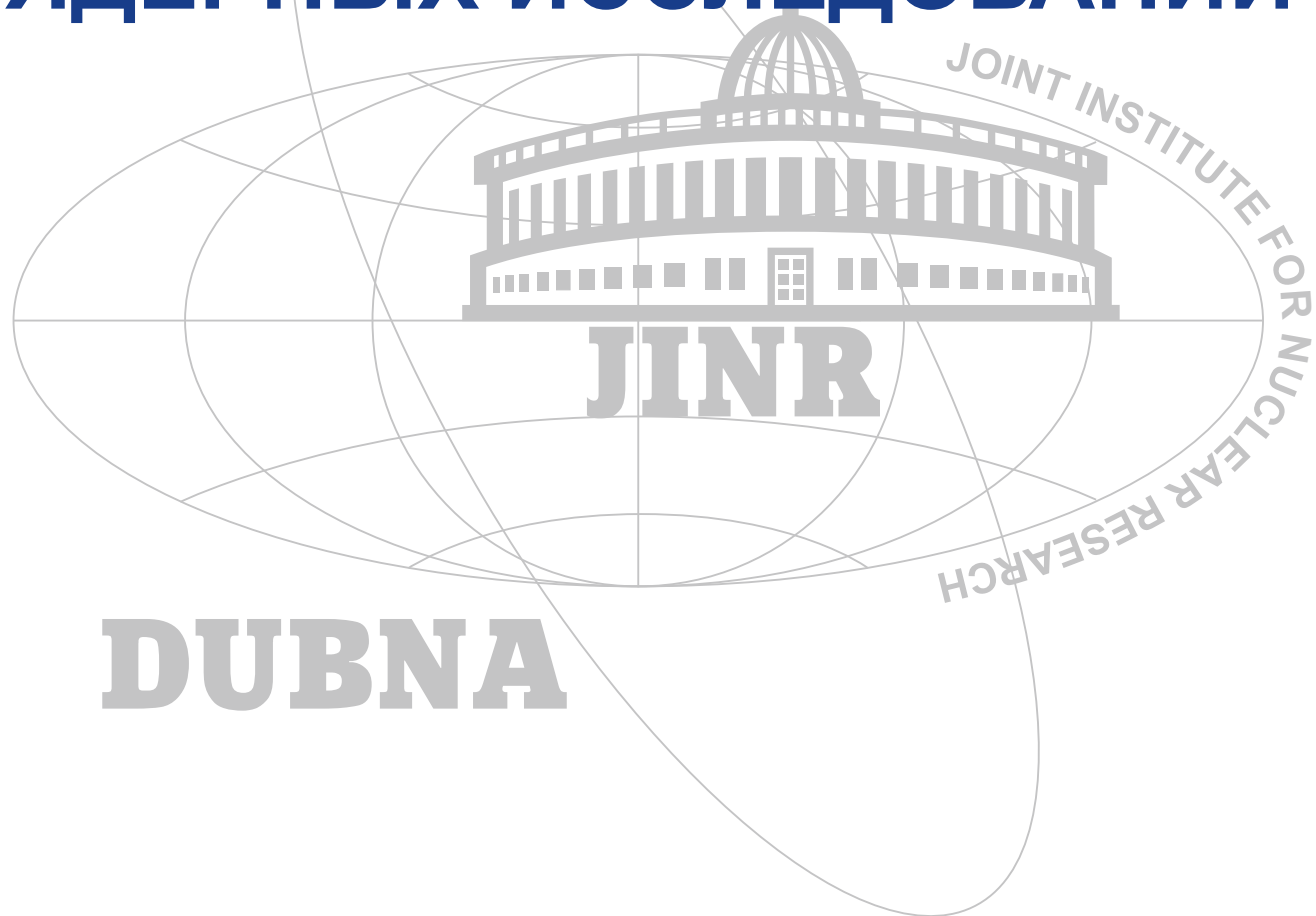


2020

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



DUBNA

Объединенный институт ядерных исследований

Россия, 141980, Дубна, Московская обл.,
ул. Жолио-Кюри, 6

Телефон: (49621) 65-059

Факс: (49621) 65-146, (495) 632-78-80

E-mail: post@jinr.ru

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

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



ГОСУДАРСТВА-ЧЛЕНЫ ОИЯИ:

Азербайджанская Республика
Республика Армения
Республика Белоруссия
Республика Болгария
Социалистическая Республика Вьетнам
Грузия
Республика Казахстан
Корейская Народно-Демократическая Республика
Республика Куба
Республика Молдова
Монголия
Республика Польша
Российская Федерация
Румыния
Словацкая Республика
Республика Узбекистан
Украина
Чешская Республика



ГОСУДАРСТВА, С КОТОРЫМИ ЗАКЛЮЧЕНЫ СОГЛАШЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ НА ПРАВИТЕЛЬСТВЕННОМ УРОВНЕ:

Венгерская Республика
Федеративная Республика Германия
Арабская Республика Египет
Итальянская Республика
Республика Сербия
Южно-Африканская Республика



СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ОИЯИ	
Руководящие и консультативные органы ОИЯИ	11
Премии и гранты	38
МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Научно-техническое сотрудничество	43
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММЫ ОИЯИ	
Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова	83
Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ..	93
Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова	108
Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова	117
Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка	125
Лаборатория информационных технологий	138
Лаборатория радиационной биологии	153
Учебно-научный центр	161
ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ	
Издательский отдел	189
Научно-техническая библиотека	191
Отдел лицензий и интеллектуальной собственности	193
АДМИНИСТРАТИВНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	
Финансовая деятельность	197
Кадры	198



ВВЕДЕНИЕ

2020 г. стал для всех нас трудным испытанием, коронавирусная инфекция коснулась каждого, но в условиях пандемии COVID-19 коллектив Института продолжил выполнение намеченных планов. Не снижались темпы работ по созданию систем коллайдера NICA. Установка двух новых кластеров байкальского нейтринного телескопа позволила глубоководному детектору достичь эффективного объема $0,35 \text{ км}^3$, сделав «Байкал-ГВД» одним из трех самых крупных в мире телескопов по эффективной площади и объему для наблюдения природных потоков нейтрино, а также крупнейшим в Северном полушарии. Суперкомпьютер «Говорун» занял 22-ю позицию в мировом рейтинге самых высокопроизводительных систем хранения данных HPC-класса. Продолжалась реализация программы пользователей исследовательской ядерной установки ИБР-2. На фабрике сверхтяжелых элементов начат первый эксперимент по синтезу изотопов московия. Дальнейшее развитие международного сотрудничества было направлено на углубление связей с партнерскими научно-исследовательскими организациями и интеграцию ОИЯИ в глобальную исследовательскую инфраструктуру, а также на привлечение молодежи. В течение всего года активными темпами велись разработка и всестороннее обсуждение основных направлений стратегического плана развития ОИЯИ, в том числе по выработке системы индикаторов для мониторинга исполнения стратегического плана.

И сегодня мы можем с удовлетворением отметить, что сложности работы в условиях пандемии коронавирусной инфекции не помешали коллективу Института получить значимые результаты в ходе реализации флагманских проектов ОИЯИ.

Успешно завершилась транспортировка на стройплощадку проекта NICA сверхпроводя-

щего магнита — ключевого элемента исследовательской установки MPD. До прибытия в Дубну саркофаг с магнитом проделал путь по морю из порта Генуи (Италия) в Санкт-Петербург. Разработанный российскими учеными (специалистами ОИЯИ и НПО «Нева-Магнит») криостат со сверхпроводящей обмоткой магнита для детектора MPD был изготовлен в Италии на предприятии «ASG superconductors» — одном из немногих в мире производителей уникального оборудования для масштабных научно-исследовательских проектов.

20 ноября Председатель Правительства РФ М. В. Мишустин произвел технологический пуск одного из основных блоков международного мегасайенс-проекта «Комплекс NICA» — сверхпроводящего бустерного синхротрона (бустера). Однозарядные ионы гелия были инжектированы в бустер, и получена устойчивая циркуляция пучка. Достигнутый яркий результат — это завершение многолетнего этапа сложной работы коллектива физиков-ускорительщиков и инженеров ОИЯИ в сотрудничестве с партнерами из ИЯФ СО РАН, ИЯИ РАН, ИТЭФ, ИФВЭ НИЦ КИ и многих других российских и зарубежных организаций.

В конце декабря была успешно завершена контрольная сборка магнитопровода соленоидального магнита экспериментальной установки MPD комплекса NICA — установлена верхняя заключительная плита. Ядро магнита — 13 плит, а также два опорных кольца были собраны с предельной точностью. В создании систем детектора MPD и в подготовке экспериментальных исследований на нем активно участвует коллаборация, насчитывающая более 500 ученых из 40 научных центров пяти континентов.

Еще один немаловажный результат — разработка и применение нового экспериментального метода изучения внутренней структуры

атомного ядра и нейтронных звезд в эксперименте $BM@N$, в котором впервые зарегистрированы все продукты реакции при выбивании нуклонов и пар нуклонов из атомных ядер и открыты новые научные перспективы исследования структуры ядра.

На ускорительном комплексе «Фабрика сверхтяжелых элементов» получены первые результаты эксперимента по синтезу изотопов 115-го элемента — московия в реакции взаимодействия ионов кальция-48 и америция-243. Тем самым дан старт уникальной программе ОИЯИ по изучению ядерно-физических и химических свойств сверхтяжелых элементов, рассчитанной на годы вперед. На очереди — эксперименты по синтезу новых элементов с атомными номерами 119 и 120 — первых элементов 8-го периода таблицы Д. И. Менделеева.

Развернуты и введены в эксплуатацию 6-й и 7-й кластеры оптических модулей глубоководного нейтринного телескопа кубокилометрового масштаба «Байкал-ГВД», создаваемого совместно с учеными ИЯИ РАН (Троицк) на оз. Байкал. Как известно, телескоп «Байкал-ГВД» представляет собой флагманский проект нейтринной программы ОИЯИ и рассматривается как одна из базовых установок Института.

В 2020 г. Институт отметил 60-летие пуска первого импульсного реактора на быстрых нейтронах ИБР — единственного в мире реактора, работающего с переменным уровнем критичности. В условиях пандемии COVID-19 стабильная работа реактора ИБР-2 на физические эксперименты в рамках пользовательской программы позволила выполнить восемь циклов из десяти запланированных. Существенный прогресс был достигнут в проектировании нового нейтронного импульсного источника 4-го поколения в партнерстве с ведущими научными организациями, в частности с организациями Росатома. После серьезной модернизации ряда технологических систем начала регулярную работу установка ИРЕН.

Была организована бесперебойная работа сетевой и информационно-вычислительной инфраструктуры Института, а также всех сервисов, включая видеоконференц-связь. Получены значительные результаты в развитии уникального Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК), в организации систем распределенной обработки информации для многих экспериментов, в первую очередь на ускорительном комплексе NICA, в развитии и расширении приложений гибридных и параллельных вычислений, в решении задач моделирования сложных процессов, вычислительной физики и многих других.

Выполнена существенная модернизация центра уровня Tier-1 для эксперимента CMS (ЦЕРН) за счет расширения конфигурации систем хранения и вычислений, а также осуществлен переход на новое программное обеспечение, что позволило повысить эффективность и масштабируемость комплекса. Осуществлена интеграция всех вычислительных ресурсов Института на базе платформы DIRAC как важный шаг в развитии распределенной обработки данных в ОИЯИ. Это серьезный вклад в создание цифровой платформы для проектов класса мега-сайенс.

Исследования по теоретической физике традиционно были сосредоточены как на поддержке экспериментальной программы ОИЯИ, так и на самостоятельных теоретических разработках. По ряду направлений дубненские теоретики выступают флагманами развития и генераторами идей, определяющих мировую научную повестку. Среди лучших достижений за прошедший год можно отметить определение фундаментальных констант квантовой электродинамики с рекордной точностью на основе изучения молекулярных ионов HD^+ , изучение влияния ядерной температуры на процесс взрыва коллапсирующей сверхновой звезды, разработку метода генерации реалистичных структур фторированного графена и анализ их свойств, решеточные симуляции характеристик вращающейся кварк-глюонной материи, изучение асимметрии сечений образования электрон-позитронных пар при взаимодействии высокоэнергетических фотонов с лазерными импульсами, открытие механизма ступенчатого радиационного распада долгоживущих осциллирующих состояний и многое другое.

Активно развивалась программа исследований по космической радиобиологии на пучках нуклотрона, вызывающая всеобщий интерес в связи с возможностью изучения радиационных нарушений структуры и функций центральной нервной системы у животных, в особенности приматов. Были получены новые экспериментальные и теоретические данные, позволяющие пролить свет на механизмы формирования и репарации радиационных повреждений ДНК в культурах клеток нервной системы, а также проведены расчетные работы, оценивающие радиационные нагрузки и риски для космонавтов. Сюда же примыкают яркие работы по астробиологии, раскрывшие новые механизмы синтеза сложных органических биомолекул при облучении неорганических веществ пучками протонов в присутствии метеоритов как катализаторов. Выполнен большой цикл исследований окаменелых микроорганизмов (микрофос-

сий) в метеоритах. Выпущен первый иллюстрированный атлас микрофоссилий в метеорите Оргей.

