правительства СРВ в ОИЯИ Чан Туан Ань в своем выступлении выразил благодарность руководству Института за поддержку в связи с ликвидацией последствий урагана во Вьетнаме.

Президент Вьетнамского института атомной энергии (Винатом), член Ученого совета ОИЯИ Чан Ти Тхань выразил заинтересованность вьетнамской стороны в активном участии ОИЯИ в подготовке кадров в 2025–2030 гг. для будущего реактора, один из четырех каналов для прикладных исследований которого будет выделен специально для ученых ОИЯИ, а также попросил рассмотреть возможность поспособствовать в подборе и поставке оборудования для нового ускорительного центра, который будет располагаться в пригороде Ханоя.

Директор Управления радиационной и ядерной безопасности Министерства науки и техно-

логий Вьетнама Нгуен Туан Кхай отметил, в частности, что, по его мнению, ОИЯИ мог бы принять участие в создании дорожной карты для эффективного использования нового реактора после его ввода в эксплуатацию для Винатома и стран Юго-Восточной Азии.

В заключение встречи директор ОИЯИ Г. В. Трубников подтвердил интерес Объединенного института к созданию исследовательского канала на будущем реакторе и проекту в целом, к участию в создании оборудования для ускорительного центра и поддержал предложение о необходимости активных стажировок для вьетнамских специалистов в ОИЯИ, в том числе проведения студенческих школ, конференций, мероприятий по повышению квалификации в очном и дистанционном формате на базе будущего инфоцентра.

Вьетнамская делегация посетила ЛЯР и ЛФВЭ ОИЯИ, где ознакомилась с флагманскими установками Института: фабрикой сверхтяжелых элементов и ускорительным комплексом NICA, а также работой наноцентра ЛЯР.

**26 сентября** в Дубне состоялось собрание руководителей совместных проектов ОИЯИ и научных организаций и университетов Южно-Африканской Республики. В настоящее время программа сотрудничества ЮАР–ОИЯИ включает более 20 проектов, которые охватывают большинство тематических направлений исследований ОИЯИ.

Координатор сотрудничества ЮАР–ОИЯИ, заместитель директора циклотронной лаборатории iThemba LABS Р. Нчоду подчеркнул большую



Дубна, 26 сентября. ОИЯИ посетила вьетнамская делегация во главе с министром науки и технологий Социалистической Республики Вьетнам Хюинь Тхань Датом (2-й справа в 1-м ряду)



Дубна, 26 сентября. Собрание руководителей совместных проектов ОИЯИ и научных организаций и университетов Южно-Африканской Республики

заинтересованность ученых ЮАР в дальнейшем развитии связей с Объединенным институтом и рассказал о ближайших планируемых в этом направлении шагах. Идет работа над консолидацией интересов университетов ЮАР в формате консорциумов для совместного участия в крупных проектах ОИЯИ, подготовки кадров по ядерным технологиям, радиобиологии, ускорительной технике и ряду других направлений. В 2024 г. южноафриканские студенты приняли

участие в двух потоках международной студенческой практики, проводимой УНЦ ОИЯИ.

В ходе встречи обсуждалась совместная с ОИЯИ подготовка Международного африканского симпозиума по экзотическим ядрам (IASEN-2024), в рамках которого пройдет очередное заседание совместного координационного комитета ЮАР–ОИЯИ, а также запланировано открытие Информационного центра ОИЯИ в iThemba LABS.



Дубна, 7–11 октября. Участники программы «Введение для представительств полномочных представителей и должностных лиц, ответственных за взаимодействие с ОИЯИ»

С 7 по 11 октября в ОИЯИ впервые проводилась программа «Введение для представительств полномочных представителей и должностных лиц, ответственных за взаимодействие с ОИЯИ», участниками которой стали 9 представителей научных центров Азербайджана, Армении, Беларуси, Грузии, Египта, Кубы, Монголии, Сербии и Узбекистана, ответственных за сотрудничество с Институтом.

Мероприятие нацелено на предоставление сотрудникам аппаратов полномочных представителей стран-участниц ОИЯИ максимально полной информации о формировании и реализации научной политики Института, различных аспектах его административно-организационной деятельности, исследовательской и социальной инфраструктуре, образовательных программах и инновационных проектах.

На протяжении пяти дней участники знакомы с лабораториями и научными установками Института, слушали лекции представителей административных департаментов и подразделений, участвовали в дискуссиях и встречах с директорами лабораторий и руководителями национальных групп.

В последний день состоялся круглый стол с представителями руководства Института. Вице-директор ОИЯИ Л. Костов подчеркнул важность и своевременность организации данной программы для оптимизации взаимодействия профильных подразделений ОИЯИ с аппаратом полномочных представителей стран-участниц. Участники программы поделились своими впе-

чатлениями, полученными во время визита в Институт.

7-11 октября в Казахском национальном университете им. аль-Фараби (КазНУ) проходил 5-й Международный научный форум «Ядерная наука и технологии», организованный при участии министерств энергетики, науки и высшего образования Республики Казахстан (РК), Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН) и ведущих научных центров и образовательных учреждений РК. Активное участие в работе форума принимали сотрудники ОИЯИ.

3-4 октября, в преддверии международного форума, сотрудники ОИЯИ провели научно-популярные лекции для учеников общеобразовательной школы № 64 города Алматы и студентов КазНУ. Школьники и студенты получили информацию о возможностях участия в международных школах, стажировках и научных конференциях, организуемых Объединенным институтом, а также об экскурсиях на крупнейшие исследовательские объекты ОИЯИ.

7 октября на открытии форума президент Национальной академии наук при Президенте РК А. Куришбаев отметил прогресс в отношениях научного сообщества республики с ведущими научными центрами мира, в числе которых был назван и Объединенный институт. Заместитель научного руководителя ЛЯР ОИЯИ М. Г. Иткис рассказал об историческом развитии исследований в области синтеза сверхтяжелых элементов. Роль ОИЯИ в воспитании казахстанских молодых специалистов и их становлении как ученых под-



Алматы (Казахстан), 7-11 октября. Участники 5-го Международного научного форума «Ядерная наука и технологии»



Хайкоу (Китай), 10–14 октября. 33-я Генеральная ассамблея Международного союза фундаментальной и прикладной физики (IUPAP)

черкнул в ходе выступления на итоговой сессии форума заведующий Лабораторией ядерных процессов ИЯФ Т. Жолдыбаев.

В ходе международного форума сотрудниками ОИЯИ было представлено более 50 докладов. В своих выступлениях они охватили актуальные направления фундаментальной и прикладной

ядерной физики, атомной энергетики, радиационной экологии, а также вопросы применения радиационных технологий в медицине и промышленности.

**10–14 октября** в городе Хайкоу на острове Хайнань (Китай) проходила 33-я Генеральная ассамб-



Ханой (Вьетнам), 13–19 октября. Рабочий визит во Вьетнам делегации ОИЯИ. Встреча во Вьетнамском институте ядерной энергии (Винатом)



Дубна, 15 октября. После подписания соглашений о сотрудничестве ОИЯИ с Национальной комиссией по атомной энергии Бразилии (CNEN) и Федеральным университетом Южной Баии (UFSB)

ля Международного союза фундаментальной и прикладной физики (IUPAP), участие в которой приняли директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников и специальный представитель директора ОИЯИ по сотрудничеству с международными и российскими научными организациями академик Б. Ю. Шарков. ОИЯИ как международная межправительственная организация выступает в качестве самостоятельного корпоративного ассоциированного члена союза IUPAP, наравне с ЦЕРН.

Наряду с участием в заседаниях Генеральной ассамблеи делегация ОИЯИ провела несколько встреч с лидерами крупных научных организаций по поводу совместного участия в международных исследовательских проектах. В частности, Г. В. Трубников провел переговоры с членами Совета ЦЕРН, на которых обсуждалось дальнейшее участие ОИЯИ в проектах ЦЕРН. Состоялись встречи и контакты с руководителями крупных глобальных и национальных инфраструктурных проектов и выдающимися учеными, в том числе с лауреатами Нобелевской премии по физике Б. Баришем (гравитационные волны), Т. Каджитой (осцилляции нейтрино) и С. Тингом (открытие  $J/\psi$ -мезона).

В ходе 33-й Генеральной ассамблеи академик Б. Ю. Шарков был переизбран на второй срок в качестве вице-президента с функцией казначея, а три кандидата от ОИЯИ были избраны для участия в комиссиях IUPAP. Главный научный сотрудник ЛФВЭ Р. Ледницки будет представлять Институт в комиссии по физике элементарных частиц. В комиссию по ядерной физике по рекомендации ЛЯР была избрана старший

научный сотрудник лаборатории Г. Н. Княжева, в комиссию по биофизике вошел директор ЛРБ А. Н. Бугай.

**15 октября** в Дубне были подписаны соглашения о сотрудничестве с Национальной комиссией по атомной энергии Бразилии (CNEN) и Федеральным университетом Южной Баии (UFSB) в ходе визита в ОИЯИ представителей высших учебных заведений Федеративной Республики Бразилии.

Подписание соглашений, призванных открыть новые возможности для совместных исследований и развития научно-образовательных программ, состоялось в рамках круглого стола с участием руководителей ОИЯИ и лабораторий Института. Г. В. Трубников рассказал бразильским коллегам об организации работы и основных направлениях исследований в Институте, а также представил современную научную инфраструктуру ОИЯИ. В ходе обсуждения особое внимание было уделено вопросам реализации программ подготовки молодых специалистов для участия в международных научных проектах.

В рамках знакомства с научной инфраструктурой ОИЯИ гости из Латинской Америки посетили площадки ускорительного комплекса NICA в ЛФВЭ, Центр прикладной физики ЛЯР, а также интерактивную выставку «Базовые установки ОИЯИ» в ДК «Мир».

**29 октября** были объявлены имена молодых ученых и специалистов — лауреатов ежегодной премии губернатора Московской области в сфере науки, технологий, техники и инноваций. В чис-



Лауреаты ежегодной премии губернатора Московской области в сфере науки, технологий, техники и инноваций — сотрудники ОИЯИ Д. Н. Никифоров и Е. В. Мардыбан

ле 15 лауреатов — сотрудники ОИЯИ: начальник научно-экспериментального отдела сверхпроводящих магнитов и технологий ЛФВЭ кандидат технических наук Д. Н. Никифоров и научный сотрудник сектора ядерных реакций и структуры ядра ЛТФ кандидат физико-математических наук Е. В. Мардыбан.

Д. Н. Никифоров представил на конкурс исследование «Высокотехнологичные криогенные системы для ускорительного комплекса NICA». Автору принадлежит вклад в разработку и ввод в эксплуатацию системы криообеспечения стенда для испытаний сверхпроводящих (СП) магнитов, в создание математической модели, по-



Москва, 6 ноября. Заседание наблюдательного совета проекта NICA, посвященное обсуждению статуса мегасайенс-проекта ОИЯИ

звляющей рассчитывать время охлаждения СП-магнитов типа «Нуклотрон», в разработку технологии, создание и проведение криогенных испытаний слаботочных тоководов для корректирующих магнитов бустерного синхротрона и колец коллайдера NICA.

Е. В. Мардыбан удостоен премии губернатора за исследование структуры и свойств атомных ядер в рамках коллективных моделей ядра. Ученый провел ряд оригинальных научных исследований по изучению структуры тяжелых атомных ядер при различных деформациях и энергиях возбуждения.