Ученые Института наряду с научными центрами всего мира внесли свой неоценимый вклад в борьбу против пандемии коронавируса. В ряде лабораторий ОИЯИ были предприняты исследования свойств коронавируса. Физики, занимающиеся фильтрами крови и фильтрами для различных газов, веществ, жидкостей и прочего, предложили применять фильтры для борьбы с коронавирусной инфекцией. Такие ядерные мембраны можно также крайне эффективно использовать и в тест-системах для быстрой диагностики коронавируса. На реакторе ИБР-2 дубненскими учеными совместно с фармацевтами было проведено очень интересное исследование стенок клеток с точки зрения их резистентности к проникновению коронавируса сквозь них. Полученные результаты уже опубликованы и применяются для изготовления медицинских противокоронавирусных препаратов.

В условиях пандемии одной из альтернативных форм работы Учебно-научного центра ОИЯИ со студентами и аспирантами стала новая онлайн-программа INTEREST (INTErnational REmote Student Training), в которой за прошедший год приняло участие 50 студентов из 14 стран. Она позволяет мотивированным молодым людям из любой страны мира выполнять исследовательские проекты в ОИЯИ, не покидая собственного дома.

В университете «Дубна» в рамках совместного проекта университета и ОИЯИ состоялась презентация новых аудиторий IT-школы «Аналитика больших данных» для подготовки высококлассных специалистов в области информационных технологий, в первую очередь, для мегасайенс-проектов Института.

В 2020 г. Объединенный институт торжественно отметил два крупных юбилея — 110 лет со дня рождения Михаила Григорьевича Мещерякова — одного из основателей города и Института, руководителя работ по созданию первого ускорителя Дубны синхротрона — и 90-летие со дня рождения Николая Николаевича Говоруна — выдающегося ученого, который был одним из инициаторов разработки в ОИЯИ алгоритмов параллельных

вычислений, в частности при исследовании решеточных моделей квантовой хромодинамики.

В результате плодотворных усилий по углублению связей с партнерскими научно-исследовательскими организациями и по интеграции ОИЯИ в глобальную исследовательскую инфраструктуру состоялось подписание соглашений с Центром по изучению тяжелых ионов им. Гельмгольца (GSI, Германия) о вступлении научных учреждений Германии в реализацию проекта NICA и с Министерством науки и технологий КНР об участии КНР в строительстве и эксплуатации комплекса NICA.

В октябре в Дубне прошло выездное заседание Комитета Совета Федерации по науке, образованию и культуре, в повестку которого входили вопросы развития и эффективного использования научно-технического потенциала наукоградов России. Как отметила председатель комитета СФ Л. С. Гумерова, выбор места проведения выездного заседания был обусловлен статусом ОИЯИ как международного центра науки, который не знает границ, стран, религиозных различий и объединен только идеей служения науке во имя мира и прогресса. В связи с этим символично, что 2021 г. — юбилейный для Объединенного института ядерных исследований — был объявлен Президентом России В. В. Путиным годом науки и технологий.

На ноябрьской сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ мы стали свидетелями и участниками передачи рычагов управления Институтом из одних рук в другие — творчески одаренные и молодые. Директором ОИЯИ избран академик Г. В. Трубников. Решением КПП научным руководителем ОИЯИ стал академик В. А. Матвеев. Таким образом, мы удвоили наши силы, а Институт получил импульс для дальнейшего развития при поддержке Правительства Российской Федерации и стран-участниц ОИЯИ, чтобы воплотить в жизнь разработанную с участием ведущих специалистов амбициозную стратегию развития.

В преддверии 65-летия Института хочется выразить уверенность в том, что нам ничто не помешает достойно встретить этот юбилей вместе с нашими коллегами и друзьями в странах-участницах и странах-партнерах ОИЯИ.



В. А. МАТВЕЕВ, директор
Объединенного института
ядерных исследований

2020

**РУКОВОДЯЩИЕ
И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ
ОРГАНЫ ОИЯИ**



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH



РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ОИЯИ

СЕССИИ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ

Очередная сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ состоялась 19 июня в формате видеоконференции под председательством полномочного представителя Правительства Российской Федерации В. Н. Фалькова.

Заслушав и обсудив доклад директора Института В. А. Матвеева, КПП принял к сведению информацию о действиях дирекции ОИЯИ по обеспечению деятельности Института в условиях пандемии коронавирусной инфекции COVID-19, о решениях по установленному на период приостановления научной и научно-образовательной деятельности режиму работы Института, а также о мерах по охране здоровья работников. КПП отметил усилия дирекции ОИЯИ, предпринимаемые в направлении поэтапного возобновления деятельности Института в полном объеме наряду с тщательным мониторингом эпидемиологической ситуации.

КПП одобрил работу, проведенную международной рабочей группой, по подготовке единого, интегрального проекта Стратегического плана долгосрочного развития ОИЯИ, поддержал рекомендацию Ученого совета ОИЯИ о принятии представленного проекта за основу и поручил дирекции Института продолжить работу по стратегическому планированию в целях разработки Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. с учетом мнения государств-членов и точного определения их участия в крупных исследовательских проектах, а также необходимых кадровых и материальных ресурсов.

КПП принял к сведению краткий обзор развития научной программы крупных объектов научно-исследовательской инфраструктуры Института: комплекса NICA, фабрики сверхтяжелых элементов, проекта «Байкал-ГВД», реактора ИБР-2 с комплексом спектрометров и Многофункционального информационно-вычислительного комплекса ОИЯИ.

КПП одобрил принятые меры по выполнению рекомендаций комитета по анализу затрат и графика исполнения проекта «Комплекс NICA».

По информации об исполнении бюджета ОИЯИ за 2019 г. КПП утвердил сводную итоговую корректировку доходов и расходов бюджета.

КПП принял к сведению информацию об утверждении уточненного бюджета ОИЯИ на 2020 г. с общей суммой доходов и расходов 277 538,4 тыс. долларов США и разрешил директору Института в 2020 г. вносить корректировки в бюджет ОИЯИ, включая корректировки статей расходов по заработной плате и международному сотрудничеству, в рамках утвержденного бюджета в соответствии с Регламентом внесения корректировок в бюджет ОИЯИ.

КПП одобрил предложения дирекции ОИЯИ по обеспечению конкурентоспособного уровня оплаты труда высококвалифицированного персонала Института и выразил желание об информировании относительно эффективности использования фонда стимулирования высококвалифицированного персонала.

По докладу вице-директора Института Р. Ледницкого «О выборе аудиторской орга-

низации для проведения проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2019 г.», КПП утвердил, в виде исключения в текущем году, аудиторскую компанию ООО АК «Корсаков и Партнеры» для проведения проверки финансовой деятельности Института за 2019 г. и определил компанию ООО «МС Аудит» (Дубна) в качестве резервной. КПП утвердил план аудиторской проверки за 2019 г., представленный дирекцией ОИЯИ.

Заслушав доклад заместителя директора Института по персоналу А. В. Рузаева «О проекте Положения о персонале ОИЯИ», КПП утвердил и поручил ввести в действие Положение о персонале ОИЯИ со дня принятия настоящего решения.

Заслушав доклад директора Института В. А. Матвеева «Об утверждении в должностях вице-директоров Института», КПП принял к сведению информацию об утверждении в должностях первого вице-директора Г. В. Трубникова, вице-директоров С. Н. Дмитриева и Б. Ю. Шаркова на срок до окончания полномочий директора ОИЯИ 31 декабря 2021 г., а также об издании приказа ОИЯИ от 20.04.2020 № 233 «О сроках полномочий членов дирекции ОИЯИ». КПП выразил благодарность М. Г. Иткису за многолетний труд в составе дирекции ОИЯИ, огромный вклад в результаты деятельности Института и развитие международного научного сотрудничества.

Заслушав и обсудив информацию председателя сессии КПП В. Н. Фалькова и директора Института В. А. Матвеева «О назначении выборов и выдвижении кандидатов для избрания на должность директора ОИЯИ», КПП назначил проведение выборов директора ОИЯИ на сессии Комитета полномочных представителей в ноябре 2020 г., а также поручил дирекции Института подготовить к данной сессии предложения о введении должности научного руководителя ОИЯИ, его статусе и полномочиях.

По докладу главного ученого секретаря Института А. С. Сорина «Об учреждении Премии Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ» КПП принял предложение дирекции Института об учреждении данной премии «за идею создания, разработку и реализацию крупномасштабных проектов ОИЯИ, выполненных на уровне высоких мировых стандартов и требований», которая призвана стимулировать творческие коллективы сотрудников Института и их партнеров в странах-участницах ОИЯИ за крупные достижения в развитии научно-исследовательской инфраструктуры, открыва-

ющие принципиально новые возможности для проведения научных исследований мирового уровня.

КПП принял во внимание отчет дирекции Института об исполнении задач Семилетнего плана развития ОИЯИ за 2019 г. и постановление КПП ОИЯИ от 25 марта 2019 г., которым отмечено успешное завершение важнейшего этапа в создании уникального ускорительного комплекса, нацеленного на получение прорывных результатов в области синтеза новых сверхтяжелых элементов, дал высокую оценку научно-техническому уровню реализации проекта по созданию циклотрона ДЦ-280 и участия в нем большинства государств-членов ОИЯИ, а также получение всех необходимых лицензий для начала экспериментальных исследований. Присуждена Премия КПП ОИЯИ коллективу сотрудников ОИЯИ во главе с научным руководителем ЛЯР академиком Ю. Ц. Оганесяном.

Заслушав доклад главного ученого секретаря Института А. С. Сорина «Об изменении в составе Ученого совета ОИЯИ», КПП избрал членом Ученого совета ОИЯИ А. Апраамян (Нотр-Дамский университет, США).

По информации полномочного представителя Правительства Республики Узбекистан Б. С. Юлдашева «О возобновлении полноправного членства Республики Узбекистан в ОИЯИ» КПП выразил готовность возобновить полноправное участие Республики Узбекистан в деятельности ОИЯИ и поручил рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ совместно с полномочным представителем Правительства Республики Узбекистан и дирекцией Института проработать финансовые условия возобновления полноправного участия Республики Узбекистан в ОИЯИ.

Сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ состоялась 23 ноября в формате видеоконференции под председательством представителя Российской Федерации Н. А. Бочаровой.

Заслушав и обсудив доклад директора Института В. А. Матвеева, КПП принял к сведению информацию дирекции ОИЯИ о функционировании Института в условиях пандемии COVID-19, о рекомендациях 128-й сессии Ученого совета ОИЯИ, о новых полученных в Институте научных и научно-технических результатах, а также о наиболее важных событиях, состоявшихся в ОИЯИ во второй половине 2020 г.

КПП с удовлетворением отметил значительные достижения коллектива Института в области развития установок ОИЯИ и получения новых научных результатов, в частности:

— темпы проведения работ по созданию систем коллайдера NICA, завершение монтажа оборудования участка быстрого вывода пучка из бустера, подготовку к началу охлаждения магнитной структуры, а также планы инжектировать и ускорить первый пучок в новом синхротроне к концу ноября 2020 г.;

— завершение операции по транспортировке в ОИЯИ изготовленного в Италии сверхпроводящего магнита — ключевого элемента исследовательской установки MPD ускорительного комплекса NICA;

— разработку и применение созданной на базе ОИЯИ международной коллаборацией нового экспериментального метода изучения внутренней структуры атомного ядра и нейтронных звезд в эксперименте BM@N, впервые зарегистрировавшем все продукты реакции при выбивании нуклонов и пар нуклонов из атомных ядер и открывшем новые научные перспективы исследования структуры ядра;

— начало первого эксперимента по синтезу изотопов московия на фабрике сверхтяжелых элементов (СТЭ);

— победу проекта ОИЯИ «Сверхтяжелые ядра и атомы: пределы масс ядер и границы Периодической таблицы Менделеева» в конкурсе Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на предоставление грантов в форме субсидий для реализации крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития России;

— установку двух новых кластеров байкальского нейтринного телескопа, глубоководный детектор которого достиг эффективного объема 0,35 км³, что сделало «Байкал-ГВД» одним из трех самых крупных в мире телескопов по эффективной площади и объему, а также крупнейшим в Северном полушарии;

— продолжение реализации программы пользователей исследовательской ядерной установки ИБР-2 в условиях пандемии COVID-19;

— внушительную статистику использования GRID-сайтов ОИЯИ, вносящих вклад в обработку данных международных коллабораций, — сайта Tier-1, занимающего второе место среди мировых центров Tier-1 CMS, и сайта Tier-2 — лучшего в RDIG (Российском GRID для интенсивной обработки данных), а

также получение и публикацию научных результатов, достигнутых с применением ресурсов суперкомпьютера «Говорун».