**6 ноября** в Министерстве науки и высшего образования РФ прошло заседание наблюдательного совета проекта NICA, посвященное обсуждению статуса мегасайенс-проекта ОИЯИ. Сопредседателями наблюдательного совета являются директор ОИЯИ Г. В. Трубников и заместитель министра науки и высшего образования РФ А. В. Омельчук.

Отчет о статусе мегасайенс-проекта NICA представил его руководитель, вице-директор Объединенного института В. Д. Кекелидзе. Он осветил текущий прогресс в реализации проекта, отметив успешное завершение монтажа магнитно-криостатной системы ускорительного комплекса и начало поэтапного технологического пуска всех основных систем коллайдера.

По итогам заседания члены совета утвердили обновленный план работ по созданию и запуску базовой конфигурации ускорительного комплек-

са ЛФВЭ ОИЯИ, одобрив предпринятые меры по минимизации рисков и оптимизации сроков завершения строительства объекта в соответствии с утвержденным планом и подтвердив намерения Института завершить проект в установленные сроки.

**С 10 по 15 ноября** делегация ОИЯИ находилась с рабочим визитом в Минске, где посетила ряд организаций Национальной академии наук Беларуси. Представители институтов НАН Беларуси рассказали гостям об истории и основных направлениях научно-производственной деятельности своих организаций, а также приняли участие в переговорах о сотрудничестве.

13 ноября состоялся круглый стол, посвященный перспективам развития сотрудничества ОИЯИ и НАН Беларуси, с участием руководства академии и подчиненных ей организаций, а также директоров и ведущих специалистов лабораторий ОИЯИ. С приветственным словом на нем выступили председатель Президиума НАН Беларуси В. Г. Гусаков и директор ЛЯР ОИЯИ С. И. Сидорчук. В докладах сотрудников ОИЯИ были представлены практически все направления деятельности Института.

Состоялись переговоры председателя Президиума НАН Беларуси В. Г. Гусакова и директора ОИЯИ Г. В. Трубникова, в ходе которых, в частности, были определены возможные шаги по укреплению сотрудничества в области фундаментальной и прикладной науки.



Минск (Беларусь), 13 ноября. Круглый стол, посвященный перспективам развития сотрудничества ОИЯИ и НАН Беларуси, с участием директоров и ведущих специалистов лабораторий ОИЯИ



Дубна, 18 ноября. Визит в ОИЯИ Чрезвычайного и Полномочного Посла Азербайджанской Республики в РФ Р. Мустафаева (слева) с сопровождающими лицами. На экскурсии в ЛФВЭ

14 ноября, в преддверии заседания КПП ОИЯИ, в Белорусском государственном университете состоялась встреча директора Объединенного института Г. В. Трубникова с ректором БГУ А. Д. Королем. В ходе обсуждения перспектив совместных научных проектов особое внимание было уделено прикладным проектам в области ядерной физики для биомедицины, информационных технологий и агропромышленного комплекса, включая подготовку высококвалифицированных специалистов, программы двойных дипломов, а также вопросы организации в ближайшем будущем рабочих встреч для реализации дальнейшего сотрудничества и конкретизации планов совместной работы.

11 ноября в Пекине состоялось подписание Соглашения о сотрудничестве между Институтом теоретической физики Китайской академии наук и Лабораторией теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова ОИЯИ. Со стороны ЛТФ соглашение подписал директор лаборатории член-корреспондент РАН профессор Д. И. Казаков, со стороны ИТФ КАН — директор института профессор Шан-Гуй Жоу.

Подписание этого соглашения послужит укреплению научных связей и развитию международного сотрудничества по исследованиям в области теоретической физики. В рамках соглашения будут организованы научные школы, конференции и совещания. Планируется активное взаимодействие по установлению новых научных связей между сотрудниками организаций, проведению совместных исследований, подго-

товке общих публикаций, обмену визитами ученых, аспирантов и студентов.

Для координации работ в рамках соглашения создан руководящий комитет, включающий по два сотрудника от обеих организаций, для ежегодного рассмотрения заявок на совместные исследовательские проекты и оценки успешности действующих активностей.

18 ноября ОИЯИ посетил Чрезвычайный и Полномочный Посол Азербайджанской Республики в РФ Р. Мустафаев с сопровождавшими лицами.

На встрече в дирекции Института обсуждались вопросы развития и укрепления сотрудничества между азербайджанскими научными учреждениями и ОИЯИ, акцент был сделан на подготовке высококвалифицированных кадров для Азербайджанской Республики и активизации взаимодействия в области цифровых технологий и работы с большими данными.

В ходе встречи было отмечено, что ученые ОИЯИ сотрудничают с азербайджанскими коллегами по многим направлениям исследований и проектам Института, включая ускорительный комплекс NICA и исследовательский реактор ИБР-2, теоретические исследования и исследования по нейтринной и астрофизике, информационно-вычислительную инфраструктуру ОИЯИ. В Дубне проходят обучение и стажировки специалисты из Азербайджана, регулярно происходит обмен научными визитами.

Р. Мустафаев провел встречу с представителями национальной группы Азербайджана в ОИЯИ,



Дебрецен (Венгрия), 25 ноября. Подписано трехстороннее соглашение с Дебреценским университетом и Институтом ядерных исследований Венгерской академии наук. Фото: © unideb.hu

делегация посольства посетила ЛНФ и ЛФВЭ, включая зал MPD ускорительного комплекса NICA. В ДК «Мир» для гостей была организована экскурсия по интерактивной выставке «Базовые установки ОИЯИ».

**22 ноября** ОИЯИ посетили президент РАН Г. Я. Красников, а также вице-президенты РАН В. Я. Панченко и С. Н. Калмыков.

На встрече в дирекции Института директор ОИЯИ Г. В. Трубников рассказал гостям о ходе реализации мегасайенс-проектов ОИЯИ — ускорительного комплекса NICA и нейтринного телескопа *Vaikal-GVD*. Стороны обсудили возможность создания в перспективе федеральной программы по исследованию фундаментальных свойств материи и организации крупной IT-инфраструктуры, объединяющей разные научные центры, а также вопросы поддержки и удержания научных кадров.

Руководители РАН посетили два крупнейших объекта научной инфраструктуры ОИЯИ: ускорительный комплекс NICA, включая зал синхрофазотрона и павильон детектора MPD в ЛФВЭ, и фабрику сверхтяжелых элементов в ЛЯР, а также ознакомились с планами масштабных физических экспериментов на этих объектах.

**25 ноября** состоялся визит представителей Объединенного института в Дебреценский университет (Венгрия), в рамках которого было подписано трехстороннее соглашение с Дебреценским университетом и Институтом ядерных исследований Венгерской академии наук

(АТОМКИ) об укреплении сотрудничества в области подготовки кадров, программ академической мобильности, проведения исследовательских работ и организации совместных мероприятий, в том числе школ и конференций.

От ОИЯИ во встрече участвовали главный ученый секретарь С. Н. Неделько и заместитель директора ЛНФ по научной работе С. А. Куликов. Дебреценский университет представляли генеральный проректор К. Петё, директор по координационному и стратегическим вопросам О. Кишил, декан факультета науки и технологий Ф. Кун, а Институт ядерных исследований — заместитель директора Г. Левай.

В рамках рабочего визита представители ОИЯИ посетили факультет науки и технологий Дебреценского университета и Институт ядерных исследований.

**25–27 ноября** состоялся рабочий визит делегации ОИЯИ под руководством директора Института Г. В. Трубникова в Азербайджанскую Республику.

Во время визита состоялась встреча делегации Института с президентом Национальной академии наук Азербайджана И. Габбибейли, в ходе которой стороны проинформировали друг друга о стратегических направлениях развития НАН Азербайджана и ОИЯИ, а также обсудили приоритетные направления сотрудничества.

В Национальном центре онкологии (НЦО) Министерства здравоохранения Азербайджанской Республики была организована встреча делегации ОИЯИ с генеральным директором НЦО ака-



Баку (Азербайджан), 25–27 ноября. Рабочий визит делегации ОИЯИ в Азербайджанскую Республику. На встрече с заместителем министра науки и образования Азербайджанской Республики Ф. Гурбановым. Фото: © edu.gov.az

демиком Дж. Алиевым. В беседе были затронуты вопросы развития ядерной медицины в Азербайджане и современных методов профилактики и лечения раковых заболеваний. Руководитель отдела ядерной медицины Ф. Новрузов ознакомил гостей с возможностями центра, включая ОФЭКТ- и ПЭТ-диагностику, современные подходы в работе с пациентами и производство радиофармпрепаратов.

На встрече делегации ОИЯИ с представителями Института физиологии им. А. И. Караева Министерства науки и образования Азербайджана обсуждались цели и задачи по реализации совместного научно-исследовательского проекта, посвященного изучению перспективных лекарственных препаратов растительного происхождения. Предоставленные сотрудниками Института физиологии образцы препаратов будут изучены с помощью программы экспериментальных измерений на реакторе ИБР-2, а затем применены на клеточных культурах и лабораторных животных для исследования их потенциального радиозащитного действия.

В ходе визита Г. В. Трубникова в Министерство науки и образования Азербайджанской Республики прошло совещание с заместителем министра Ф. Гурбановым, предметом которого стало подробное обсуждение приоритетных направлений сотрудничества и перспектив укрепления взаимодействия научных и научно-образовательных организаций Азербайджана и Объединенного института. В совещании принял участие полномочный представитель правительства Азербайджана в ОИЯИ А. Гашимов.

26 ноября в стенах Университета Хазар состоялась торжественная церемония подписания со-

глашения о сотрудничестве в сфере образования и науки между двумя организациями. Подписи в документе поставили директор ОИЯИ Г. В. Трубников и основатель Университета Хазар Г. Исаев.

Был организован семинар для студентов и сотрудников университета, на котором Г. В. Трубников представил общую информацию о научно-исследовательской деятельности Института, а сотрудники ЛРБ, ЛНФ и ЛЯП выступили с докладами на тему исследований в области наук о жизни. Завершилось мероприятие обсуждением перспектив совместной деятельности в этой области. По итогам обсуждений стороны договорились о проведении совместных междисциплинарных исследований в области многокомпонентной лучевой терапии онкологических заболеваний.

**29 ноября** в Доме международных совещаний состоялось заседание НТС ОИЯИ, на котором главной темой обсуждения стала задача привлечения в Институт высококвалифицированных научных кадров.

На заседании была заслушана информация о текущей жизни Института, которую осветил в своем докладе директор ОИЯИ Г. В. Трубников. Докладчик озвучил достижения и основные результаты деятельности каждой из лабораторий за прошедший период, коснулся вопросов, связанных с кадровым составом Института, работой диссертационного совета ОИЯИ, повышением заработной платы сотрудников — научных работников и инженерно-технического персонала. В числе ярких событий жизни Института директор выделил конференцию AYSS-2024, которая собрала более 260 представителей молодежи

из 17 стран, и подготовку первого выпуска рецензируемого онлайн-журнала ОИЯИ Natural Science Review (главный редактор — научный руководитель ОИЯИ академик В. А. Матвеев), призвав сотрудников активнее предлагать статьи для публикации. Докладчик также упомянул о конкурсе инновационных проектов JINR Start-Ups, нацеленном на реализацию 5–10 малых технологических проектов в год, о ремонте инфраструктурных объектов, включая спортивные залы, выставочные пространства, профилакторий «Ратмино» и пансионат «Дубна» в Алуште, о выборах в Совет депутатов городского округа, по результатам которых в горсовет вошли пять представителей ОИЯИ, и разработке мастер-плана города и стратегии его развития совместно с другими предприятиями.

О развитии государственного университета «Дубна» и создании его кампуса — Международного парка науки и технологий, который, являясь частью стратегического плана города, запланирован к реализации в районе левобережной площадки Особой экономической зоны «Дубна», более подробно рассказал в своем докладе и. о. ректора государственного университета «Дубна» А. С. Деникин.

Директор УНЦ Д. В. Каманин представил программу деятельности Учебно-научного центра и рассказал о перспективе развития учебных проектов центра. УНЦ предстоит решение вопросов, связанных с запросами лабораторий ОИЯИ, среди которых синхронизация учебных программ базовых кафедр ОИЯИ в разных ведущих вузах РФ, организация сдачи кандидатского минимума

и аспирантура, содействие в открытии кафедры радиохимии в филиале МГУ в Дубне, обучение квалифицированных рабочих и организация обучения по охране труда, работа курсов русского языка для сотрудников и др.

Готовится новое положение об Учебно-научном центре, в рамках которого будет возрожден Совет УНЦ, призванный определять стратегию развития Учебно-научного центра. В его состав войдут директор Института, директор УНЦ, представители лабораторий и руководители базовых кафедр ОИЯИ, представители дирекции и руководства Института, руководители ОМУС и совета национальных групп в ОИЯИ. Одновременно будет создана рабочая группа Совета УНЦ для решения оперативных вопросов.

Состоялась дискуссия по вопросам повестки дня НТС.

**4 декабря** ОИЯИ посетила делегация посольства Китайской Народной Республики в РФ. Открывая рабочую встречу, научный руководитель ОИЯИ академик В. А. Матвеев отметил исключительную важность визита представителей посольства КНР, напомнив о значимом историческом вкладе КНР в создание ОИЯИ, и выразил надежду на расширение взаимодействия.

Стороны обсудили перспективы развития сотрудничества в области фундаментальной науки, реализацию новых совместных проектов и расширение исследовательских возможностей, подтвердив взаимную заинтересованность в углублении партнерских отношений и развитии плодотворного диалога в сфере науки и тех-



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 26 сентября. Рабочее совещание по сверхпроводящим резонаторам и быстроциклирующим магнитам в рамках сотрудничества между ОИЯИ и Институтом современной физики Китайской академии наук



Дубна, 4 декабря. Визит в ОИЯИ делегации посольства Китайской Народной Республики в РФ

нологий. Представители посольства дали высокую оценку эффективности выработанных механизмов взаимодействия и общему уровню кооперации между ОИЯИ и КНР.

В рамках знакомства с научной инфраструктурой ОИЯИ делегация посетила площадки ускорительного комплекса NICA в ЛФВЭ, фабрику сверхтяжелых элементов и Центр прикладной физики в ЛЯР, а также интерактивную выставку «Базовые установки ОИЯИ» в ДК «Мир».

Визит делегации посольства Китая в России завершился встречей с директором ОИЯИ академиком Г. В. Трубниковым.

**В декабре** делегация ОИЯИ во главе с директором Г. В. Трубниковым приняла участие в 23-м заседании совместного координационного комитета ОИЯИ–ЮАР, проходившем в ускорительном центре Южно-Африканской Республики NRF: iThemba LABS (iTL).

Повестка заседания комитета была посвящена стратегическим вопросам дальнейшего развития сотрудничества, анализу исполнения и финансирования текущих проектов, организации конкурсов новых проектов, насыщенному плану совместных мероприятий. Сопредседателем заседания комитета со стороны ЮАР выступил заместитель генерального директора Национального исследовательского фонда (NRF) Южной Африки А. Патерсон.

На предшествовавшем заседании комитета специальном рабочем совещании обсуждалась реализация проектов в области ускорительных технологий и радиобиологии.

Члены комитета выразили удовлетворение текущими результатами работы и особо подчерк-

нули увеличение количества совместных проектов и сотрудничающих организаций. Особое внимание было уделено новым направлениям сотрудничества, а также программе мероприятий по дальнейшему укреплению партнерства в рамках приближающегося празднования 20-летия ассоциированного членства ЮАР в ОИЯИ и 70-летия со дня основания Института.

**9–13 декабря** в городе Гордонс-Бэй (Кейптаун, ЮАР) проходил 2-й Международный африканский симпозиум по экзотическим ядрам (IASEN-2024), организованный ускорительным центром Южно-Африканской Республики NRF: iThemba LABS и ОИЯИ. Основной фокус мероприятия был направлен на современные исследования атомных ядер в экстремальных состояниях, в частности, на границах ядерной стабильности (от сверхлегких нейтронно- и протонно-избыточных до сверхтяжелых ядер). В работе симпозиума принимали участие более 120 специалистов из стран Европы, Африки, Азии, Северной и Южной Америки. ОИЯИ в работе симпозиума был представлен более чем 20 специалистами из ЛЯР, ЛЯП, ЛТФ, ЛФВЭ, ЛИТ, ЛНФ и УНЦ.

В торжественном открытии международного симпозиума принимал участие директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников. В рамках пленарной сессии первого дня он в деталях рассказал о развитии программы экспериментальных исследований ОИЯИ и представил статус флагманского мегасайенс-проекта NICA.

**11 декабря** в рамках визита в ЮАР делегация ОИЯИ посетила Университет Западной Капской провинции (UWC), Технологический универси-



Кейптаун (ЮАР), декабрь. 23-е заседание совместного координационного комитета ОИЯИ-ЮАР в ускорительном центре Южно-Африканской Республики NRF: iThemba LABS.  
Фото: © iThemba LABS



Кейптаун (ЮАР), 11 декабря. Визит делегации ОИЯИ в университеты ЮАР

тет Капского полуострова (CPUT) и Кейптаунский университет (UCT), где в ходе встреч с руководством научных факультетов и профильных департаментов состоялось обсуждение вопросов сотрудничества.

Посещение университетов проходило в рамках мероприятий, посвященных открытию Информационного центра ОИЯИ в Южной Африке на базе Циклотронной лаборатории iThemba (NRF: iThemba LABS).

В Университете Западной Капской провинции делегацию приняли декан факультета естественных наук Д. Холгейт, заведующий кафедрой физики С. Халиндинтвали и заведующий кафедрой химии Н. Джахед. В Технологическом университете Капского полуострова состоялись встречи с руководителем по международным отношениям университета Т. Сингх и заведующими ряда профильных кафедр. Декан факультета наук Х. Сулеман, заведующий кафедрой физики С. Петерсон, профессор И. Барашенков и представители ряда проектов приветствовали делегацию в Кейптаунском университете. Участников делегации ознакомили с инфраструктурой и научно-образовательными программами посещаемых университетов.

С 16 по 18 декабря в ОИЯИ в смешанном формате проходила выездная сессия Научного совета Отделения физических наук РАН по проблеме «Радиационная физика твердого тела». Мероприятие было направлено на обмен опытом и обсуждение последних достижений в области радиационной физики конденсированного состояния. Помимо сотрудников ЛЯР ОИЯИ в ра-

боте сессии приняли участие представители более 10 российских научных центров.

Научную программу сессии открыл начальник Центра прикладной физики ЛЯР П. Ю. Апель докладом об использовании ускоренных тяжелых ионов в качестве инструмента для создания микро- и нанопористых структур в полимерах и о новом специализированном циклотроне ДЦ-140, который в настоящее время строится на базе лаборатории. Ускорительный комплекс будет иметь три разделенных канала, предназначенных для тестирования микроэлектроники, радиационного материаловедения и облучения полимерных пленок. Как отметил ученый, энергии ионов, ускоряемых на данной установке (2,1 и 4,8 МэВ/нуклон), позволят решать широкий спектр фундаментальных и прикладных задач.

В рамках ознакомления с передовой научной инфраструктурой лаборатории для всех участников была организована экскурсия на фабрику сверхтяжелых элементов и в Центр прикладной физики ЛЯР.

20 декабря в Доме международных совещаний состоялось заключительное в 2024 г. заседание Научно-технического совета ОИЯИ, на котором были подведены итоги работы за прошедший год и рассмотрены перспективы дальнейшего развития Института.

С докладом о главных итогах года в научной и административной сферах деятельности ОИЯИ выступил директор Института Г. В. Трубников. В его презентации были отражены важнейшие достижения лабораторий и проанализированы результаты работы подразделений ОИЯИ.



Дубна, 20 декабря. Презентация книги-альбома к 100-летию со дня рождения И. В. Чувило в Музее истории науки и техники ОИЯИ

В завершение своего выступления докладчик обозначил самые важные события, произошедшие в жизни Института: продление Соглашения о научном сотрудничестве с ЦЕРН, встречу рабочей группы БРИКС по исследовательским инфраструктурам в ОИЯИ, подписание нового Соглашения о сотрудничестве между ОИЯИ и Китаем, визит министра науки и технологий Вьетнама в ОИЯИ, подписание нового Соглашения о сотрудничестве с Национальной комиссией

по атомной энергии Бразилии, сессию КПП ОИЯИ в Беларуси.

Главным же событием 2024 г. для ОИЯИ стал визит Президента РФ В. В. Путина, в ходе которого был дан официальный старт технологическому пуску коллайдера NICA.

Мероприятие завершилось торжественной церемонией награждения сотрудников ОИЯИ за их вклад в развитие науки и добросовестный труд.

## КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

Среди научных конференций и рабочих совещаний, организованных ОИЯИ в 2024 г., наиболее крупными были 11.

25–28 февраля в городе Варадеро (Республика Куба) проходила *Международная школа по ядерным методам и прикладным исследованиям в области экологии, материаловедения и наук о жизни (NUMAR-2024)*, организованная ОИЯИ и Национальным агентством по атомной энергетике и передовым технологиям (AENTA) Кубы. В рамках программы NUMAR-2024 молодые ученые из стран Латинской Америки вместе со своими научными руководителями прослушали лекции ведущих ученых ОИЯИ и научных организаций Кубы и Мексики.

На открытии школы полномочный представитель правительства Кубы в ОИЯИ Г. Вальвин Салас приветствовал студентов из Кубы, Мексики, Коста-Рики и Доминиканской Республики, пожелав им успехов в будущей научной карьере.

Доклад о кубинской программе в области научных исследований, разработок и технологических инноваций представила председатель AENTA Г. Лопес Бехерано, которая отметила, что в следующем, 2025 г. исполнится 50 лет успешному сотрудничеству Кубы с ОИЯИ. Вице-директор ОИЯИ Л. Костов представил в своем докладе научные направления Института и его флагманские проекты.

Программу школы NUMAR-2024 продолжил лекционный блок, посвященный следующим тематикам: науки о жизни (производство радиофармацевтических препаратов, диагностика и терапия в ядерной медицине, физика и технология адронной терапии для лечения опухолей, современные детекторы лучевой диагностики в методах ПЭТ/КТ, радиационная биология и ее применение в космических исследованиях и лучевой терапии и др.), экология (радиоэкологическая оценка окружающей среды, аналитические методы в экологических исследованиях и нано-



Варадеро (Республика Куба), 25–28 февраля. Участники Международной школы по ядерным методам и прикладным исследованиям в области экологии, материаловедения и наук о жизни

технологиях, новые технологии очистки сточных вод), материаловедение (применение рассеяния нейтронов для исследования мягких веществ, структурная биофизика, функциональные, комплексные и нанокompозитные материалы).