КПП поддержал организационные меры дирекции ОИЯИ, предпринимаемые для успешной реализации проекта NICA, и одобрил поправки в Положение о наблюдательном совете проекта «Комплекс сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA» в части порядка формирования состава наблюдательного совета, определения статуса и полномочий наблюдателя, порядка проведения заседаний и голосования.

КПП одобрил усилия дирекции Института по углублению связей с партнерскими научно-исследовательскими организациями и по интеграции ОИЯИ в глобальную исследовательскую инфраструктуру, в частности, подписание соглашений с Центром по изучению тяжелых ионов им. Гельмгольца (GSI, Германия) о вступлении научных учреждений Германии в реализацию проекта NICA и с Министерством науки и технологий КНР об участии КНР в строительстве и эксплуатации комплекса NICA.

КПП одобрил деятельность дирекции Института по разработке и всестороннему обсуждению основных направлений стратегического плана развития ОИЯИ, в том числе по выработке системы индикаторов для мониторинга исполнения стратегического плана.

КПП утвердил рекомендации 127-й и 128-й сессий Ученого совета ОИЯИ, а также Проблемно-тематический план научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 2021 г.

Заслушав и обсудив доклад председателя сессии КПП Н.А. Бочаровой «О выборе директора ОИЯИ», руководствуясь решением КПП от 19 июня 2020 г. о назначении проведения выборов директора ОИЯИ в ноябре 2020 г. на основании досрочного прекращения полномочий действующего директора с 1 января 2021 г. в соответствии с п.2.1 Положения о директоре ОИЯИ, КПП утвердил в качестве кандидата для избрания на должность директора ОИЯИ академика РАН Г.В. Трубникова. КПП одобрил представленную программу кандидата на должность директора ОИЯИ Г.В. Трубникова. КПП провел избрание директора тайным голосованием с использованием программно-технических средств видеоконференции. КПП избрал Г.В. Трубникова на должность директора ОИЯИ сроком на пять лет с вступлением в должность с 1 января 2021 г.

КПП выразил глубокую благодарность академику Российской академии наук В. А. Матвееву за плодотворную работу на посту директора ОИЯИ.

КПП установил срок полномочий вице-директоров ОИЯИ, главного ученого секретаря ОИЯИ, главного инженера ОИЯИ до 1 января 2021 г. и рекомендовал избранному директору с 1 января 2021 г. назначить исполняющих обязанности членов дирекции ОИЯИ, поручив представить в марте 2021 г. на утверждение сессии КПП кандидатуры вице-директоров ОИЯИ, главного ученого секретаря ОИЯИ, главного инженера ОИЯИ.

Заслушав и обсудив доклад председателя сессии КПП Н. А. Бочаровой «О научном руководителе ОИЯИ», КПП ввел должность научного руководителя ОИЯИ для академика РАН В. А. Матвеева и рекомендовал избранному директору ОИЯИ осуществить соответствующее назначение.

Заслушав и обсудив доклад главного ученого секретаря Института А. С. Сорина «О ходе выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг., а также предложения по корректировке Семилетнего плана», КПП одобрил усилия дирекции ОИЯИ по детальному анализу хода выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ, а также формированию предложений по его корректировке.

КПП высоко оценил подготовленный краткий отчет о ходе выполнения текущего Семилетнего плана развития ОИЯИ за 2017–2020 гг. и предложения по его корректировке на 2021–2023 гг.

КПП с удовлетворением отметил работу дирекции и коллектива Института по реализации Семилетнего плана развития в 2017–2020 гг. по основным направлениям деятельности ОИЯИ, а именно:

- большой объем выполненных работ по реализации проекта «Комплекс NICA» в текущем семилетнем периоде, в том числе в рамках Соглашения между Правительством Российской Федерации и ОИЯИ;

- успешное развитие работ на фабрике СТЭ: выход на проектные параметры базовой установки фабрики — циклотрона ДЦ-280, нового газонаполненного сепаратора ГНС-2, и начало первых экспериментов по синтезу 115-го элемента (московия) в реакции америций-243 + кальций-48;

- существенный прогресс в создании нейтринного телескопа гигантского объема «Байкал-ГВД»;

- выполнение основных работ по развитию реактора ИБР-2 и осуществлению в пол-

ном объеме предпроектных работ по созданию нового источника нейтронов ОИЯИ;

- интеграцию вычислительных ресурсов платформы HugiLIT, включая суперкомпьютер «Говорун», в распределительную среду обработки данных;

- развитие радиобиологических исследований;

- осуществление программ подготовки кадров, усилия по привлечению студентов к научно-исследовательской работе в ОИЯИ, по повышению квалификации и популяризации науки.

КПП принял во внимание объективно необходимое развитие проекта NICA в соответствии с рекомендациями научно-консультативных комитетов (МАС, ДАС, ПКК, Ученый совет) и решениями наблюдательного совета мегапроекта «Комплекс NICA», новые строительные нормативы, потребовавшие значительного изменения проекта здания для размещения тяжелоионного коллайдера NICA и соответствующего усложнения инфраструктуры, а также с учетом связанных с COVID-19 неблагоприятных внешних обстоятельств, повлиявших на стоимость и сроки реализации проекта, и согласился с необходимостью подписания дополнительного соглашения №5 к договору генерального подряда с АО «ШТРАБАГ» (договор №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 увеличением стоимости договора в соответствии с новой проектной документацией, получившей положительное заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России» № в ЕГРЗ 50-1-1-3-007355-2019 от 3 апреля 2019 г.; принял к сведению расчетное увеличение полной сметы проекта на 61,7 млн долларов США; согласился с представленной в проекте корректировкой сроков сдачи в эксплуатацию основных объектов комплекса NICA: бустера — 2020 г.; начальной конфигурации коллайдера — 2022–2023 г.; проектной конфигурации коллайдера — 2025 г. Обозначены также сроки создания экспериментальных зон и каналов выведенных пучков комплекса NICA — 2021 г., запуска первой очереди установки МРД — 2022 г., сдачи в эксплуатацию второй очереди установки МРД — 2025 г. Дата ввода в эксплуатацию начальной конфигурации детектора SPD будет определена после утверждения проекта.

КПП поддержал предложение дирекции Института об организации в 2021–2023 гг. работ по созданию в ОИЯИ межлабораторного международного Инновационного центра ядерно-физических исследований (Инновационного центра), основными задачами которого станут разработка и развитие технологий и методов в области ядерной и радиационной медицины, радиационного материаловедения, а также подготовка профессиональных кадров и повышение квалификации специалистов стран-участниц ОИЯИ в области радиационной биологии и медицинской физики. С учетом перспектив развития технологий радиационного материаловедения и прикладных исследований на пучках тяжелых ионов для стран-участниц ОИЯИ в рамках программы Инновационного центра КПП поддержал создание ускорителя-циклотрона ДЦ-140 в период 2021–2023 гг. и предложил дирекции представить проект создания Инновационного центра на сессии КПП в ноябре 2021 г.

КПП одобрил в целом предложенные дирекцией направления по корректировке Семилетнего плана в части реализации основных проектов Института и предложил представить итоговую редакцию скорректированного Семилетнего плана развития ОИЯИ на сессии КПП в марте 2021 г.

Заслушав и обсудив доклад и. о. руководителя Финансово-экономического управления Института М. П. Васильева «О проекте бюджета ОИЯИ на 2021 г., об ориентировочных взносах государств-членов ОИЯИ на 2022, 2023, 2024 гг.», КПП утвердил бюджет ОИЯИ на 2021 г. с общей суммой доходов и расходов 223 811,4 тыс. долларов США. КПП разрешил директору Института в 2021 г. вносить корректировки в бюджет ОИЯИ, включая корректировки статей расходов по заработной плате и международному сотрудничеству, в рамках утвержденного бюджета в соответствии с регламентом внесения корректировок в бюджет ОИЯИ.

КПП утвердил шкалу взносов государств-членов ОИЯИ на 2021 г. и согласился с включением в бюджет ОИЯИ на 2021 г. сумм взносов государств-членов ОИЯИ, относительно которых принято решение о приостановлении их членства, для сохранения установленных пропорций взносов государств-членов Института.

КПП утвердил взносы государств-членов ОИЯИ на 2021 г., а также выплату задолженности государств-членов в 2021 г. по уплате взносов в бюджет ОИЯИ.

КПП определил ориентировочные размеры бюджета ОИЯИ по доходам и расходам на 2022 г. в сумме 217,4 млн долларов США, на 2023 г. в сумме 222,8 млн долларов США и на 2024 г. в сумме 228,4 млн долларов США, а также ориентировочные взносы государств-членов ОИЯИ на 2022, 2023 и 2024 гг.

КПП постановил компенсировать в 2021 г. дефицит бюджета ОИЯИ, возникающий в случае невнесения взноса Корейской Народно-Демократической Республикой, за счет прочих доходов и поступлений бюджета ОИЯИ.

КПП утвердил бюджет по использованию целевых средств Российской Федерации, выделяемых в соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и ОИЯИ о создании и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA, на 2021 г. в сумме 3 787 442,7 тыс. рублей.

КПП одобрил сводную корректировку бюджета ОИЯИ на 2020 г. за 9 месяцев и разрешил директору Института проиндексировать окладную и тарифную части заработной платы членов персонала с учетом возможностей бюджета ОИЯИ на 2021 г. в соответствии с Коллективным договором ОИЯИ на 2020–2023 гг.

КПП одобрил направления использования средств Фонда стимулирования в 2021 г., предложенные дирекцией Института. Комитет обратился к полномочным представителям правительств с просьбой консолидировать средства для финансирования грантов полномочных представителей и программ сотрудничества Института с научными организациями и университетами государств-членов ОИЯИ на основных реализуемых научных проектах.

Заслушав и обсудив доклад председателя Финансового комитета А. Хведелидзе «Об итогах заседания Финансового комитета ОИЯИ от 19 ноября 2020 г.», КПП утвердил протокол заседания и поручил рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ и дирекции Института проанализировать использование правила нижних пределов взносов, применяемого при расчете взносов государств-членов, подготовить предложения по уточнению способа расчета нижних пределов взносов и представить на рассмотрение заседания Финансового комитета и сессии КПП в марте 2021 г.

Заслушав и обсудив доклад полномочного представителя Правительства Республики Узбекистан в ОИЯИ, президента Академии наук Республики Узбекистан Б. С. Юлдашева «О возобновлении полноправного членства Республики Узбекистан в ОИЯИ», КПП постано-

вил возобновить с 1 января 2021 г. полноправное участие Республики Узбекистан в ОИЯИ, а также списать текущую задолженность по взносам Республики Узбекистан в бюджет ОИЯИ за период с 2004 по 2020 г. в размере 3 271,1 тыс. долларов США (60 % от текущей задолженности) и утвердить график выплаты оставшейся части текущей задолженности Республики Узбекистан в бюджет ОИЯИ в размере 2 180,8 тыс. долларов США. КПП поручил рабочей группе при председателе КПП по финансовым вопросам совместно с полномочным представителем Правительства Республики Узбекистан и дирекцией Института проработать вопрос погашения реструктуризированной задолженности Республики Узбекистан, возникшей до 1 января 2002 г. в размере 1 051,7 тыс. долларов США, и задолженности, возникшей за 2002–2003 гг. в размере 1 081,8 тыс. долларов США, и представить предложения для рассмотрения на заседании

Финансового комитета и сессии КПП в ноябре 2021 г.

Заслушав и обсудив доклад директора аудиторской компании «Корсаков и Партнеры» Д. А. Корсакова «Об итогах проведения аудиторской проверки финансовой деятельности Института за 2019 г.», КПП утвердил аудиторское заключение и бухгалтерский отчет ОИЯИ за 2019 г., приняв к сведению план мероприятий по итогам проведения аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2019 г., подготовленный дирекцией Института.

КПП приветствовал инициативу полномочного представителя Правительства Республики Болгарии Л. Костова провозгласить 2021 г. годом Болгарии в ОИЯИ и представить подробный план мероприятий в Болгарии и в ОИЯИ на следующей сессии КПП в марте 2021 г.

СЕССИИ УЧЕНОГО СОВЕТА ОИЯИ

20–21 февраля состоялась 127-я сессия Ученого совета ОИЯИ под председательством директора Института В. А. Матвеева и профессора Национального института физики и ядерной технологии им. Х. Хулубея К. Борчи (Бухарест, Румыния).

В. А. Матвеев сделал всесторонний доклад, посвященный ключевым для ОИЯИ событиям 2019 г., решениям сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ в Ханое (Вьетнам) (ноябрь 2019 г.), состоянию приоритетных исследовательских программ ОИЯИ, деятельности в сфере подготовки кадров и повышению квалификации персонала в ОИЯИ, а также последним событиям в области международного сотрудничества Института.