В работе NUMAR-2024 приняли участие более 30 студентов и молодых ученых из Доминиканской Республики, Коста-Рики, Кубы и Мексики. В рамках школы состоялась дискуссия в формате круглого стола с учеными из ОИЯИ и научных организаций Кубы и Мексики.

С 23 по 25 апреля в ЛФВЭ проходило **13-е коллаборационное совещание по эксперименту MPD на ускорительном комплексе NICA**. Открывая работу совещания, вице-директор ОИЯИ В. Д. Кекелидзе отметил активное поступательное развитие и расширение коллаборации MPD, в которую в настоящее время входят научные группы из 38 центров мира.

С докладом о текущем состоянии и подготовке к запуску ускорительного комплекса NICA выступил главный инженер комплекса Е. М. Сыресин. Он рассказал об успешном тестировании ключевых структурных элементов комплекса: циклических сверхпроводящих ускорителей нуклотрона и бустера, системы электронного охлаждения, системы электроснабжения, а также основных элементов инжекторного комплекса. В тоннеле коллайдера были установлены и проверены на работоспособность станции высокочастотных

систем ВЧ-1 и ВЧ-2. По словам докладчика, первый технологический запуск основных систем ускорительного комплекса NICA запланирован на декабрь 2024 г., а запуск первого ионного пучка — на весну 2025 г.

Руководитель коллаборации MPD В. Г. Рябов представил план работ коллаборации на 2024–2025 гг. Начальник научно-экспериментального отдела MPD В. М. Головатюк рассказал о ходе работ по созданию структурных элементов многоцелевого детектора, представив их функциональные особенности и характеристики.

Более 30 участников коллаборации выступили на совещании с докладами по направлениям актуальных исследований в области физики тяжелых ионов. В рамках программы участники посетили с экскурсией экспериментальный зал детектора MPD.

С 20 по 24 мая в с. Иванисово Ярославской обл. в парк-отеле «Азимут» проходил **22-й Международный семинар по физике высоких энергий «Кварки-2024»**. Его организаторами выступили Институт ядерных исследований РАН и ОИЯИ. Данный семинар является продолжением серии конференций, проводимых каждые два года с 1980 г. в Грузии (до 1992 г.) и России. Последние несколько лет он проходил в городах Золотого кольца России. В семинаре «Кварки-2024» приняли участие более 150 ученых из ведущих российских научных центров.



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 23–25 апреля. Участники 13-го коллаборационного совещания по эксперименту MPD на комплексе NICA

Работу семинара открыл директор ИЯИ РАН член-корреспондент РАН М. В. Либанов. «За 44 года семинар превратился из небольшого собрания в серьезную конференцию. Ее популярность растет, и очень большой вклад в это дело внес Валерий Анатольевич Рубаков, бессменный председатель организационного комитета и вдохновитель семинара. Надеюсь, что традиции, которые он вложил в этот семинар, сохранятся», — отметил директор ИЯИ РАН, пожелав участникам конференции плодотворной работы в обсуждении новых научных проблем.

Семинар был открыт пленарными докладами «Голография в физике столкновений тяжелых ионов» члена-корреспондента РАН И. Я. Арефьевой (МИАН), «Квантовые поправки к излучению Хокинга» Э. Т. Ахмедова (МФТИ и ИТЭФ) и «Аксионоподобная темная материя и бозонные звезды» Д. Г. Левкова (ИТМФ МГУ и ИЯИ РАН). Тематика других докладов была очень широка и определена еще В. А. Рубаковым, чье дело сейчас продолжают его ученики: физика за пределами Стандартной модели (редкие процессы и распады, феноменология бозона Хиггса), космология и физика астрочастиц, гравитация и ее модификации, нейтринная физика, квантовая хромодинамика и сильные взаимодействия, аспекты математической физики, результаты избранных экспериментов.

Семинар прошел плодотворно и не смог бы состояться без финансовой и организационной поддержки со стороны ОИЯИ. Более под-

робную информацию о семинаре, фотографии и файлы докладов можно найти на сайте <https://indico.quarks.ru/event/2024>.

1–5 июля в конференц-зале ЛТФ проходила **74-я Международная конференция по ядерной физике «Ядро-2024: Фундаментальные вопросы и приложения»**. Это крупнейшая в России традиционная ежегодная конференция, охватывающая все аспекты современной ядерной физики. Мероприятие из года в год проводят разные научные центры, однако ОИЯИ остается в числе бессменных организаторов. В 2024 г. в программный комитет конференции входили представители ОИЯИ, МГУ и СПбГУ.

Для обсуждения современного состояния и тенденций развития ядерной физики в Дубне собрались 375 ученых, студентов и аспирантов из ведущих ядерных научных центров и университетов Азербайджана, Болгарии, Вьетнама, Египта, Индии, Казахстана, Китая, России, Словакии, Узбекистана и ЮАР.

Открывая конференцию, вице-директор Института Л. Костов напомнил о многолетней истории конференции, которая изначально называлась «Всесоюзное совещание по ядерной спектроскопии» и впервые прошла в 1950 г., и пожелал участникам плодотворных и конструктивных дискуссий.

В первой части пленарного заседания были представлены ключевые доклады по развитию ускорительного комплекса в ЛЯР, новые экспери-



Алушта (Крым), 9–15 июня. Участники 13-й Международной конференции молодых ученых и специалистов «Алушта-2024»



Липня, 19–21 июля. 28-я Летняя научная школа молодых ученых и специалистов «Липня-2024»

ментальные данные по исследованиям изотопов сверхтяжелых элементов и направлению физики экзотических ядер.

Параллельные секции конференции, посвященные экспериментальным и теоретическим исследованиям ядерных реакций, структуре ядра, столкновениям тяжелых ионов при средних и высоких энергиях, нейтринной физике и астрофизике, разработке новых экспериментальных установок, проходили в ЛТФ и ЛЯР. Отдельная секция в ЛЯП была посвящена прикладным исследованиям, в том числе радиационной терапии, применению ядерных методов диагностики и др. Прикладная часть включала доклады физиков, работающих в медицинских центрах, специально для которых была организована возможность дистанционного участия. Было рассмотрено применение ядерно-физических методов в геологии.

В рамках конференции состоялась масштабная постерная сессия, разделенная на две части: 73 стендовых доклада были представлены в холле ЛТФ.

По материалам конференции должны быть опубликованы научные статьи в нескольких рецензируемых журналах: «Ядерная физика», «Известия Российской академии наук. Серия физическая», «Вестник МГУ», International Journal of Modern Physics E.

С 10 по 17 июля в пос. Большие Коты Иркутской обл. на территории Байкальской биологической станции Иркутского государственного университета проходила **24-я Международная Байкальская летняя школа по физике элементарных частиц и астрофизике**. Организаторы школы — Объединенный институт ядерных ис-



Дубна, 3 августа. Участники 25-го Дзелеповского теннисного турнира

следований и Иркутский государственный университет.

В 2024 г. для участия в школе собрались студенты и аспиранты из Боснии и Герцеговины, Вьетнама, Индии, Казахстана, Китая, Кубы, Молдовы, Нидерландов. Россию представляли молодые ученые из Иркутска, Дубны, Москвы, Санкт-Петербурга, Новосибирска, Томска, Владивостока.

Для участников была подготовлена насыщенная программа: лекции по общей теории относительности, Стандартной модели, многоканальной астрономии, нейтринной физике, квантовой электродинамике, физике сверхновых звезд и ядерной физике, увлекательные практические занятия по моделированию Geant4 и по методам машинного обучения. В рамках вечерних лекций слушатели школы смогли расширить свои знания о дизайн-культуре, а также получить представление о секвенировании ДНК.

4–6 сентября в ОИЯИ проходило **рабочее совещание международной коллаборации ARIADNA по прикладным исследованиям на комплексе NICA**. Оно собрало около 150 участников из 33 организаций 15 стран мира, включая Армению, Беларусь, Болгарию, Вьетнам, Египет, Индию, Казахстан, Кубу, Мексику, Россию, Румынию, Турцию, Узбекистан, ЮАР, Японию. Среди российских участников совещания — специалисты ведущих академических организаций и исследовательских центров, работающие в области космических исследований, материаловедения, биомедицины и других ключевых направлений коллаборации ARIADNA. Ведущие российские университеты были представлены

научными группами из МФТИ, НИИЯФ МГУ, СПбГУ, РУДН, НИЯУ МИФИ, Северо-Осетинского государственного университета.

Главной темой состоявшейся встречи стало обсуждение научной программы коллаборации в преддверии ожидаемого в 2025 г. сеанса работы комплекса NICA.

Открыл совещание вице-директор ОИЯИ, руководитель проекта NICA В. Д. Кекелидзе, который, в частности, отметил, что проект NICA готов к старту экспериментов, в том числе в области прикладных исследований, подразумевающих выполнение исследований на выведенных пучках в специально созданных для этих работ зонах.

Руководитель коллаборации ARIADNA, заместитель начальника отделения научно-методических исследований и инноваций ЛФВЭ по научной работе О. В. Белов представил доклад о текущем статусе коллаборации, рассказав о наиболее важных событиях в ее деятельности и ближайших задачах. К настоящему времени в состав сотрудничающих организаций входят 162 участника из 21 научного центра, готовятся документы об официальном вступлении еще нескольких организаций. На ускорительном комплексе NICA создано пять станций для прикладных исследований, которые смогут работать в разных диапазонах энергий: от 3,2 МэВ/нуклон до 4 ГэВ/нуклон.

В заключительный день работы совещания участники посетили ускорительный комплекс NICA. Они осмотрели здание синхрофазотрона, где на выводе из инжекционного комплекса располагается станция облучения чипов, посетили зал MPD и 205-й корпус, в котором находится



Вербилки, 26–30 августа. Международная школа ускорительной физики «Циклотроны»



Дубна, 4–6 сентября. Участники рабочего совещания международной коллаборации ARIADNA по прикладным исследованиям на комплексе NICA

станция длительного облучения, располагаемая в зоне установки BM@N, а также участок пробоподготовки.

В ходе совещания собравшиеся заслушали 30 докладов по ключевым направлениям научной программы коллаборации ARIADNA — прикладным исследованиям в области наук о жизни (Life Sciences) и биомедицинских приложений, радиационному материаловедению, тестированию микроэлектроники, прикладным ядерным технологиям и задачам проекта ADSR.

Завершил работу совещания круглый стол, на котором собравшиеся обсудили организационные вопросы работы коллаборации, вступления в нее новых сотрудничающих организаций из разных стран, подготовку первых публикаций от имени коллаборации и подвели итоги состоявшейся встречи. Члены коллаборации с интересом восприняли инициативу о публикации работ в новом научном журнале ОИЯИ Natural Science Review, информацию о котором озвучил представитель рабочей группы по созданию журнала А. Ю. Незванов.

15–20 сентября в пансионате «Дубна» (Алушта, Крым) в очном формате проходил *15-й Международный семинар «Проблематика коллайдеров и ускорителей заряженных частиц. Ускорители для прикладных целей»*, посвященный памяти профессора Владислава Павловича Саранцева. Его организаторами выступили ОИЯИ, ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН и Научный совет РАН по ускорителям заряженных частиц.

Семинар был нацелен на обмен информацией и обсуждение вопросов в области ускоритель-

ной науки и техники, физики пучков заряженных частиц, разработки новых проектов лептонных и адронных коллайдеров, усовершенствования действующих установок, использования ускорителей для научных и прикладных целей, а также на привлечение молодых ученых к решению проблем ускорительной техники.