Ученый совет заслушал доклады о ходе выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. по основным разделам и предложения по корректировке плана, представленные исполняющим обязанности вице-директора ОИЯИ, директором ЛФВЭ В. Д. Кекелидзе (проект NICA), вице-директором ОИЯИ Р. Ледницким (физика частиц), вице-директором ОИЯИ М. Г. Иткисом (ядерная физика) и вице-директором ОИЯИ Б. Ю. Шарковым (физика конденсированных сред, радиационная биология).

С докладами о рекомендациях программно-консультативных комитетов высту-

пили: И. Церруя (ПКК по физике частиц), М. Левитович (ПКК по ядерной физике), Д. Л. Надь (ПКК по физике конденсированных сред).

Ученый совет заслушал научный доклад «Международный год фундаментальных наук в интересах устойчивого развития в 2022 г.: статус и перспективы», представленный М. Спиро (Франция).

Были утверждены решения жюри о присуждении премий им. Н. Н. Боголюбова и им. Б. М. Понтекорво, а также о присуждении ежегодных премий ОИЯИ за лучшие научные, научно-методические и научно-технические прикладные работы.

На сессии состоялись выборы на должность директора ЛЯР и утверждение в должностях заместителей директора ЛРБ; объявлены вакансии на должности заместителей директора ЛЯР.

Общие положения резолюции. Заслушав доклад директора ОИЯИ В. А. Матвеева, Ученый совет поздравил ОИЯИ с активным участием в ключевых мероприятиях прошедшего международного года Периодической таблицы химических элементов, который завершился церемонией закрытия в Токио 5 декабря 2019 г. Достижения, представленные Институтом в рамках международного года, подчеркнули ведущую роль ОИЯИ в области

синтеза и изучения свойств новых сверхтяжелых элементов.

Ученый совет с удовлетворением отметил ввод в эксплуатацию бустера комплекса NICA и его успешный технологический пуск, состоявшийся 23 декабря 2019 г., а также проводимые работы по установке сверхпроводящего магнита MPD в ускорительном зале коллайдера NICA.

Ученый совет приветствовал подписание соглашений о совместной деятельности в рамках проекта NICA с пятью польскими и пятью мексиканскими исследовательскими центрами и университетами, а также актуализированное Соглашение между ОИЯИ и GSI об участии Германии в проекте NICA, подписанное сторонами во время Зимних чтений Объединения им. Гельмгольца в Москве 6 февраля 2020 г.

Ученый совет поздравил руководителей проекта NICA: И. Н. Мешкова с избранием действительным членом Российской академии наук и В. Д. Кекелидзе — членом-корреспондентом РАН.

Ученый совет одобрил ввод в эксплуатацию в 2019 г. пяти кластеров фотодетекторов в рамках проекта «Байкал-ГВД» — крупнейшего глубоководного нейтринного телескопа в Северном полушарии с эффективным объемом 0,25 км³, а также планы по установке двух дополнительных кластеров с 576 оптическими модулями в 2020 г. Ученый совет приветствовал координацию Министерством науки и высшего образования Российской Федерации совместной деятельности ОИЯИ и Института ядерных исследований РАН в рамках проекта «Байкал-ГВД».

Ученый совет отметил значительный прогресс, достигнутый в разработке концепции нового источника нейтронов в ОИЯИ, и ход работы в ЛНФ по модернизации и развитию ИЯУ ИБР-2, криогенных замедлителей и спектрометров, а также успешную реализацию программы пользователей ЛНФ, предоставляющей широкие возможности для исследований в области физики конденсированных сред и в смежных направлениях.

Ученый совет одобрил подписание соглашения между ОИЯИ и Госкорпорацией «Росатом» о сотрудничестве по отдельным аспектам реализации крупных проектов ОИЯИ, в том числе по созданию коллайдера комплекса NICA, развитию фабрики сверхтяжелых элементов, эксплуатации реактора ИБР-2 и созданию нового источника нейтронов ОИЯИ.

Ученый совет высоко оценил постоянное внимание дирекции ОИЯИ к работе по под-

готовке кадров и повышению квалификации персонала: начало работы новых диссертационных советов ОИЯИ на основе права Института самостоятельно присуждать ученые степени и защиту трех кандидатских диссертаций, а также начало реализации специализированного международного конкурса для стипендиатов ОИЯИ и первый год работы Дубненской инженерной школы на основе Соглашения о сотрудничестве между ОИЯИ, Государственным университетом «Дубна» и Московским государственным техническим университетом им. Н. Э. Баумана при поддержке правительства Московской области.

Ученый совет одобрил меры, предпринимаемые дирекцией ОИЯИ с целью обеспечения конкурентоспособного уровня заработной платы ученых, высококвалифицированных инженеров и специалистов Института.

Ученый совет приветствовал последние достижения в развитии международного сотрудничества ОИЯИ. В частности, Ученый совет отметил процесс восстановления полноправного членства Республики Узбекистан в ОИЯИ, подписание дорожной карты по сотрудничеству между ОИЯИ и Республикой Сербией, ход исполнения Совместной декларации о намерениях между ОИЯИ и ВМБФ, переговоры с участием ОИЯИ в рамках состоявшихся двух совещаний группы старших должностных лиц по глобальной сети исследовательских инфраструктур и по исследовательским инфраструктурам стран БРИКС.

О ходе выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. и предложениях по корректировке плана. Ученый совет принял к сведению доклады о ходе выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. Докладчики также представили предложения по корректировке плана, которые, в частности, касаются:

— графиков завершения создания и начала эксплуатации основных элементов комплекса NICA;

— Нейтринной программы (задача увеличения эффективного объема детектора «Байкал-ГВД» до 0,45 км³);

— проектных работ по новому экспериментальному корпусу (1-й класс) для исследований по химии сверхтяжелых элементов и проекта нового сепаратора;

— работ по тематике «Нейтронные и оптические методы исследований», относящейся к разделу плана «Физика конденсированных сред»;

РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

КОМИТЕТ ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ГОСУДАРСТВ-ЧЛЕНОВ ОИЯИ

Азербайджанская Республика	– Н. Тимур-оглы Мамедов	Республика Куба	– А. Диас Гарсиа
Республика Армения	– С. Арутюнян	Республика Молдова	– В. В. Урсаки
Республика Белоруссия	– А. Г. Шумилин	Монголия	– С. Даваа
Республика Болгария	– Л. Костов	Республика Польша	– М. Валигурски
Социалистическая		Российская Федерация	– В. Н. Фальков
Республика Вьетнам	– Ле Хонг Кхьем	Румыния	– Ф.-Д. Бузату
Грузия	– А. Хведелидзе	Словацкая Республика	– С. Дубничка
Республика Казахстан	– Е. А. Кенжин	Республика Узбекистан	– Б. С. Юлдашев
Корейская Народно-		Украина	– Б. В. Гринев
Демократическая Республика	– Ли Че Сон	Чешская Республика	– М. Вышинка

Финансовый комитет

По одному представителю от
каждой страны-участницы ОИЯИ

УЧЕНЫЙ СОВЕТ

Председатель – В. А. Матвеев
Сопредседатель – К. Борча (Румыния)
Ученый секретарь – А. С. Сорин

Ф. Азайез	– Южно-Африканская Республика	Ш. Нагиев	– Азербайджанская Республика
А. Апраамян	– Соединенные Штаты Америки	Д. Л. Надь	– Венгерская Республика
Ц. Баатар	– Монголия	Н. Нешкович	– Республика Сербия
У. Басслер	– Швейцария	И. Падрон Диас	– Республика Куба
Бом Хун Ли	– Республика Корея	И. Повар	– Республика Молдова
К. Борча	– Румыния	Г. Погосян	– Республика Армения
М. Будзыньски	– Республика Польша	С. Поспишил	– Чешская Республика
М. Валигурски	– Республика Польша	Э. Рабинович	– Израиль
И. Вильгельм	– Чешская Республика	В. А. Рубаков	– Российская Федерация
С. Галес	– Французская Республика	К. Русек	– Республика Польша
М. Гнатич	– Словацкая Республика	В. А. Садовничий	– Российская Федерация
Б. В. Гринев	– Украина	А. М. Сергеев	– Российская Федерация
П. Джубеллино	– Федеративная Республика Германия	М. Спиро	– Французская Республика
А. Дубничкова	– Словацкая Республика	Ч. Стоянов	– Республика Болгария
М. Ежабек	– Республика Польша	Г. Стратан	– Румыния
М. В. Здоровец	– Республика Казахстан	П. Фре	– Итальянская Республика
Г. М. Зиновьев	– Украина	Г. Хуухэнхуу	– Монголия
С. Я. Килин	– Республика Белоруссия	Р. Ценов	– Республика Болгария
М. В. Ковальчук	– Российская Федерация	Цзяньган Ли	– Китайская Народная Республика
Г. Лаврелашвили	– Грузия	Чан Дык Тхиеп	– Социалистическая Республика Вьетнам
П. В. Логачев	– Российская Федерация	Л. Чифарелли	– Итальянская Республика
А. Маджора	– Итальянская Республика	Х. Штёкер	– Федеративная Республика Германия
С. А. Максименко	– Республика Белоруссия	А.-И.Этьенвр	– Французская Республика
С. А. Маскевич	– Республика Белоруссия	Б. С. Юлдашев	– Республика Узбекистан
В. А. Матвеев	– Российская Федерация	Не назначен	– Корейская Народно-Демократическая Республика
И. Мних	– Федеративная Республика Германия		

Программно-консультативный комитет по физике частиц

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

Программно-консультативный комитет по ядерной физике

Председатель – М. Левитович (Франция)
Ученый секретарь – Н. К. Скобелев

Программно-консультативный комитет по физике конденсированных сред

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

СТРУКТУРА ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ДИРЕКЦИЯ

Директор В. А. Матвеев
Первый вице-директор Г. В. Трубников
Вице-директор С. Н. Дмитриев
Вице-директор В. Д. Кекелидзе
Вице-директор Р. Ледниcki
Вице-директор Б. Ю. Шарков
Главный ученый секретарь А. С. Сорин
Главный инженер Б. Н. Гикал

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова

Директор Д. И. Казаков

Исследования:

- свойств симметрии элементарных частиц
- структуры теории поля
- взаимодействий элементарных частиц
- по теории атомного ядра
- по теории конденсированных состояний

Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка

Директор В. Н. Швецов

Исследования:

- ядер методами нейтронной спектromетрии
- фундаментальных свойств нейтронов
- атомной структуры и динамики твердых тел и жидкостей
- высокотемпературной сверхпроводимости
- реакций на легких ядрах
- материалов методами рассеяния нейтронов, нейтронно-активационного анализа и нейтронной радиографии
- динамических характеристик импульсного реактора ИБР-2

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

Директор В. Д. Кекелидзе

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

Лаборатория информационных технологий

Директор В. В. Кореньков

Исследования:

- по обеспечению развития и функционирования компьютерно-сетевой инфраструктуры ОИЯИ
- оптимальных возможностей использования международных компьютерных сетей и информационных систем
- современных средств вычислительной физики, в области создания и развития стандартного математического обеспечения

Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Дзепелова

Директор В. А. Бедняков

Исследования:

- нейтрино и редких процессов
- сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий
- структуры ядер мезоатомных процессов и в области ядерной спектроскопии
- методов ускорения частиц
- прикладные, радиобиологические и медицинские

Лаборатория радиационной биологии

Директор А. Н. Бугай

Исследования:

- по радиационной генетике и радиобиологии
- по фоторадиобиологии
- по астробиологии
- по физике защиты от излучений
- по математическому моделированию радиационно-индуцированных эффектов

Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова

Директор С. И. Сидорчук

Исследования:

- свойств тяжелых элементов, слияния и деления сложных ядер, кластерной радиоактивности, реакций на изомерной мишени гафния
- реакций на пучках радиоактивных ядер, структуры нейтроноизбыточных легких ядер, неравновесных процессов
- взаимодействия тяжелых ионов с конденсированными средами
- методов ускорения частиц

Учебно-научный центр

Директор С. З. Пакуляк

Направления деятельности:

- образовательная программа для студентов старших курсов вузов
- подготовка студентами и аспирантами квалификационных работ
- проведение международных студенческих практик и школ
- пропаганда достижений современной науки
- повышение квалификации ИТР Института

Общеинститутские службы

- общеинститутские научные и информационные отделы
- административно-хозяйственные подразделения
- производственные подразделения

— работ по проекту «Прецизионная лазерная метрология для ускорителей и детекторных комплексов»;

— дальнейшего развития Многофункционального информационно-вычислительного комплекса.

Ученый совет одобрил эти предложения с условием информирования на будущих сессиях о дальнейшей реализации Семилетнего плана и внесенных корректировок, посоветовав изменить формат этих презентаций в будущем, чтобы оставить больше пространства для обсуждения.

О проекте Стратегического плана долгосрочного развития ОИЯИ. Ученый совет принял к сведению доклад международной рабочей группы по проекту Стратегического плана долгосрочного развития ОИЯИ, представленный директором ОИЯИ В. А. Матвеевым и вице-директором ОИЯИ Б. Ю. Шарковым, выразив благодарность международной рабочей группе за подготовку единого, интегрального документа на основе глубокого анализа материалов, представленных тематическими подгруппами, с описанием общей стратегии, ее флагманских проектов и приоритетов партнерства. Ученый совет обратил внимание рабочей группы на замечания и предложения, высказанные в ходе обсуждения на этой сессии.

Ученый совет рекомендовал Комитету полномочных представителей ОИЯИ принять представленный проект за основу и обратился к дирекции ОИЯИ с просьбой продолжить работу по стратегическому планированию в целях разработки Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. с учетом мнения государств-членов и точного определения их участия в крупных исследовательских проектах, а также необходимых кадровых и материальных ресурсов.

Инициатива ИЮПАП. Ученый совет с интересом заслушал доклад «Международный год фундаментальных наук в интересах устойчивого развития в 2022 г.: статус и перспективы», представленный президентом Международного союза теоретической и прикладной физики (ИЮПАП), членом Ученого совета ОИЯИ М. Спиро.

Предложение по международному году было разработано ИЮПАП при содействии и поддержке ЮНЕСКО, Международного совета по науке и его многочисленных членов и партнерских учреждений, включая Международный союз теоретической и прикладной хи-

мии. Ученый совет рекомендовал ОИЯИ активно поддержать эту инициативу.

Рекомендации в связи с работой ПКК. Ученый совет поддержал рекомендации, выработанные на сессиях программно-консультативных комитетов в январе-феврале 2020 г. и представленные председателем ПКК по физике частиц И. Церруя, председателем ПКК по ядерной физике М. Левитовичем и председателем ПКК по физике конденсированных сред Д. Л. Надем. Ученый совет просил дирекцию ОИЯИ учесть эти рекомендации при формировании Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 2021 г.

Физика частиц. С удовлетворением отметив, что все магниты бустерного синхротрона комплекса NICA уже установлены в кольце и начаты пусконаладочные работы, Ученый совет поддержал активную подготовительную работу к началу сборки коллайдера: испытание ВЧ-системы RF1 и работы по серийному производству магнитов коллайдера. Ученый совет отметил открытость отчета о развитии инфраструктуры в ЛФВЭ с указанием причин задержки в капитальном строительстве и предложением пересмотреть действующие процедуры закупок.

Ученый совет приветствовал усилия коллорабии MPD по разработке элементов детектора с целью завершения первого этапа строительства детектора и его ввода в эксплуатацию к 2021 г. Ученый совет одобрил усилия команды VM@N, предпринимаемые для завершения подготовки экспериментальной установки к сеансу с тяжелыми ионами в 2021 г.

Ученый совет высоко оценил успехи группы ОИЯИ в выполнении своих обязательств по проекту модернизации детектора ATLAS, в частности, продолжение серийного производства камер MicroMegas для нового малого колеса мюонного спектрометра. В согласии с ПКК Ученый совет повторно рекомендовал дирекции ОИЯИ рассмотреть возможность объединения двух проектов, один из которых посвящен физическому анализу, а другой — модернизации детекторов и научно-исследовательским разработкам, в один проект. Ученый совет одобрил рекомендацию ПКК о продолжении реализации проекта ATLAS в период 2021–2023 гг. с первым приоритетом.

Ученый совет высоко оценил усилия группы ОИЯИ в эксперименте ALICE по физическому анализу фоторождения легких векторных мезонов в ультрапериферических столк-

новениях Pb–Pb и впервые — фемтоскопических корреляций идентичных заряженных каонов в столкновениях p –Pb при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ ТэВ. Отметив вклад группы в поддержку и развитие анализа GRID–ALICE в ОИЯИ и в модернизацию фотонного спектрометра, Ученый совет призвал наращивать эти усилия и поддержал просьбу ПКК о том, чтобы группа представила на следующей сессии подробный поэтапный план своей будущей деятельности.

Ученый совет принял к сведению вклад группы ОИЯИ в эксперименте CMS в поиск дополнительных калибровочных бозонов и дополнительных измерений в димьюонном канале, а также недавние результаты по поиску дополнительных бозонов Хиггса, распадающихся на пару b -кварков и мюоны. Ученый совет высоко оценил работы, выполненные группой в рамках первого этапа проекта модернизации детектора, работу компьютерных центров Tier-1 и Tier-2 и регионального операционного центра CMS.

Ученый совет с удовлетворением отметил, что рекомендации ПКК участникам эксперимента NA64 по улучшению отношения ФТЕ к числу участников, привлечению студентов и участию в анализе данных полностью учтены в их пересмотренном предложении, и одобрил рекомендацию ПКК продолжить участие ОИЯИ в проекте NA64 в 2021–2023 гг. с первым приоритетом.

Ученый совет отметил, что пересмотренное предложение по эксперименту FASA не отвечает на критические замечания, высказанные на предыдущей сессии ПКК. Авторы не представили убедительных аргументов, доказывающих, что FASA является детектором, способным разрешить открытый вопрос о процессе мультифрагментации. Кроме того, детектор FASA имеет ограниченные возможности для полной реконструкции события в 4π -геометрии. Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК отклонить проект FASA.

Признавая научную значимость изучения процессов нарушения аромата заряженных лептонов для поиска новой физики, Ученый совет высоко оценил вклад ОИЯИ в эксперименты Mu2e, MEG-II и СОМЕТ и согласился с ПКК в том, что участие в трех разных экспериментах, конкурирующих между собой, с очень похожими научными целями не является полностью оправданным, поддержал предложение ПКК сосредоточить усилия и ресурсы на одном эксперименте и рекомендовал утвердить проект с тремя экспериментами на один год.

Ядерная физика. Ученый совет отметил, что Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка обладает хорошей перспективой дальнейшего развития научной программы по следующим направлениям: исследованию квантово-механических явлений с ультрахолодными и холодными нейтронами, изучению свойств нейтрона, изучению ядерных реакций, вызванных нейтронами, и прикладным исследованиям с использованием методов ядерной физики в рамках темы «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона». Ученый совет рекомендовал, чтобы приоритеты в этой теме были лучше сфокусированы. В частности, особое внимание следует уделить разработке ключевых технологий для нового источника нейтронов.

Ученый совет высоко оценил развитие работ, связанных с установкой ИРЕН, и рекомендовал более активно использовать выведенные пучки ИРЕН для проведения как фундаментальных, так и прикладных исследований с целью максимально эффективного использования времени работы установки.

Ученый совет разделил мнение ПКК о том, что работы по модернизации ускорителя ЭГ-5 в ЛНФ являются важными. При подготовке этого проекта следует четко определить проектные характеристики ускорителя в соответствии с приоритетами расширения научной программы, а также тщательно рассмотреть два варианта: модернизацию существующего ускорителя ЭГ-5 и покупку нового ускорителя с учетом риска, связанного с предлагаемым обновлением исследовательской базы лаборатории.

Основной целью работ по фабрике сверхтяжелых элементов ЛЯР в 2019 г. был ввод в эксплуатацию циклотрона ДЦ-280, включая получение всех необходимых разрешений на работу и вывод пучков тяжелых ионов с проектными параметрами. Официальный запуск циклотрона состоялся 25 марта 2019 г. Выведены пучки ионов ^{12}C , ^{40}Ar , ^{48}Ca и ^{84}Kr с интенсивностями несколько микроампер в пересчете на частицы (μA). В частности, интенсивность ускоренных ионов ^{48}Ca перед мишенью превысила 5 μA . Полная эффективность ускорения частиц достигла 51 %.

Сборка и наладка нового газонаполненного сепаратора ГНС-2 завершены, выполнены тестовые эксперименты с пучками ^{40}Ar и ^{48}Ca , которые были протраассированы до сепаратора, расположенного в экспериментальном зале. Эксперименты показали хорошее подавление фоновых событий. Проведены эксперименты на пучке ^{48}Ca с мишенями $^{e\text{st}}\text{Yb}$, ^{174}Yb и

^{206}Pb , где главной целью являлось определение трансмиссии сепаратора, а также стойкости мишеней при облучении высокоинтенсивными пучками тяжелых ионов. Синтез изотопов Mc в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$ будет первой тестовой реакцией для получения сверхтяжелых ядер. Ученый совет рекомендовал дирекции ЛЯР как можно быстрее завершить тестовые эксперименты и начать реализацию экспериментальной программы на фабрике СТЭ.

Синтез атомных ядер в реакциях многонуклонных передач с числом протонов до $Z = 102$ на кинематических сепараторах SHIP (GSI) и SHELS (ЛЯР ОИЯИ) показал, что эти реакции можно рассматривать как альтернативный путь получения самых тяжелых нейтронно-обогащенных ядер СТЭ. Ученый совет выразил надежду, что исследования реакций многонуклонных передач получат свое развитие после модернизации циклотронного комплекса У-400, где также планируется получить урановый пучок достаточной интенсивности.

Физика конденсированных сред. Ученый совет с удовлетворением отметил успехи в разработке концепции ДИН-IV — будущего источника нейтронов ОИЯИ. ПКК по физике конденсированных сред были детально рассмотрены две альтернативные концепции: импульсный нейтронный реактор ИБР-3 с активной зоной из ^{237}Np и управляемый ускорителем источник нейтронов с активной зоной из PuO_2 , обеспечивающий коэффициент размножения нейтронов порядка 20–50. Оба варианта были предметом предпроектной проработки в Научно-исследовательском и конструкторском институте энерготехники им. Н. А. Доллежалы (Москва). Сделанная в рамках этой проработки итоговая рекомендация, основанная на критериях достижимости необходимых характеристик нейтронов, ядерной безопасности, сложности проектирования, сроков и предполагаемых затрат, заключается в выборе варианта импульсного нейтронного реактора ИБР-3 с топливом из NpN . Этот вариант был избран в качестве рабочей концепции для создания ДИН-IV, и в ЛНФ была разработана подробная дорожная карта по реализации ДИН-IV.

Вместе с тем Ученый совет разделил озабоченность ПКК в отношении уровней фона новой установки, обратив внимание на исключительную важность достижения на ИБР-3 и его спектрометрах фоновых значений, соответствующих лучшим примерам мировой практики.

Также отмечено начало сотрудничества ОИЯИ с Высокотехнологическим научно-исследовательским институтом неорганических материалов им. А. А. Бочвара (Москва), нацеленного на разработку дорожной карты по изготовлению реакторного топлива из NpN .

Ученый совет одобрил большое количество научных результатов и новые методические разработки в области физики конденсированных сред на ИЯУ ИБР-2 в 2019 г. и наряду с ПКК считает деятельность, направленную на модернизацию спектрометров ИБР-2, важной для обеспечения конкурентоспособности научной программы ЛНФ как в отношении предоставления возможностей для внешних пользователей, так и для расширения области исследований.

Ученый совет одобрил регулярное отслеживание со стороны ПКК состояния исследований в области неупругого рассеяния нейтронов на ИЯУ ИБР-2 и представление на сессиях ПКК аналитических докладов о современных тенденциях в нейтронной спектроскопии и состоянии спектроскопии неупругого рассеяния нейтронов в ЛНФ. Принято к сведению заключение ПКК о том, что два рассмотренных на сессии ПКК спектрометра более не удовлетворяют требованиям части пользователей. В связи с этим Ученый совет поддержал работы по подготовке к открытию проекта разработки нового спектрометра неупругого рассеяния нейтронов с учетом того, что детальное предложение по новому проекту должно быть представлено на одной из будущих сессий ПКК.

Ученый совет принял к сведению информацию о создании установки нейтронной радиографии и томографии на реакторе ВВР-К Института ядерной физики в Алма-Ате (Казахстан) в сотрудничестве с ЛНФ и результаты этой деятельности, присоединившись к рекомендации ПКК начать реализацию предложенной исследовательской программы.

Отметив успешное завершение проекта «Создание открытой информационно-образовательной среды для поддержки приоритетных направлений исследований в области наук о материалах и структуре материи», Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК приступить к работе по новому проекту «Открытая информационно-образовательная среда поддержки фундаментальных и прикладных мультидисциплинарных исследований в ОИЯИ» в рамках темы «Организация, поддержка и развитие программы подготовки кадров в ОИЯИ» на 2021–2023 гг. с учетом потенциала нового проекта, выполнение которого

го поможет привлечь новое поколение исследователей в научные группы ОИЯИ.

Общие вопросы. Ученый совет настоятельно поддерживает рекомендацию ПКК по ядерной физике о том, чтобы все предложения по новым проектам, а также по продлению тем и проектов содержали полную информацию о необходимых финансовых и кадровых ресурсах и SWOT-анализ.