Открывая научную программу юбилейного семинара, заместитель директора ЛФВЭ по научной работе А. С. Сорин рассказал о фундаментальных исследованиях на ускорительном комплексе NICA. О статусе проекта Сибирского кольцевого источника фотонов (СКИФ) доложил научный сотрудник отдела ускорительных систем ЦКП «СКИФ» Г. Н. Баранов (ИЯФ СО РАН). Заместитель начальника ускорительного отделения ЛФВЭ ОИЯИ А. О. Сидорин выступил с докладом «Попутные пучки: будущее коллайдеров». Научный сотрудник ИЯФ СО РАН Ф. А. Еманов рассказал об особенностях и перспективах инжекционного комплекса ВЭПП-5 (встречные электрон-позитронные пучки).

Избранные доклады будут опубликованы в журнале «Письма в ЭЧАЯ» на русском и английском языках.

8–10 октября в ЛФВЭ в смешанном формате проходило *13-е коллаборационное совещание по эксперименту BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) на ускорительном комплексе NICA*.

В центре внимания участников совещания были вопросы реконструкции и идентификации странных частиц, а также анализ топологии событий в столкновениях ядер пучка ксенона (Xe) с мишенью из йодида цезия (CsI), полученных

в результате последнего физического сеанса эксперимента VM@N. Особое внимание было уделено статусу физического анализа ранее зарегистрированных данных аргон-ядерных взаимодействий. Также участники обсудили вопросы планирования следующего сеанса эксперимента, включая его будущую физическую программу и конфигурацию детекторов.

В рамках программы пленарного заседания с докладом о результатах и статусе эксперимента VM@N выступил руководитель коллаборации, начальник научно-экспериментального отдела барионной материи на нуклотроне М. Н. Капшин. К настоящему времени в коллаборации принимают участие 214 представителей из 13 научных центров Казахстана, Болгарии, Узбекистана, России и Китая. Докладчик отметил прогресс в выполнении текущих работ и решении основных задач по анализу данных эксперимента. Следующий физический сеанс на пучке ксенона состоится в 2025 г. В рамках подготовки к сеансу на пучке висмута будет установлена дополнительная станция кремниевых FSD-детекторов, а также запущен в работу новый 2-координатный (X/Y) нейтронный детектор высокой гранулярности для измерения выходов и коллективных потоков нейтронов.

Заместитель начальника научно-экспериментального отдела многоцелевого детектора MPD С. М. Пиядин доложил о статусе и планах работ на установке VM@N. Все работы по проектированию и изготовлению механических опор были завершены с учетом модернизации внешней трековой системы установки VM@N, и был начат

монтаж центральной трековой системы внутри магнита SP-41. Нижние GEM-детекторы уже установлены. В рамках подготовки к модернизации детекторов VM@N в экспериментальный павильон были вмонтированы два больших детектора CSC (Cathode Strip Chambers), а также детектор ScWall (Scintillation Wall). Кроме того, были установлены механические опоры для двух новых времяпролетных детекторов ToF-400 и четырех детекторов CSC.

В первый день работы совещания участники коллаборации обсудили результаты анализа данных, полученных в предыдущих физических сеансах. С докладами о текущем статусе анализа данных по образованию  $\Lambda$ -гиперонов выступили научные сотрудники ЛФВЭ А. И. Зинченко, К. А. Алишина, В. И. Колесников и В. В. Трошин.

В рамках совещания состоялось заседание совета институтов коллаборации VM@N (Institutional Board). По его итогам новым руководителем коллаборации был избран главный научный сотрудник ЛФВЭ Р. Ледницки. Заместитель директора НИИЯФ МГУ М. М. Меркин был подтвержден в качестве председателя совета институтов коллаборации.

Во второй день работы коллаборации VM@N участники продолжили обсуждение последних результатов анализа данных, а также рассмотрели вопросы, касающиеся подготовки и эксплуатации детекторов эксперимента. Сессия по программному обеспечению прошла 10 октября. Всего в программу 13-го совещания было включено более 30 докладов, посвященных реализации проекта VM@N.



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 8–10 октября. 13-е коллаборационное совещание по эксперименту VM@N



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 14–16 октября.  
Участники 14-го коллаборационного совещания по эксперименту MPD

14–16 октября в ЛФВЭ в смешанном формате проходило **14-е коллаборационное совещание по эксперименту MPD**. Участники обсудили актуальные вопросы реализации проекта многоцелевого детектора MPD (Multi-Purpose Detector), в том числе готовность ускорительного комплекса NICA, и рассмотрели новые идеи и инициативы по эксплуатации детектора.

Участие в работе совещания приняли более 170 ученых. В течение трех дней более 30 участников коллаборации выступили с докладами по направлению актуальных исследований в области физики тяжелых ионов.

Руководитель коллаборации MPD главный научный сотрудник сектора идентификации элементарных частиц ЛФВЭ ОИЯИ В. Г. Рябов доложил о статусе эксперимента. Он осветил состояние текущих работ по подготовке ключевых компонентов и функциональных систем детектора MPD, а также представил результаты анализа смоделированных данных. К настоящему времени в коллаборации принимают участие более 500 представителей из 38 научных центров Армении, Беларуси, Грузии, Казахстана, Молдовы, Монголии, России, Словакии, Китая и Мексики.

О ходе работ по созданию и интеграции ключевых структурных элементов многоцелевого детектора рассказал начальник научно-экспериментального отдела MPD В. М. Головатюк. Им была представлена дорожная карта по реализации проекта с указанием четких сроков и особенностей предстоящих работ. Инженерная инфраструктура MPD находится в высокой степени готовности, и в ближайшие месяцы планируется

завершить основные монтажные работы и провести тестирование функциональных детекторных систем. Окончание строительства и запуск экспериментальной установки MPD намечены на 2025 г.

Во второй день работы коллаборации MPD участники обсудили вопросы, касающиеся компьютеринга и программного обеспечения для реализации эксперимента, а также состоялось заседание представителей институтов-участников коллаборации (MPD Institutional Board). 16 октября прошла заключительная сессия совещания, посвященная физическим исследованиям на экспериментальной установке.

16–18 октября в Доме международных совещаний проходила **6-я конференция «Актуальные проблемы радиационной биологии. Модификация радиационно-индуцированных эффектов»**. Ее организаторы — Научный совет по радиобиологии при ОФН РАН, Радиобиологическое общество РАН и ЛРБ ОИЯИ.

Конференция, проходившая в смешанном формате, собрала около 150 участников из ключевых институтов и центров в области радиобиологии и вузов России, Беларуси, Армении, Азербайджана, Вьетнама, Кубы и Монголии. Было заслушано 5 пленарных и 52 устных доклада, рассмотрено 10 стендовых сообщений, представленных молодыми учеными. Среди молодых ученых был проведен конкурс лучших докладов.

Проблема модификации биологического действия ионизирующих излучений является в настоящее время важной и актуальной в связи



Дубна, 16–18 октября. 6-я конференция «Актуальные проблемы радиационной биологии. Модификация радиационно-индуцированных эффектов»



Дубна, 18 октября. Семинар, посвященный 80-летию со дня рождения академика А. Н. Сисакяна

с постоянным расширением сфер применения ионизирующих излучений, а также в связи со сложной геополитической обстановкой и повышенной угрозой радиационного загрязнения окружающей среды.

Открыл конференцию председатель Научного совета РАН по радиобиологии, научный руководитель ЛРБ член-корреспондент РАН Е. А. Красавин. Он подчеркнул, что основной целью встречи ведущих специалистов в области радиобиологии является разработка новых подходов к созданию современных радиомодификаторов для практического использования в различных областях радиационной защиты, медицины и космических исследований. Приветствуя участников, он напомнил о вкладе в развитие этого направления радиобиологии его основателей — Л. Х. Грэя, Г. Патта и Е. Кронкайта, Л. Х. Эйдуса, Е. Ф. Романцева, С. Е. Бреслера, С. П. Ярмоненко.

Научную программу конференции составили доклады ведущих ученых и специалистов, затронувших актуальные вопросы модифицирующего влияния факторов физической и химической природы на радиационно-индуцированные эффекты в генетике, радиационной медицине и космической радиобиологии, их практических применений, а также фундаментальных основ разработки противолучевых средств.

Актуальность тематики секции, посвященной проблеме защиты от действия радиации и поиску противолучевых препаратов, была подтверждена количеством докладов ученых из разных учреждений. В подавляющем большинстве вы-

ступлений были приведены результаты не только фундаментальной, но и практической направленности.

В результате состоявшейся дискуссии участники конференции приняли решение продолжить фундаментальные исследования модифицирующего влияния факторов различной природы на индуцированные радиацией биологические эффекты, которое было отправлено в Отделение биологических наук и Отделение физиологических наук РАН, а также в Минобрнауки РФ, Минздрав РФ, ФМБА России, Росатом, Роскосмос. В решении были отмечены наиболее перспективные направления дальнейших исследований.

28 октября – 1 ноября в ЛИТ в очном формате проходила **28-я Международная научная конференция молодых ученых и специалистов (AYSS-2024)**, организованная ОМУС ОИЯИ. Она собрала на своей площадке рекордное количество человек: более 260 представителей молодежи до 35 лет из 17 стран. В течение пяти дней участники слушали лекции ведущих сотрудников Объединенного института и обсуждали свои научные доклады в рамках тематических секций.

Традиционно в рамках конференции молодым ученым и студентам была предложена насыщенная научная программа, охватывающая широкий круг направлений. У участников AYSS-24 была возможность ознакомиться с деятельностью Объединенного института в ходе 11 пленарных лекций от ведущих ученых Института



Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова, 28 октября – 1 ноября.  
28-я Международная научная конференция молодых ученых и специалистов AYSS-2024

и представить результаты своей работы в формате стендового доклада и на девяти тематических секциях: математическое моделирование и вычислительная физика, ускорители частиц и ядерные реакторы, экспериментальная ядерная физика, физика конденсированных сред, информационные технологии, физика высоких энергий, теоретическая физика, прикладные исследования, науки о жизни.

Программный и организационный комитеты провели масштабную подготовительную работу по отбору докладов, представляемых на секциях: большое внимание было уделено их научной составляющей. Всего на конференции прозвучало 194 устных и представлено 42 постерных доклада, а нововведением AYSS-2024 стало привлечение приглашенных секционных спикеров. Каждую из девяти секций открывал молодой уче-

ный, уже зарекомендовавший себя в качестве перспективного специалиста.

Для дополнения богатой научной составляющей оргкомитет конференции подготовил четыре культурно-развлекательных мероприятия, на которых участники могли отдохнуть после рабочего дня и познакомиться поближе в неформальной обстановке. Вечерний нетворкинг — традиционная практика на всех конференциях ОМУС — помог участникам обрести новые контакты не только в профессиональной сфере, но и в жизни за пределами рабочего места.

Успех AYSS-2024 не был бы возможен без активного участия студентов и молодых ученых. Благодаря их открытости к новым знаниям, энтузиазму и трудолюбию конференция прошла успешно и стала ярким научным событием в жизни Института.



Дубна, 21–24 октября. Научная школа Росатома по новым материалам и перспективным энергосистемам

## КОНФЕРЕНЦИИ, ШКОЛЫ, СОВЕЩАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ ОИЯИ В 2024 Г.

Для решения вопросов сотрудничества и участия в научных совещаниях и конференциях Объединенный институт командировал 1580 специалистов; для совместных работ и консультаций, а также для участия в совещаниях, конференци-

ях, школах в ОИЯИ были приняты 608 специалистов; организованы и проведены 70 международных научных конференций и школ, 16 рабочих и 13 организационных совещаний.