Доклады молодых ученых. Ученый совет с интересом заслушал доклады молодых ученых, которые были выбраны программно-консультативными комитетами для представления на данной сессии: «Детектирование нейтрино от сверхновых в режиме реального времени», «Изучение изотопов No с использованием детекторной системы GABRIELA», «Нейтронный активационный анализ как инструмент для оценки накопления наночастиц серебра в органах самок мышей и их потомства» и поблагодарил докладчиков А. С. Шешукова (ЛЯП), А. А. Кузнецову (ЛЯР) и И. Зиньковскую (ЛНФ) соответственно. Ученый совет будет приветствовать подобные избранные доклады в будущем.

Награды. Ученый совет поддержал предложение директора ОИЯИ В. А. Матвеева о выдвижении на премию Комитета полномочных представителей ОИЯИ коллектива сотрудников Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова под руководством Ю. Ц. Оганесяна за идею, разработку и успешную реализацию проекта ускорительного комплекса фабрики сверхтяжелых элементов как крупного достижения в создании научно-исследовательской инфраструктуры ОИЯИ мирового уровня, в результате чего открываются уникальные возможности в дальнейшем развитии одного из основных направлений научной программы ОИЯИ — синтеза и изучения свойств новых сверхтяжелых элементов.

Ученый совет утвердил решение жюри, представленное директором ОИЯИ В. А. Матвеевым, о присуждении премии им. Н. Н. Боголюбова:

— Д. И. Казакову (ОИЯИ) за выдающийся вклад в развитие квантовой теории поля, теории перенормировки и ренормгруппы, раскрывающих перенормировочные свойства суперсимметричных теорий поля, за пионерские работы по многопетлевым вычислениям в квантовой теории поля;

— Дам Тхань Шону (Кадановский центр теоретической физики Чикагского университета, США) за достижения в области кванто-

вой хромодинамики, приложений теории струн и дуальности между калибровочной теорией поля и гравитацией, затрагивающие основные вопросы сильно взаимодействующих систем многих тел, за новаторские работы по транспортным коэффициентам, таким как вязкость и проводимость, и по сильно связанным трехмерным калибровочным теориям.

Ученый совет утвердил решение жюри, представленное председателем жюри А. Г. Ольшевским, о присуждении премии им. Б. М. Понтекорво Ф. Джанотти (ЦЕРН) за ведущий вклад в экспериментальные исследования фундаментальных взаимодействий и открытие бозона Хиггса.

Ученый совет утвердил решение жюри, представленное вице-директором ОИЯИ Б. Ю. Шарковым, о присуждении ежегодных премий ОИЯИ за лучшие научно-исследовательские, научно-методические и научно-технические прикладные работы.

Ученый совет поздравил сотрудника ЛНФ из Монголии Ц. Цогтсайхана с успешной защитой диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в ОИЯИ и с вручением первого диплома кандидата наук, выданного на основании права ОИЯИ самостоятельно присуждать ученые степени.

Выборы, утверждение в должностях, объявление вакансий в дирекциях лабораторий ОИЯИ. Ученый совет избрал С. И. Сидорчука директором Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова (ЛЯР) сроком на пять лет. Ученый совет поблагодарил С. Н. Дмитриева за успешную работу, проделанную в качестве директора этой лаборатории.

Ученый совет объявил вакансии на должности заместителей директора ЛЯР. Утверждение в должностях решено провести на следующей сессии Ученого совета в сентябре 2020 г.

Ученый совет утвердил А. В. Борейко и А. В. Чинова в должностях заместителей директора Лаборатории радиационной биологии (ЛРБ) до окончания полномочий директора ЛРБ А. Н. Бугая.

Правила процедуры Ученого совета. Ученый совет обсудил изменения, предложенные рабочей группой членов совета в составе Р. Ценова, М. Валигурского, И. Вильгельма, в Положение о выборах директоров и об утверждении в должностях заместителей директоров лабораторий ОИЯИ, которые являются частью Правил процедуры Ученого совета

ОИЯИ, и принял решение продолжить рассмотрение проекта Положения совместно с дирекцией ОИЯИ на следующей сессии.

17 сентября в формате видеоконференции состоялась 128-я сессия Ученого совета ОИЯИ под председательством директора Института В. А. Матвеева и профессора Национального института физики и ядерной технологии им. Х. Хулубея К. Борчи (Бухарест, Румыния).

В. А. Матвеев сделал всесторонний доклад, посвященный работе Института в период пандемии COVID-19, решениям очередной сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ, состоявшейся в июне 2020 г. в формате видеоконференции, научно-техническим достижениям по основным направлениям деятельности Института, а также недавним событиям в области сотрудничества с институтами и организациями-партнерами ОИЯИ.

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

Было утверждено решение жюри о присуждении премии им. В. П. Дзелепова.

Состоялось утверждение в должностях заместителей директора ЛЯР.

Общие положения резолюции. Заслушав доклад директора ОИЯИ В. А. Матвеева, Ученый совет высоко оценил усилия дирекции ОИЯИ, предпринимаемые для обеспечения стабильной работы Института в условиях пандемии COVID-19, и меры по охране здоровья сотрудников ОИЯИ и принимаемых лиц.

Ученый совет отметил новые достижения в создании и развитии главных установок ОИЯИ, в частности:

— успехи в создании проекта класса мегасайенс «Комплекс NICA», включая уникальные технологические достижения и получение первых научных результатов, в том числе функционирование на регулярной основе наблюдательного совета по проекту NICA и комитета по анализу затрат и графикам работ по этому проекту, а также подписание ряда соответствующих соглашений о сотрудничестве ОИЯИ с Центром по изучению тяжелых ионов им. Гельмгольца (GSI, Германия), с Федеральным министерством образования и научных исследований (BMBWF, Германия) и с Министерством науки и технологий КНР;

— полную готовность ускорителя ДЦ-280 к проведению эксперимента первого дня,

включая подготовку мишени из америция-243, получение пучка кальция-48 высокой интенсивности, проведение серии тестовых экспериментов, а также старт нового межлабораторного проекта ЛЯР, ЛИТ и ЛТФ «Сверхтяжелые ядра и атомы: пределы масс ядер и границы Периодической таблицы Менделеева», поддержанного Министерством науки и высшего образования РФ в рамках конкурса грантов на реализацию крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития;

— увеличение эффективного объема детектора Байкал-ГВД, который после установки двух новых кластеров в феврале–апреле 2020 г. достиг величины $0,35 \text{ км}^3$, а также продолжение развития Нейтринной программы Института в целом с ее новыми научными результатами, полученными в экспериментах с участием ОИЯИ;

— развитие программы пользователей спектрометров ИБР-2 и усилия, предпринимаемые ЛНФ для удовлетворения запросов пользователей путем обновления графика работы ИБР-2, который был изменен ввиду ограничений, связанных с пандемией COVID-19;

— успехи в развитии Многофункционального информационно-вычислительного комплекса, включая недавно осуществленную интеграцию посредством системы DIRAC Interware основных вычислительных ресурсов ОИЯИ: грид-компонентов Tier-1 и Tier-2, суперкомпьютера «Говорун», кластера NICA, кластера Национального автономного университета Мексики и ресурсов хранения данных ОИЯИ.

Ученый совет одобрил новые инициативы относительно формата сотрудничества между ОИЯИ и ВМБФ, которые будут сосредоточены на трех ключевых направлениях, координируемых соответствующими руководящими комитетами: программа «Гейзенберг–Ландау», нейтронные исследования и программа для молодых ученых. Ученый совет отметил также ряд мероприятий и встреч, проведенных в рамках сотрудничества с Азербайджаном, Россией, Сербией, Францией, Южной Африкой, а также с ЦЕРН.

Ученый совет высоко оценил усилия, предпринимаемые дирекцией ОИЯИ по обеспечению конкурентоспособного уровня оплаты труда высококвалифицированного персонала ОИЯИ путем создания фонда стимулирования и разработки соответствующего положения о его использовании.

Ученый совет приветствовал подготовку дирекцией ОИЯИ плана мероприятий на

2021 г., посвященных празднованию 65-летия Института (26 марта 2021 г.) в ОИЯИ и странах-участницах.

Рекомендации в связи с работой ПКК.

Ученый совет принял к сведению рекомендации, выработанные на сессиях программно-консультативных комитетов в июне–июле 2020 г. и представленные председателем ПКК по физике частиц И. Церруя, председателем ПКК по ядерной физике М. Левитовичем и председателем ПКК по физике конденсированных сред Д. Л. Надем. Ученый совет просил дирекцию ОИЯИ учесть эти рекомендации при формировании Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 2021 г.

Физика частиц. Ученый совет с удовлетворением отметил, что, вопреки тяжелой ситуации с пандемией коронавируса, проект «Нуклотрон–НИСА», включая инфраструктуру ЛФВЭ, реализовывался без задержек и, в основном, в нужном темпе. В частности, несмотря на двухмесячный простой, испытания основных систем бустера были завершены и начата подготовка к запуску синхротрона бустера. Ученый совет разделил обеспокоенность ПКК по физике частиц по поводу отсутствия достаточной рабочей силы для строительства и испытания магнитов коллайдера и призвал руководство ОИЯИ предпринять необходимые шаги для решения этой проблемы. Ученый совет поддержал просьбу ПКК как можно скорее обеспечить максимально доступную энергию нуклотрона 4,5 ГэВ/нуклон.

Ученый совет высоко оценил усилия команды VM@N, направленные на модернизацию детектора для сеансов по физике тяжелых ионов, запланированных на 2021 г. и далее, а также на завершение анализа данных по короткодействующим корреляциям пар нуклонов в реакциях с обратной кинематикой, измеренных на нуклотроне.

Отмечены успехи в сборке и производстве большинства компонентов детектора MPD, предусмотренных его начальной конфигурацией, а также в производстве внутренней трековой системы. Вместе с ПКК Ученый совет обеспокоен задержкой в создании ESCAL и ее влиянием на выполнение физической программы, поскольку на первом этапе в настоящее время предусмотрена работа только половины детектора, а вторая половина ожидается на более позднем этапе. Ученый совет высоко оценил текущее состояние моделирования детектора и физических процессов при подготовке к первым пучкам ядер на MPD и приветство-

вал планы по активизации этих усилий. Поддержана рекомендация ПКК продлить проект MPD до конца 2025 г. с первым приоритетом.

Ученый совет призвал группу ОИЯИ в эксперименте COMPASS расширить свое участие в анализе данных и развивать совместные работы в физическом анализе, чтобы обеспечить научное признание двадцатилетней работы группы в этом проекте. По завершении проекта в 2022 г. группе следует проработать новые возможности, такие как участие в проектах MPD и SPD, где ее опыт, безусловно, очень необходим. Ученый совет одобрил рекомендацию ПКК о продлении проекта COMPASS-II до конца 2022 г. с первым приоритетом.

Ученый совет отметил, что проект TAIGA имеет солидную составляющую, обеспеченную внутренними ресурсами, и значительное международное участие. Группа ОИЯИ играет важную роль в сотрудничестве TAIGA по разработке и производству атмосферных черенковских телескопов изображений, но участие группы в анализе данных следует усилить. Публикация полученных группой методических результатов должна осуществляться более активно. Одобрена рекомендация ПКК продлить проект TAIGA до конца 2023 г. с первым приоритетом.

Ученый совет отметил высокое качество работы, выполненной группой ОИЯИ в экспериментах Daya Bay и JUNO. Группа внесла вклад во многие важные системы обоих детекторов, что было признано и отражено в структуре управления коллаборацией. Ученый совет поддержал планы по участию ОИЯИ в анализе данных эксперимента Daya Bay и в разработке, создании и вводе в эксплуатацию детектора JUNO. Одобрена рекомендация ПКК о продлении участия ОИЯИ в проекте JUNO до конца 2023 г. с первым приоритетом.

Принимая во внимание заметную роль группы ОИЯИ в эксперименте NOvA и планы ее дальнейшего продвижения в области передовых исследований по нейтринной физике в эксперименте DUNE, Ученый совет поддержал рекомендации ПКК продолжить участие ОИЯИ в NOvA и одобрить участие в DUNE до 2023 г. с первым приоритетом, а также поддержал просьбу ПКК к дирекции ОИЯИ предоставить необходимые ресурсы для проекта DUNE, чтобы гарантировать значимое участие группы, считая, что группа ОИЯИ должна играть роль плацдарма для будущего присоединения к проекту еще большего числа групп, связанных с ОИЯИ.

Ядерная физика. Ученый совет одобрил ход работ на фабрике сверхтяжелых элементов (СТЭ), рассмотренный ПКК по ядерной физике. В настоящее время на ускорителе ДЦ-280 испытана работа системы «flat-top», что привело к увеличению эффективности получения пучков тяжелых ионов. На газонаполненном сепараторе ГНС-2 создается система дифференциальной откачки, использование которой позволит проводить эксперименты на пучках ДЦ-280 предельно высокой интенсивности. Все запланированные ранее тестовые эксперименты завершены. Подготовлен первый эксперимент на фабрике СТЭ по получению изотопов московия в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$. Америциевая мишень установлена в мишенный узел и протестирована.