Номер	Наименование	Место проведения	Время проведения	Количество участников
1.	Серия семинаров ОМУС в Доме ученых	Дубна	Январь – декабрь	55
2.	Совещание рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ	Ханой, Вьетнам	15–17 января	25
3.	59-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц	Дубна	22–23 января	70
4.	Рабочее совещание по химии сверхтяжелых элементов	Дубна	24–26 января	20
5.	58-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред	Дубна	25–26 января	75
6.	58-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике	Дубна	29–30 января	70
7.	XVIII Международная зимняя школа DIAS-TH «Многочастичные системы: от конденсированных сред к кваркам и звездам»	Дубна	29 января – 3 февраля	40
8.	Студенческая программа START-2024, зимняя сессия	Дубна	Февраль – июнь	29
9.	Международная школа «Теория ядра и астрофизические приложения»	Дубна	11–17 февраля	45
10.	135-я сессия Ученого совета ОИЯИ	Дубна	15–16 февраля	110
11.	Международная конференция «Проблемы современной математической физики» (PMMF'24)	Дубна	19–24 февраля	60
12.	Технический хакатон «Дубна-2024»	Дубна	24–25 февраля	100
13.	Международная школа по ядерным методам и прикладным исследованиям в области экологии, материаловедения и наук о жизни (NUMAR-2024)	Варадеро, Куба	25–28 февраля	125
14.	Совещание ОИЯИ–Куба по прикладным исследованиям и развитию кадрового потенциала	Гавана, Куба	29 февраля – 1 марта	125
15.	Международная стажировка «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-24)	Дубна	11–15 марта	30
16.	Юбилейный семинар, посвященный 40-летию введения в эксплуатацию реактора ИБР-2	Дубна	15 марта	100
17.	Рабочее совещание ННЛА–ОИЯИ	Дубна	20–22 марта	16
18.	Заседание Финансового комитета ОИЯИ	Дубна	21 марта	90
19.	Сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ	Дубна	22–23 марта	110
20.	День образования ОИЯИ	Дубна	23 марта	
21.	Научная школа для учителей физики Иркутской, Воронежской и Саратовской областей	Дубна	25–29 марта	30
22.	Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий»	Дубна	1–5 апреля	180
23.	Секция международной конференции «Математика в созвездии наук», приуроченная к 85-летию академика В. А. Садовниченко	Дубна	2 апреля	50

Номер	Наименование	Место проведения	Время проведения	Количество участников
24.	13-й открытый турнир по робототехнике CyberDubna-2024	Дубна	13 апреля	80
25.	30-й Международный семинар по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-30)	Шарм-эш-Шейх, Египет	14–18 апреля	200
26.	Весенняя школа по информационным технологиям ОИЯИ	Дубна	15–16 апреля	60
27.	13-е коллаборационное совещание по эксперименту MPD	Дубна	23–25 апреля	160
28.	2-е рабочее совещание ОИЯИ–ННЛА	Ереван, Армения	25–26 апреля	40
29.	Совещание ЛНФ ОИЯИ – CSNS (Китай) по технологиям для нейтронного рассеяния и мультидисциплинарным исследованиям	Дубна	13–15 мая	35
30.	12-е коллаборационное совещание по эксперименту BM@N	Алматы, Казахстан	13–17 мая	135
31.	10-е заседание Научного совета РАН по физике тяжелых ионов	Нижний Новгород	13–18 мая	80
32.	Стажировка молодых ученых и специалистов стран СНГ	Дубна	19 мая – 18 июня	25
33.	7-е коллаборационное совещание по эксперименту SPD	Алматы, Казахстан	20–24 мая	60
34.	22-й Международный семинар по физике высоких энергий «Кварки-2024»	с. Иванисово, Ярославская обл.	20–24 мая	150
35.	Рабочее совещание по математическим проблемам квантовых информационных технологий	Дубна	27–28 мая	40
36.	Дни физики – 2024	Дубна	1 июня	300
37.	Региональная школа Росатома и МАГАТЭ по исследовательским реакторам	Дубна	3–4 июня	20
38.	Студенческая программа START-2024, летняя сессия	Дубна	Июнь–ноябрь	62
39.	1-й этап Международной студенческой практики по направлениям исследований ОИЯИ для студентов из ЮАР	Дубна	3–21 июня	20
40.	Рабочее совещание коллаборации «Байкал»	Дубна	4–7 июня	55
41.	13-я Международная конференция молодых ученых и специалистов «Алушта-2024»	Алушта, Крым	9–16 июня	60
42.	59-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике	Дубна	13–14 июня	70
43.	1-е рабочее совещание ОИЯИ – НИУ ВШЭ	Дубна	14 июня	70
44.	60-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц	Дубна	17–18 июня	70
45.	59-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред	Дубна	24–25 июня	75
46.	Научная школа для учеников томской Заозерной школы	Дубна	24–26 июня	13
47.	6-я встреча рабочей группы БРИКС по исследовательским инфраструктурам и мегасайенс-проектам	Дубна	1–3 июля	50
48.	2-е координационное рабочее совещание по радиационному материаловедению на пучках быстрых и многозарядных тяжелых ионов	Иркутск	1–5 июля	21
49.	74-я Международная конференция по ядерной физике «Ядро-2024: Фундаментальные вопросы и приложения»	Дубна	1–5 июля	150
50.	Совещание рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ	Санкт-Петербург	4–5 июля	25
51.	36-я Международная компьютерная школа (МКШ-2024)	Дубна	5–17 июля	90

Номер	Наименование	Место проведения	Время проведения	Количество участников
52.	Школа-семинар мастерской физики «105-й элемент»	Дубна	5 июля – 5 августа	40
53.	13-я научная школа для учителей физики в ОИЯИ	Дубна	8–12 июля	24
54.	24-я Международная Байкальская летняя школа по физике элементарных частиц и астрофизике	Большие Коты, Иркутская обл.	10–17 июля	100
55.	2-я Международная конференция «Современные проблемы теории конденсированных сред»	Дубна	15–19 июля	80
56.	28-я Летняя научная школа молодых ученых и специалистов «Липня-2024»	Дубна	19–21 июля	80
57.	Международная школа «Перспективные методы современной теоретической физики: интегрируемые и стохастические системы»	Дубна	21–26 июля	55
58.	Рабочее совещание по китайско-российскому сотрудничеству в рамках проекта NICA-MPD/ITS	Дубна	23–24 июля	25
59.	Международное совещание «Суперсимметрии и квантовые симметрии» (SQS'24)	Дубна	29 июля – 3 августа	80
60.	Международный семинар «Экспериментальные методы физики частиц», посвященный памяти профессора И. А. Голутвина и приуроченный к 90-летию со дня его рождения	Дубна	8 августа	85
61.	Международная школа ускорительной физики «Циклотроны»	Вербилки, Московская обл.	25–30 августа	85
62.	Коллаборационное совещание по экспериментальной программе SRC ОИЯИ	Кипр	1–7 сентября	16
63.	Рабочее совещание международной коллаборации ARIADNA по прикладным исследованиям на комплексе NICA	Дубна	4–6 сентября	170
64.	19-я Международная конференция по методам симметрии в физике	Ереван, Армения	8–13 сентября	70
65.	2-й этап Международной студенческой практики по направлениям исследований ОИЯИ	Дубна	9–27 сентября	25
66.	4-я научная школа для слушателей Школьного университета при Академии научных исследований и технологий Египта	Дубна	10–14 сентября	17
67.	Рабочее совещание по проекту Вьетнамского большого ускорительного комплекса	Дубна	10–20 сентября	20
68.	136-я сессия Ученого совета ОИЯИ	Дубна	12–13 сентября	110
69.	Рабочее совещание ОИЯИ–Китай по организации и развитию методов обработки и анализа данных в будущих экспериментах по физике высоких энергий	Иркутская обл.	15–19 сентября	30
70.	15-й Международный семинар «Проблематика коллайдеров и ускорителей заряженных частиц. Ускорители для прикладных целей», посвященный памяти профессора В. П. Саранцева	Алушта, Крым	15–20 сентября	150
71.	Рабочее совещание по сверхпроводящим резонаторам и быстроциклирующим магнитам в рамках китайско-российского сотрудничества по проектам NICA и HIAF	Дубна	26 сентября	24
72.	4-я Международная школа-семинар по малочастичным системам	Хабаровск	30 сентября – 4 октября	70
73.	Научно-практический семинар для студентов «Процессы управления в научных проектах и участие студентов в научных исследованиях»	Дубна	7–11 октября	22

Номер	Наименование	Место проведения	Время проведения	Количество участников
74.	Осенняя школа по информационным технологиям ОИЯИ	Дубна	7–11 октября	100
75.	Программа «Введение для представительств полномочных представителей и должностных лиц, ответственных за взаимодействие с ОИЯИ»	Дубна	7–11 октября	20
76.	13-е коллаборационное совещание по эксперименту VM@N	Дубна	8–10 октября	135
77.	19-й Всероссийский фестиваль науки «Наука 0+»	Москва	11–13 октября	1000
78.	14-е коллаборационное совещание по эксперименту MPD	Дубна	14–16 октября	160
79.	6-я конференция «Актуальные проблемы радиационной биологии. Модификация радиационно-индуцированных эффектов»	Дубна	16–18 октября	150
80.	Семинар, посвященный 80-летию со дня рождения академика А. Н. Сисакяна	Дубна	18 октября	80
81.	Научная школа для учеников Московской области	Дубна	21–23 октября	10
82.	11-я Международная конференция «Математическое моделирование и вычислительная физика» (MMSP-2024)	Ереван, Армения	21–25 октября	90
83.	28-я Международная научная конференция молодых ученых и специалистов (AYSS-2024)	Дубна	28 октября – 1 ноября	200
84.	Научная школа для учителей физики	Дубна	28 октября – 1 ноября	20
85.	8-е коллаборационное совещание по эксперименту SPD	Дубна	5–8 ноября	85
86.	3-й этап Международной студенческой практики по направлениям исследований ОИЯИ	Дубна	5–22 ноября	25
87.	Заседание Финансового комитета ОИЯИ	Минск, Беларусь	14 ноября	90
88.	Сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ	Минск, Беларусь	15–16 ноября	110
89.	Международная научная школа для старшеклассников Дубны и Астаны (Казахстан)	Дубна	18–21 ноября	12
90.	Международная стажировка «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров»	Дубна	18–22 ноября	33
91.	Международная конференция «50 лет холодному слиянию»	Ереван, Армения	19–24 ноября	60
92.	Осенняя школа по физике кварк-глюонной материи	Дубна	22–26 ноября	45
93.	2-я научная школа-семинар «Новые методы обработки данных физического эксперимента»	Долгопрудный	2–4 декабря	80
94.	Первая научная школа для учителей Республики Беларусь	Дубна	2–6 декабря	16
95.	Рабочее совещание коллаборации «Байкал»	Дубна	3–6 декабря	55
96.	2-й Международный африканский симпозиум по экзотическим ядрам (IASEN-2024)	Гордонс-Бей, ЮАР	9–13 декабря	120
97.	Конференция «75 лет Лаборатории ядерных проблем»	Дубна	14 декабря	500
98.	Сессия Научного совета Отделения физических наук РАН «Радиационная физика твердого тела»	Дубна	16–18 декабря	35
99.	Семинар, посвященный подведению итогов деятельности ЛИТ им. М. Г. Мещерякова в 2024 г.	Дубна	27 декабря	150



## ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ

## ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

В 2024 г. в издательском отделе вышло в свет 63 наименования публикаций, 38 наименований служебных материалов. Служебные материалы с 2024 г. выпускаются в обновленном дизайне.