Ученый совет поддержал рекомендации ПКК по завершающейся теме «Совершенствование фазотрона ЛЯП (ОИЯИ) и разработка циклотронов для физических и прикладных исследований». Благодаря модернизации фазотрона и трактов пучков была обеспечена стабильная работа ускорителя в среднем 1000 ч в год, около 80% из которых потрачены на медицинские цели. Исследования по теме в основном фокусировались на разработке и совершенствовании циклотронов, используемых в адронной терапии. Наиболее важные работы проведены в сотрудничестве с Институтом ядерной физики Польской академии наук (Краков, Польша) по модернизации циклотрона АИЦ-144 и с Институтом физики плазмы Китайской академии наук (Хэфэй, КНР) по проектированию и созданию сверхпроводящего изохронного циклотрона SC200 для протонной терапии. Коллективом также разработан физический проект компактного сверхпроводящего циклотрона SC230, имеющего необходимый уровень магнитного поля при меньших размерах.

Ученый совет повторил рекомендацию ПКК для дирекции ЛЯП рассмотреть возможность продолжения коллективом деятельности в области разработки, создания и модернизации циклотронов в рамках одной из тем этой лаборатории. Ученый совет рекомендовал дирекции ОИЯИ в ближайшее время принять решение о биомедицинском исследовательском центре с соответствующим протонным ускорителем и вкладе ОИЯИ в будущий медицинский комплекс протонной терапии.

Ученый совет отметил важность для ОИЯИ и стран-участниц ускорителя ЭГ-5, так как требуется его дальнейшая модернизация или покупка нового ускорителя с аналогичными конструкторскими параметрами. По мне-

нию ПКК, наиболее эффективным решением с точки зрения затрат является модернизация этого ускорителя. Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК по подготовке и открытию проекта модернизации ЭГ-5 и сопутствующей экспериментальной инфраструктуры в рамках темы «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» с финансированием в рамках бюджета текущего Семилетнего плана развития ОИЯИ, начиная с 2021 г.

Ученый совет поддержал рекомендацию по открытию проекта «Измерение обычного мюонного захвата для проверки ядерных матричных элементов 2β -распадов (проект MONUMENT)» на 2021–2023 гг. с первым приоритетом. Целью данного проекта является проведение экспериментальных измерений мюонного захвата на нескольких дочерних, по отношению к кандидатам на двойной β -распад, ядрах. Постановка таких экспериментов важна для проверки точности теоретических расчетов ядерных матричных элементов. Измерения мюонного захвата будут проводиться на мезонной фабрике Института им. П. Шеррера (PSI) в Швейцарии.

Физика конденсированных сред. Ученый совет отметил результаты, достигнутые в направлении технического проектирования реактора ИБР-3 — будущего нового источника нейтронов ОИЯИ, а также начало сотрудничества Института с потенциальным производителем топлива для реактора. Подготовлено техническое задание на следующий этап проектирования нового источника нейтронов — разработку технического предложения; идет процесс заключения договора на данную работу.

Ученый совет одобрил продолжение работ по экспериментальному изучению и моделированию нейтронной фоновой обстановки на спектрометрах ИБР-2 и по поиску средств подавления фонов на выведенных пучках ИБР-2 и поддержал рекомендацию ПКК по физике конденсированных сред глубже проработать техническое задание для ИБР-3 и продолжить в ЛНФ работы по изучению и подавлению фона нейтронов на спектрометрах ИБР-2.

Ученый совет принял к сведению информацию о последних разработках, касающихся совместной установки для структурных исследований с использованием синхротронного рентгеновского излучения в Национальном центре синхротронного излучения SOLARIS и согласился с ПКК в том, что совместные усилия ОИЯИ и SOLARIS по созданию лабо-

ратории SOLCRYС позволят расширить набор подходов к исследованию конденсированных сред в ОИЯИ. Ученый совет разделил мнение ПКК о необходимости уделять пристальное внимание деталям проектирования лаборатории SOLCRYС.

Поддержаны рекомендации ПКК по темам и проектам, ранее одобренным к завершению в 2020 г., а также по новым темам и проектам. Эти рекомендации включают:

— закрытие темы «Исследования конденсированного состояния вещества с использованием современных методов нейтронографии» и открытие новой темы «Исследования функциональных материалов и наносистем с использованием рассеяния нейтронов» на 2021–2025 гг. вместе с новым проектом «Создание спектрометра неупругого рассеяния нейтронов в обратной геометрии на реакторе ИБР-2» на 2021–2023 гг.;

— закрытие темы «Развитие экспериментальной базы для проведения исследований конденсированных сред на пучках ИЯУ ИБР-2» и открытие новой темы «Научно-методические исследования и разработки для изучения конденсированных сред на нейтронных пучках ИБР-2» на 2021–2025 гг.; закрытие проектов ДОР и ДТМ, а также открытие нового проекта данной темы «Создание широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР» на 2021–2023 г.;

— закрытие проекта «Система нейтронного орегандо-мониторинга и диагностики материалов и интерфейсов для электрохимических накопителей энергии на ИЯУ ИБР-2»;

— продление темы «Современные тенденции и разработки в области рамановской микроспектроскопии и фотолюминесценции для исследований конденсированных сред» на период 2021–2023 гг.; закрытие проекта «Нано-биофотоника» и открытие нового проекта «Биофотоника» на 2021–2023 гг.;

— продление темы и проекта «Новые полупроводниковые детекторы для фундаменталь-

ных и прикладных исследований» и проекта ПАС на 2021–2023 г.;

— открытие нового проекта «Изучение радиопротекторных свойств белка Damage suppressor (Dsup) на модельном объекте *D. melanogaster* и культуре клеток человека НЕК293Т» на 2021–2022 гг. в рамках темы «Проведение медико-биологических и радиационно-генетических исследований с использованием различных типов ионизирующих излучений»;

— продление темы и проекта «Исследования биологического действия тяжелых заряженных частиц различных энергий» на 2021–2023 гг.

Ученый совет приветствовал продолжение деятельности в рамках темы «Методы, алгоритмы и программное обеспечение для моделирования физических систем, математической обработки и анализа экспериментальных данных», одобренной ПКК.

Утверждение в должностях заместителей директора ЛЯР. Ученый совет утвердил А. В. Еремина и Г. Каминьского в должностях заместителей директора Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флорова (ЛЯР) до окончания срока полномочий директора ЛЯР С. И. Сидорчука.

Награды и премии. Ученый совет утвердил предложение директора ОИЯИ В. А. Матвеева о присвоении звания «Почетный доктор ОИЯИ» И. Вильгельму (Чехия), М. Спиру (Франция) и И. Церруя (Израиль) за выдающийся вклад в развитие науки и подготовку молодых ученых.

Ученый совет утвердил решение жюри, представленное членом жюри В. Н. Швецовым, о присуждении премии им. В. П. Желепова Е. П. Шабалину (ЛНФ ОИЯИ) за разработку и создание на ИБР-2 единственного в мире гетерогенного криогенного замедлителя нейтронов.

ЗАСЕДАНИЕ ФИНАНСОВОГО КОМИТЕТА ОИЯИ

Заседание Финансового комитета состоялось 19 ноября в формате видеоконференции под председательством представителя Грузии А. Хведелидзе.

Финансовый комитет заслушал доклад директора Института В. А. Матвеева и рекомен-

довал КПП отметить успешное выполнение рекомендаций Ученого совета ОИЯИ, касающихся научных задач Института, а также работ по созданию и модернизации базовых установок ОИЯИ; поддержать деятельность дирекции Института по обеспечению исполнения задач текущего Семилетнего плана разви-

тия ОИЯИ; высоко оценить научные и научно-технические достижения Института по главным направлениям работ; принять к сведению и одобрить поправки в Положение о наблюдательном совете проекта «Комплекс сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA» по формированию состава наблюдательного совета, определению статуса и полномочий наблюдателя, порядку проведения заседаний и голосования; отметить развитие нового формата сотрудничества ОИЯИ с ВМБФ (Германия) в рамках трех автономных направлений: это программа «Гейзенберг–Ландау» по теоретической физике, нейтронная программа и программа молодых ученых; принять к сведению работу дирекции ОИЯИ, направленную на формирование плана мероприятий, посвященных 65-летию Института (26 марта 2021 г.), в ОИЯИ и странах-участницах.

По докладу главного ученого секретаря Института А. С. Сорина «О ходе выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг., а также предложению по корректировке Семилетнего плана» Финансовый комитет рекомендовал КПП высоко оценить подготовленный краткий отчет о ходе выполнения текущего плана развития ОИЯИ за 2017–2020 гг. и предложения по его корректировке на 2021–2023 гг., а также одобрить усилия дирекции ОИЯИ по реализации задач текущего семилетнего периода в части развития крупных объектов научно-исследовательской инфраструктуры и отметить большое количество выдающихся научных результатов и научно-технических разработок ОИЯИ в 2017–2020 гг.

Принимая во внимание развитие проекта NICA в соответствии с рекомендациями научно-консультативных комитетов ОИЯИ (МАС, ДАС, ПКК, Ученый совет) и решениями наблюдательного совета мегапроекта «Комплекс NICA», новые строительные нормы, потребовавшие значительного изменения проекта здания для размещения тяжелоионного коллайдера NICA и соответствующего усложнения инфраструктуры, а также с учетом неблагоприятных, связанных с COVID-19, внешних обстоятельств, повлиявших на стоимость и сроки реализации проекта, Финансовый комитет рекомендовал КПП принять к сведению расчетное увеличение полной сметы проекта NICA на 61,7 млн долларов США.

Финансовый комитет рекомендовал КПП одобрить предложенные направления корректировки Семилетнего плана и просить дирекцию ОИЯИ представить итоговую редакцию

скорректированного Семилетнего плана развития ОИЯИ на сессии КПП в марте 2021 г.

По докладу и.о. руководителя Финансово-экономического управления Института М. П. Васильева «О проекте бюджета ОИЯИ на 2021 г., об ориентировочных взносах государств-членов ОИЯИ на 2022, 2023, 2024 гг.» Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить бюджет ОИЯИ на 2021 г. с общей суммой доходов и расходов 223 811,4 тыс. долларов США, шкалу взносов государств-членов ОИЯИ на 2021 г., взносы и выплату задолженности государств-членов в 2021 г. по уплате взносов в бюджет ОИЯИ, а также согласиться с включением в бюджет ОИЯИ на 2021 г. сумм взносов государств-членов ОИЯИ, относительно которых принято решение о приостановлении их членства, для сохранения установленных пропорций взносов государств-членов Института.

Финансовый комитет рекомендовал КПП определить ориентировочные размеры бюджета ОИЯИ по доходам и расходам на 2022 г. в сумме 217,4 млн долларов США, на 2023 г. в сумме 222,8 млн долларов США и на 2024 г. в сумме 228,4 млн долларов США, а также ориентировочные суммы взносов государств-членов ОИЯИ на 2022, 2023 и 2024 гг.

Финансовый комитет рекомендовал КПП компенсировать в 2021 г. дефицит бюджета ОИЯИ, возникающий в случае невнесения взноса Корейской Народно-Демократической Республикой и Республикой Узбекистан за счет прочих доходов и поступлений бюджета ОИЯИ.

Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить бюджет по использованию целевых средств Российской Федерации, выделяемых в соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и ОИЯИ о создании и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA, на 2021 г. в сумме 3 787 442,7 тыс. рублей.

Финансовый комитет рекомендовал КПП одобрить сводную корректировку бюджета ОИЯИ на 2020 г. за 9 месяцев.

Финансовый комитет рекомендовал КПП разрешить директору Института проиндексировать окладную и тарифную части заработной платы членов персонала с учетом возможностей бюджета ОИЯИ на 2021 г. в соответствии с Коллективным договором ОИЯИ на 2020–2023 гг., а также одобрить направления использования средств Фонда стимулирования в 2021 г., предложенные дирекцией Института.

По докладу полномочного представителя Правительства Грузии в ОИЯИ А. Хведелидзе «Об итогах заседания рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ от 29 октября 2020 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП согласиться с предложением Правительства Республики Узбекистан и рассмотреть возможность возобновления с 2021 г. ее полноправного участия на следующих условиях:

а) Республика Узбекистан до сессии КПП в ноябре 2020 г. должна внести часть задолженности по уплате взносов в бюджет Института в размере 30,0 тыс. долларов США;

б) текущая задолженность по взносам Республики Узбекистан в бюджет ОИЯИ за период с 1 января 2004 г. по 30 сентября 2020 г. в размере 3 271,1 тыс. долларов США (60% от текущей задолженности) аннулируется;

в) Республика Узбекистан выплатит оставшуюся часть текущей задолженности в размере 2 180,8 тыс. долларов США в течение 20 лет в соответствии с графиком, утвержденным на сессии КПП в ноябре 2020 г.;

г) после возобновления ее полноправного участия в ОИЯИ Республика Узбекистан будет уплачивать ежегодный взнос в бюджет ОИЯИ в объеме, утвержденном КПП.