Изданы тезисы докладов и труды 30-го Международного семинара по взаимодействию нейтронов с ядрами ISINN-30 (Шарм-эш-Шейх, 14–18 апреля 2024 г.), материалы международной конференции «Актуальные проблемы радиационной биологии. Модификация радиационно-индуцированных эффектов» (Дубна, 16–18 октября 2024 г.). В виде электронных изданий опубликованы сборники аннотаций 74-й Международной конференции «Ядро-2024» (Дубна, 1–5 июля 2024 г.) и международной конференции «Математическое моделирование и вычислительная физика» (ММСР 2024) (Ереван, 21–25 октября 2024 г.).

Среди изданных в 2024 г. книг стоит отметить следующие: В. И. Комаров «Физика в кругу друзей и коллег», М. В. Чижов «Слабые взаимодействия элементарных частиц», «Малов Леонард Александрович: К 85-летию со дня рождения», «Гарий Владимирович Ефимов: К 90-летию со дня рождения», «Отдел ядерной спектроскопии и радиохимии. 1958–2005: Воспоминания, документы, фотографии» (автор-составитель Ц. Вылов), А. О. Алексеев, Т. В. Алексеева, А. Н. Афанасьева и др. «Астробиология» (коллективная монография под редакцией А. Ю. Розанова, Е. А. Сапрыкина), В. А. Бедняков «Проект Baikal-GVD в ОИЯИ с 2013 по 2023 г.».

Вышло из печати учебное пособие УНЦ в трех томах: I. Vankov, D. Kamanin, Yu. Panebrattsev «Introduction to Experimental Nuclear Physics and Nuclear Electronics».

На русском и английском языках опубликованы годовые отчеты ОИЯИ за 2023 г., а также отчет ОИЯИ за прошедший семилетний период «Объединенный институт ядерных исследований. 2017–2023 гг.: Краткий обзор научных достижений и развития исследовательской инфраструктуры».

Опубликован сборник стихотворений выдающегося ученого-физика, первого директора ОИЯИ Д. И. Блохинцева. К 80-летию со дня рождения академика А. Н. Сисакяна вышло в свет вто-

рое издание сборника его стихотворений «Улыбка мысли».

Начата работа над новым научным электронным журналом Natural Science Review. Разработаны логотип журнала, дизайн обложки, сверстаны и отредактированы 7 статей, вошедших в первый выпуск журнала.

В 2024 г. вышли из печати 6 выпусков журнала «Физика элементарных частиц и атомного ядра», включающих 237 статей. В выпуске 1 опубликованы материалы международного совещания «Физика димьюонов на LHC» (Дубна, 23–24 июня 2022 г.). Выпуск 3 содержит материалы 10-й Международной конференции «Распределенные вычисления и грид-технологии в науке и образовании» (Дубна, 3–7 июля 2023 г.). В выпуск 4 вошли материалы 25-го Международного Балдинского семинара по проблемам физики высоких энергий «Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика» (Дубна, 18–23 сентября 2023 г.). Выпуск 6 содержит материалы 35-го Международного совещания по физике высоких энергий «От кварков до галактик: прояснение темных сторон» (Протвино, 28 ноября – 1 декабря 2023 г.). Издано 6 номеров журнала «Письма в ЭЧАЯ», содержащих 203 статьи. В номере 3 опубликованы труды 28-й Международной конференции по ускорителям заряженных частиц (RuPAC'23) (Новосибирск, 11–15 сентября 2023 г.). Выпуск 4 содержит материалы 27-й Международной конференции молодых ученых и специалистов (AYSS-2023) (Дубна, 30 октября – 3 ноября 2023 г.).

Продолжался выпуск информационного бюллетеня «Новости ОИЯИ» на русском и английском языках.

В 2024 г. было издано 50 номеров еженедельника ОИЯИ «Дубна: наука, содружество, прогресс».

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



Издания, выпущенные издательским отделом ОИЯИ в 2024 г.

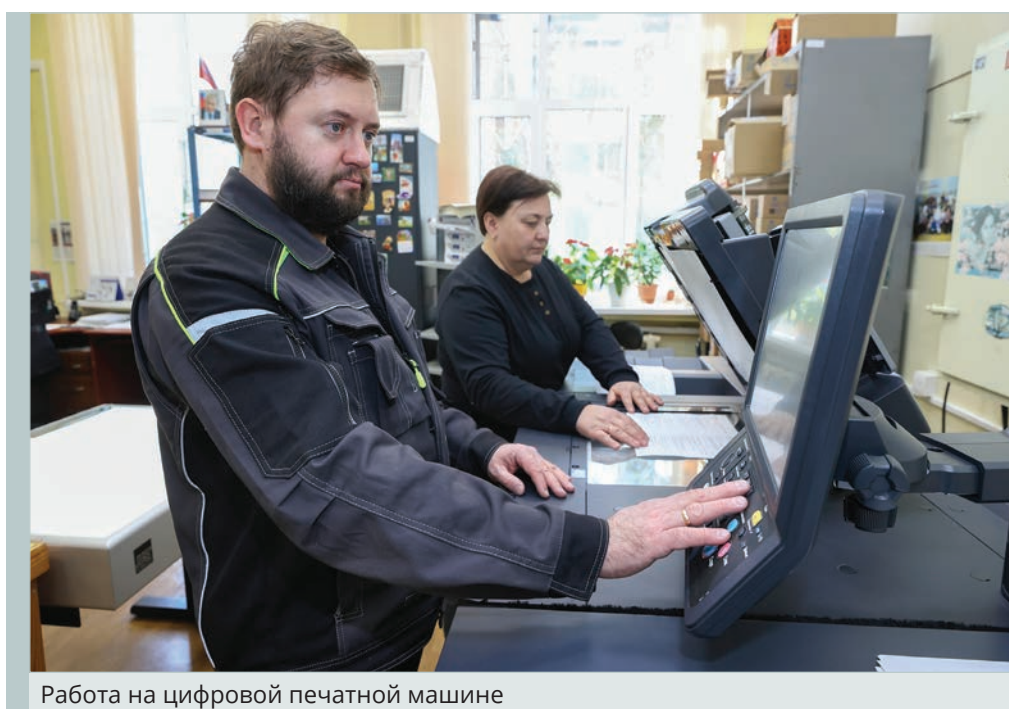
направлено 196 статей, содержащих результаты работ дубненских ученых. Статьи сотрудников ОИЯИ направлялись в журналы «Ядерная физика», «Известия Российской академии наук. Серия физическая», «Приборы и техника эксперимента», «Ядерная физика и инжиниринг», «Кристаллография», «Поверхность. Рентгеновские, 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 —



Изготовление книг в твердом переплете



Работа на цифровой печатной машине

стендовых докладов сотрудников Института для представления на научных форумах. Для проведения конференций и совещаний выполнялась печать информационных материалов — программ, блокнотов, бейджей, дипломов и сертификатов.

По заявкам лабораторий и других подразделений ОИЯИ выполнялись переплетные работы, копирование и сканирование научно-технической и инженерно-конструкторской документации. Отпечатано более 120 тысяч различных бланков.

Сотрудники издательского отдела продолжали осваивать технологию изготовления книг в твердом переплете. Оборудование для этого многооперационного процесса (крышкоделательная машина, устройство для вставки книжного блока в переплетную крышку и прессовально-штриховальная машина) было закуплено в 2023 г. В 2024 г. вышло в свет 3 издания в твердом переплете.

Приобретено новое оборудование — система производительной монохромной печати Konica Minolta Accurio Press 2100. Эта машина предназначена для печати черно-белой продукции, она заменит выработавшие свой ресурс и морально устаревшие чехословацкие офсетные печатные станки.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

В 2024 г. число читателей Научно-технической библиотеки составило 1602 человека. Действует электронная система учета выдачи и возврата литературы. Количество выданной литературы — 3142 экземпляра. На 1 января 2025 г. библиотечный фонд составил 429 660 экз., из них 195 489 экз. на иностранных языках.

По заявкам читателей по межбиблиотечному абонементу получено 132 издания, выполнено 15 заявок из других библиотек. По всем источникам комплектования поступило 1033 экз. книг, периодических изданий, препринтов, диссертаций и авторефератов, 11 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 100 номеров экспресс-бюллетеней «Книги», «Статьи», «Препринты» с информацией относительно 4156 названий. Электронные версии бюллетеней доступны на сайте НТБ в разделе «Новые поступления» и рассылаются по e-mail. Подписаться можно в разделе «Сервисы» на сайте НТБ: [http://ntb.jinr.ru/ntb\\_mail/newslist.html](http://ntb.jinr.ru/ntb_mail/newslist.html).

Для службы главного ученого секретаря еженедельно составлялись библиографические

списки публикаций сотрудников ОИЯИ с аннотациями и ссылками на полные тексты публикаций.

Регулярно обновлялись выставки новых поступлений книг, препринтов, периодических изданий, диссертаций и авторефератов. На них было представлено 639 изданий. Организовано 10 тематических выставок, на которых было представлено 610 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»).

«Библиографический указатель работ сотрудников ОИЯИ за 2023 г.» (1722 записи) подготовлен Научно-технической библиотекой и выпущен издательским отделом ОИЯИ. Электронная версия указателя со ссылками на полные тексты публикаций доступна на сайте НТБ (раздел «Сервисы») [http://ntb.jinr.ru/buk/2023/bibl\\_uk.php](http://ntb.jinr.ru/buk/2023/bibl_uk.php). База данных работ сотрудников ОИЯИ доступна в Интернете через электронные каталоги.

Подготовлено 3 биобиблиографических списка. Отсканировано и размещено в электронном каталоге 2718 препринтов, монографий, материалов конференций, годовых отчетов ОИЯИ.

По российской подписке получено 58 названий периодических изданий.

Благодаря Национальной электронной подписке РЦНИ сотрудники ОИЯИ получили электронный доступ к журналам издательств «Wiley», «American Physical Society», «American Mathematical Society», журналам «Nature», «Science», журналам и книгам издательства «Шпрингер», к базе данных «Questel», к коллекции книг ЕБСКО, к журналам Российской академии наук. Был открыт тестовый доступ к ресурсам IEEE Electronic Library (IEL).



Выставка книг, посвященная 300-летию Российской академии наук

В рамках проекта «История ОИЯИ и г. Дубны на страницах книг, журналов и центральных газет» введено 119 новых библиографических описаний. Информационно-поисковая система «Литература об ученых ОИЯИ» (включает 1083 записи) доступна для пользователей в разделе сайта НТБ «Публикации об ОИЯИ» <http://who-is-who.jinr.ru/catalog3/main.html>.

В 2024 г. в автоматизированную информационно-библиотечную систему «Absotheque» введено: книг — 350 названий, журналов — 1090 номеров, препринтов — 313 названий, диссертаций

и авторефератов — 123, книжных статей — 556 и журнальных статей — 3785 названий.

На 1 января 2025 г. количество библиографических описаний в АИБС «Absotheque» составило 356 648 записей.

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 «Scopus» на 22.01.2025 показатели за 2024 г.:

— всего публикаций: 1401 (включены кол-лаборационные публикации без аффилиации ОИЯИ, но принадлежащие ОИЯИ);

— суммарное количество цитирований: 1434;  
— среднее число цитирований докумен-та: 1,02;  
— индекс Хирша: 13.

**Таблица 1.** Совместные публикации с авторами из государств-членов ОИЯИ

Страна*	Количество публикаций
Азербайджан	197
Армения	148
Беларусь	132
Болгария	250
Вьетнам	31
Грузия	207
Египет	111
Казахстан	87
Куба	46
Монголия	208
Россия	778
Румыния	320
Словакия	194
Узбекистан	87

\*В алфавитном порядке.

**Таблица 2.** Совместные публикации с авторами из стран — ассоциированных членов ОИЯИ

Страна*	Количество публикаций
Венгрия	153
Германия	466
Италия	457
Сербия	211
ЮАР	180

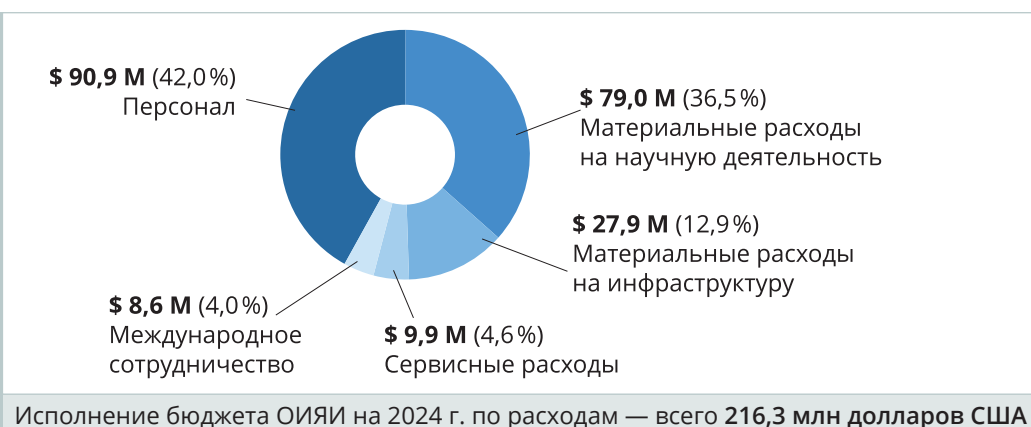
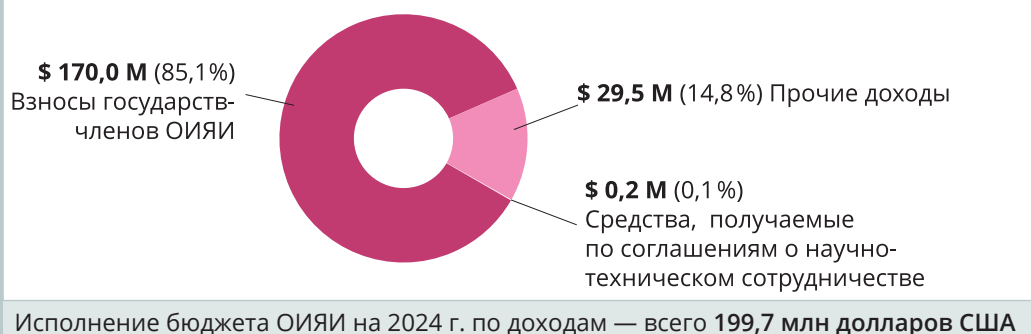
\*В алфавитном порядке.

**Таблица 3.** Совместные публикации сотрудников ОИЯИ с авторами из других стран и регионов

Страна/регион*	Количество публикаций	Страна/регион*	Количество публикаций
США	456	Филиппины	104
Китай	410	Бельгия	103
Польша	408	Палестина	102
Великобритания	407	Кипр	99
Швейцария	381	Иран	79
Турция	354	Литва	77
Франция	340	Эстония	76
Чехия	334	Ирландия	76
Чили	315	Малайзия	75
Швеция	312	Эквадор	75
Нидерланды	281	Латвия	75
Южная Корея	274	Кувейт	75
Индия	263	Шри Ланка	75
Бразилия	259	Черногория	74
Греция	251	Катар	67
Австрия	250	Новая Зеландия	61
Испания	237	Пуэрто-Рико	59
Япония	235	Перу	45
Таиланд	231	Индонезия	44
Пакистан	226	Алжир	29
Португалия	209	Молдавия	19
Тайвань	207	Саудовская Аравия	16
Колумбия	195	Бангладеш	5
Австралия	192	Иордания	3
Норвегия	164	Венесуэла	2
Дания	162	Доминиканская Республика	2
Канада	141	Парагвай	1
Хорватия	141	Оман	1
Мексика	134	Северная Македония	1
Финляндия	128	Нигерия	1
Израиль	128	Мальта	1
Украина	126	Замбия	1
Гонконг	119	Мадагаскар	1
Словения	119	Ливан	1
Марокко	118	Кыргызстан	1
Аргентина	115	Таджикистан	1
ОАЭ	107		

\*По мере убывания числа публикаций.

# ФИНАНСОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ



Процентная шкала взносов государств-членов ОИЯИ на 2024 г.

Страна	%	Страна	%
Азербайджанская Республика	0,40	Республика Казахстан	1,59
Республика Армения	0,13	Республика Куба	0,85
Республика Беларусь	0,72	Республика Молдова	0,10
Республика Болгария	0,76	Монголия	0,11
Социалистическая Республика Вьетнам	2,32	Российская Федерация	87,15
Грузия	0,16	Румыния	2,13
Арабская Республика Египет	3,01	Республика Узбекистан	0,57
<i>Итого:</i>			100,0

В 2024 г. сотрудники Объединенного института ядерных исследований для реализации ряда научных проектов получили финансовую поддержку Российского научного фонда (РНФ) и Министерства науки и высшего образования РФ.

Российский научный фонд профинансировал научные проекты ОИЯИ в рамках следующих конкурсов: «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (7 проектов), «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» (7 проектов), «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных

исследований международными научными коллективами» — DFG (Германия), VAST (Вьетнам) и БРФФИ (Беларусь) (по 1 проекту), «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» (3 проекта), «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» (2 проекта).

Министерством науки и высшего образования РФ профинансирован проект Лаборатории нейтронной физики «Разработка и создание элемента экспериментальных станций на источниках нейтронов импульсного или постоянного типа».

## КАДРЫ

Численность персонала ОИЯИ на 1 января 2025 г. составила 5047 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, А. Ю. Розанов (по совместительству), члены-корреспонденты РАН В. Л. Аксенов, А. В. Белушкин, Л. В. Григоренко, Д. И. Казаков,

В. Д. Кекелидзе, Е. А. Красавин, Г. Д. Ширков, действительный член Академии наук Монголии О. Чулуунбаатар, а также 35 профессоров, 25 доцентов, 214 докторов наук, 623 кандидата наук.

В 2024 г. в ОИЯИ принято на работу 510 человек, уволено за этот период в связи с окончанием срока работы и по другим причинам 533 человека.



Дубна, 5 апреля. На торжественном вручении дипломов о присуждении ученых степеней

## НАГРАЖДЕНИЯ

В 2024 г. за плодотворную работу в ОИЯИ и международное сотрудничество, а также в связи с 300-летием со дня основания Российской академии наук сотрудники ОИЯИ отмечены:

— государственными наградами Российской Федерации: орденом Святого Александра Невского — 1 сотрудник, орденом Дружбы — 1, орденом Почета — 1, медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» I степени — 1, медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени — 3, медалью Жукова — 1;

— наградами Президента Российской Федерации: благодарностью Президента Российской Федерации — 1, благодарственным письмом Президента Российской Федерации — 1;

— наградами Российской академии наук: юбилейной медалью «300 лет Российской академии наук» — 24, премией им. В. И. Векслера — 3;

— наградами Минобрнауки России: благодарностью Министерства науки и высшего образования Российской Федерации — 10, 8 сотрудникам присвоено звание «Почетный работник науки и высоких технологий Российской Федерации», почетной грамотой Министерства науки и высшего образования Российской Федерации — 10;

— наградами Госкорпорации «Росатом»: знаком отличия «Е. П. Славский» — 1, знаком отличия «Академик А. П. Александров» — 1, знаком отличия «Академик И. В. Курчатov» II степени — 1, знаком отличия «Академик И. В. Курчатov» IV сте-

пени — 4, знаком отличия «За вклад в развитие атомной отрасли» I степени — 1, знаком отличия «За вклад в развитие атомной отрасли» II степени — 7, знаком отличия «Почетный строитель атомной отрасли» — 1, почетной грамотой ГК «Росатом» — 15, благодарностью генерального директора ГК «Росатом» — 9;

— наградами Московской области: благодарственным письмом губернатора Московской области — 1, почетной грамотой Московской областной Думы — 3, благодарственным письмом Московской областной Думы — 3, почетной грамотой Министерства инвестиций, промышленности и науки Московской области — 3, благодарственным письмом министра строительного комплекса Московской области — 2;

— наградами городского округа Дубна: почетной грамотой главы городского округа Дуб-

на — 47, благодарностью главы городского округа Дубна — 20, почетной грамотой Совета депутатов городского округа Дубна — 36, благодарностью Совета депутатов городского округа Дубна — 12;

— наградами ОИЯИ: почетным дипломом ОИЯИ — 5, почетной грамотой ОИЯИ — 59, благодарственным письмом ОИЯИ — 59; звание «Почетный сотрудник ОИЯИ» присвоено 11 сотрудникам.

2 сотрудника награждены почетной грамотой Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, нагрудным знаком «Почетный донор России» — 1.

Всего награждено 370 сотрудников ОИЯИ.

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> . . . . .	8
<b>РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ</b>	
Комитет полномочных представителей правительств государств-членов ОИАИ . . . . .	12
Ученый совет . . . . .	21
Финансовый комитет. . . . .	32
Программно-консультативные комитеты . . . . .	37
Премии ОИАИ . . . . .	47
<b>НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ</b>	
Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова. . . . .	50
Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина . . . . .	64
Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова. . . . .	81
Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова. . . . .	91
Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка . . . . .	102
Лаборатория информационных технологий им. М. Г. Мещерякова . . . . .	117
Лаборатория радиационной биологии . . . . .	133
Учебно-научный центр . . . . .	142
<b>ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ</b> . . . . .	150
<b>МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО</b>	
Научно-техническое сотрудничество . . . . .	160
Конференции и совещания . . . . .	210
<b>ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ</b>	
Издательский отдел . . . . .	226
Научно-техническая библиотека . . . . .	230
Финансовая деятельность . . . . .	232
Кадры . . . . .	234

**Ответственный  
за подготовку отчета:**

Б. М. Старченко

**Отчет подготовили:**

А. В. Андреев  
С. В. Бобров  
Н. А. Боклагова  
О. Ю. Дереновская  
Е. В. Иванова  
А. В. Карпов  
Е. В. Кешарпу  
И. В. Кошлань  
О.-А. Куликов  
Е. Г. Кутейникова  
И. Ф. Ленский  
Д. А. Михеев  
В. А. Рачков  
И. В. Симоненко  
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. 2024**

Годовой отчет

2025-10

Редакторы: *Е. В. Григорьева, Е. В. Калининкова, Е. В. Сабеева*  
Верстка *Т. А. Агишевой, И. Г. Андреевой, Е. В. Дергуновой, В. А. Жбанковой*

Подписано в печать 15.05.2025. Формат 60×84/8. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 27,67. Уч.-изд. л. 31,98. Тираж 170 экз. Заказ № 61091.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.  
E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)  
[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)