Финансовый комитет рекомендовал КПП рассмотреть вопрос погашения реструктуризированной задолженности, возникшей до 1 января 2002 г., в размере 1 051,7 тыс. долларов США и задолженности, возникшей за 2002–2003 гг., в размере 1 081,8 тыс. долларов США после возобновления полноправного участия Республики Узбекистан в ОИЯИ.

По докладу директора аудиторской компании «Корсаков и Партнеры» Д. А. Корсакова «Об итогах проведения аудиторской проверки финансовой деятельности Института за 2019 г. и анализе исполнения дирекцией Института Плана мероприятий по итогам проведения аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2018 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить аудиторское заключение и бухгалтерский отчет ОИЯИ за 2019 г.

СЕССИИ ПРОГРАММНО-КОНСУЛЬТАТИВНЫХ КОМИТЕТОВ

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

Председатель ПКК представил обзор выполнения рекомендаций предыдущей сессии ПКК. Вице-директор ОИЯИ Б. Ю. Шарков проинформировал ПКК о резолюции 126-й сессии Ученого совета (сентябрь 2019 г.) и о решениях КПП ОИЯИ (ноябрь 2019 г.).

ПКК заслушал доклад о разработке концепции нового источника нейтронов в ЛНФ, представленный В. Н. Швецовым, отметил результаты анализа двух альтернативных концепций ДИН-IV: импульсного нейтронного реактора ИБР-3 с активной зоной из ^{237}Np и управляемого ускорителем источника нейтронов с активной зоной из PuO_2 , обеспечивающего коэффициент размножения нейтронов порядка 20–50. В соответствии с итоговой рекомендацией, сделанной в рамках предпроектной проработки обоих вариантов силами НИКИЭТ им. Н. А. Доллежала (Москва) и основанной на критериях достижимости необходимых характеристик нейтронов, ядерной безопасности, сложности проектирования, сроков и предполагаемых затрат, рабочей концепцией

для ДИН-IV был избран импульсный нейтронный реактор ИБР-3 с топливом из NpN . ПКК поздравил дирекцию ЛНФ с определением рабочей концепции нового источника нейтронов и рекомендовал осуществить ее более глубокую проработку.

ПКК отметил начало сотрудничества ОИЯИ с Высокотехнологическим научно-исследовательским институтом неорганических материалов им. А. А. Бочвара (Москва), нацеленного на разработку дорожной карты по изготовлению реакторного топлива из NpN , а также приветствовал представление подробной дорожной карты создания ДИН-IV.

Заслушав информацию об основных научных и методических результатах исследований в области физики конденсированных сред на ИЯУ ИБР-2 в 2019 г., представленную Д. П. Козленко, ПКК отметил важность модернизации спектрометров ИБР-2 для обеспечения конкурентоспособности научной программы ЛНФ как в отношении предоставления возможностей для внешних пользователей, так и для расширения области исследований. ПКК высоко оценил представленные примеры новых научных и методических результатов, достигнутых на ИЯУ ИБР-2 в 2019 г.

ПКК рекомендовал авторам будущих докладов о новых спектрометрах ИБР-2 четко указывать на возможные угрозы и затруднения при разработке или модернизации каждой рассматриваемой установки. Требования соответствующего сообщества пользователей к конкретному спектрометру должны быть четко обоснованы, а актуальность соответствующих задач текущего Семилетнего плана развития ОИЯИ должна быть отражена в презентациях.

ПКК заслушал информацию, представленную Д. Худобой, о статистике программы пользователей ЛНФ, осуществляемой на спектрометрах ИБР-2, и поддержал дальнейшее развитие программы пользователей ЛНФ с включением в нее установки для нейтронного активационного анализа, а также рекомендовал рассмотреть возможность изменения периода подачи заявок на второй этап программы пользователей.

Заслушав доклады о современных тенденциях в нейтронной спектроскопии и состоянии спектроскопии неупругого рассеяния нейтронов в ЛНФ, представленные В. Зайонцем и Д. Худобой, ПКК отметил, что два спектрометра, упомянутые в докладах, более не удовлетворяют требованиям пользователей. ПКК принял к сведению ход работ по подготовке к открытию проекта разработки нового спектрометра неупругого рассеяния нейтронов на 2021–2023 гг., поддержал это намерение и выразил пожелание детального предложения по новому проекту на следующей сессии.

ПКК заслушал доклад, представленный К. Назаровым, о создании установки нейтронной радиографии и томографии на реакторе ВВР-К Института ядерной физики (Алма-Ата, Казахстан) в сотрудничестве с ЛНФ и принял к сведению характеристики основных компонентов установки, результаты первых тестовых экспериментов и рекомендовал начать реализацию предложенной исследовательской программы.

ПКК рассмотрел отчет о выполнении проекта «Создание открытой информационно-образовательной среды для поддержки приоритетных направлений исследований в области наук о материалах и структуре материи» и предложение нового проекта «Открытая информационно-образовательная среда поддержки фундаментальных и прикладных мультидисциплинарных исследований в ОИЯИ», представленные Ю. А. Панебратцевым. ПКК отметил результаты завершеного проекта, которые включают, в частности, создание системы онлайн-курсов по основным направлениям

исследований ОИЯИ и реализации проектов класса мегасайенс. Учитывая потенциал нового проекта, ПКК считает, что его выполнение поможет привлечь новое поколение исследователей в научные группы ОИЯИ. В связи с успешным завершением выполненного проекта ПКК рекомендовал его закрыть и открыть новый предложенный проект для выполнения в 2021–2023 гг.

ПКК с интересом заслушал следующие научные доклады: «Микроскопический механизм спонтанной поляризации в стронциевых гексаферритах», «Высокочувствительная регистрация молекул аналита при аттомолярной концентрации методом рамановской спектроскопии», «Сверхпроводниковая спинтроника на основе джозефсоновских наноструктур», «ПЭМ-анализ керамик, облученных тяжелыми ионами с энергиями осколков деления», «Структурная модификация углеродных материалов при облучении быстрыми тяжелыми ионами» и выразил благодарность докладчикам В. А. Турченко, Г. М. Арзуманяну, Ю. М. Шукринову, В. А. Скуратову и А. Олейничу за превосходные презентации.

ПКК принял к сведению информацию о международной конференции «Радиобиологические основы лучевой терапии» (17–18 октября 2019 г., Дубна), представленную И. В. Кошланем.

ПКК рассмотрел 15 стендовых сообщений молодых ученых в области физики конденсированных сред и связанных направлений. Лучшей работой на данной сессии было признано стендовое сообщение «Нейтронный активационный анализ как инструмент для оценки накопления наночастиц серебра в органах самок мышей и их потомства», представленное И. Зиньковской. ПКК также отметил высокий уровень двух других стендовых сообщений: «Синтез и исследование магнитных наночастиц типа «ядро-оболочка» для биоприменений», представленного А. Назаровой, и «Исследование внутренней структуры и атомной динамики фармацевтических соединений под воздействием высокого давления», представленного Н. А. Белозеровой.

51-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике состоялась 30–31 января под председательством профессора М. Левитовича.

Председатель ПКК представил краткое сообщение о выполнении рекомендаций предыдущей сессии. Вице-директор ОИЯИ М. Г. Иткис проинформировал ПКК о резолюции

126-й сессии Ученого совета и решениях КПП ОИЯИ.

ПКК заслушал доклад по теме «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона», сделанный Е. В. Лычагиным. В докладе были приведены научные результаты, полученные за последние месяцы, и перспективы дальнейшего развития работ по следующим направлениям: это исследование квантовомеханических явлений с ультрахолодными и холодными нейтронами, изучение свойств нейтрона; изучение ядерных реакций, вызванных нейтронами, прикладные работы с использованием ядерно-физических методов. ПКК отметил, что направления исследований в рамках темы развиваются успешно, а программа на 2020–2022 гг. достаточно обширна и актуальна. Вместе с тем ПКК рекомендовал сфокусировать приоритеты на основных направлениях темы, уделяя особое внимание разработке ключевых технологий для нового источника нейтронов, а также более активно использовать выведенные пучки ИРЕН для проведения как фундаментальных, так и прикладных исследований.

Заслушав доклад о планах по модернизации ускорителя ЭГ-5 А. С. Дорошкевича, ПКК счел работы по модернизации этого ускорителя важными как для поддержания и развития научного потенциала ЛНФ, так и для расширения области научных исследований. ПКК рекомендовал представить полный проект по ЭГ-5, в котором были бы рассмотрены два варианта: модернизация существующего ускорителя ЭГ-5 и покупка нового ускорителя, с учетом степени риска, связанного с предложением о модернизации.

ПКК заслушал предложение по открытию нового проекта BECQUEREL, представленное П. И. Зарубиным. Несмотря на то, что изучение фрагментации ядер с использованием ядерных эмульсий имеет долгую историю, этот метод в ряде исследований сохраняет многообещающие возможности. После длительной дискуссии ПКК рекомендовал представить обновленный проект на сессии Комитета в январе 2021 г.

ПКК заслушал доклады о статусе и планах работ на фабрике сверхтяжелых элементов (СТЭ), представленные В. А. Семиным (циклотрон ДЦ-280) и В. К. Утенковым (сепаратор ГНС-2).

Основными задачами 2019 г. являлись запуск циклотрона ДЦ-280, включая получение всех необходимых разрешительных документов на работы, и вывод пучков тяжелых ионов с проектными параметрами. На сегодня вы-

ведены пучки ионов ^{12}C , ^{40}Ar , ^{48}Ca и ^{84}Kr с интенсивностями несколько микроампер в пересчете на частицы ($\rho\mu\text{A}$). Завершены монтаж и запуск в эксплуатацию нового газонаполненного сепаратора (ГНС-2). Выполнена серия тестовых экспериментов по определению трансмиссии сепаратора с помощью альфа-частиц и продуктов реакции $^{\text{nat}}\text{Yb}(^{40}\text{Ar}, xn)^{207-212}\text{Ra}$. Эксперименты показали, что сепаратор обладает хорошим подавлением фоновых событий. С использованием сепаратора проведены эксперименты на пучке ^{48}Ca с мишенями из $^{\text{nat}}\text{Yb}$, ^{174}Yb , ^{170}Er и ^{208}Pb . Первым экспериментом по получению сверхтяжелых ядер будет синтез изотопов московия в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$.

ПКК рекомендовал ЛЯР быстрее завершить тестовые эксперименты и приступить к реализации экспериментальной программы на фабрике СТЭ.

ПКК заслушал доклад «Перспективы исследований реакций многонуклонных передач», сделанный А. В. Ереминым, о современном состоянии и планах исследований структуры тяжелых ядер, образующихся в реакциях многонуклонных передач. Синтез изотопов с числом протонов до $Z = 102$ в экспериментах на сепараторах SHIP (GSI) и SHELS (ЛЯР ОИЯИ) указывает на то, что реакции многонуклонных передач можно рассматривать как альтернативный путь для расширения карты ядер в область самых тяжелых изотопов. ПКК отметил, что, наряду с исследованиями новых изотопов, большое значение имеет изучение механизмов реакций многонуклонных передач, и полностью поддержал создание специализированной установки, нацеленной на комплексное изучение такого механизма. ПКК рекомендовал представить проект новой установки, нацеленной на измерение характеристик реакций многонуклонных передач и их тяжелых продуктов.

ПКК заслушал доклады «Реакции слияния в ядерной астрофизике» В. В. Саргсяна и «Исследование мгновенных нейтронов при делении ядер резонансными нейтронами» Ш. Зейналова.

ПКК ознакомился с презентацией 13 новых результатов и проектов в области ядерной физики, представленных молодыми учеными из ЛЯР. Были отмечены лучшие стендовые сообщения: «Изучение изотопов No с использованием детекторной системы GABRIELA» А. А. Кузнецовой, «Эффективный метод измерения функции возбуждения для (α, n) реакций при низких энергиях» Э. М. Газеевой и «Системы управления и сбора данных, исполь-

зубые для синтеза сверхтяжелых элементов, на экспериментальной установке ГНС-2» Л. Шлаттауэра. Доклад «Изучение изотопов No с использованием детекторной системы GABRIELA» был выбран для представления на сессии Ученого совета ОИЯИ в феврале 2020 г.

52-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 3–4 февраля под председательством профессора И. Церруя.

Председатель ПКК представил обзор выполнения рекомендаций, принятых на предыдущей сессии. Вице-директор ОИЯИ Р. Ледницки проинформировал ПКК о резолюции 126-й сессии Ученого совета и решениях КПП ОИЯИ.

ПКК принял к сведению доклады, представленные Б. Ю. Шарковым и Д. В. Наумовым, о ходе подготовки проекта Стратегического плана долгосрочного развития ОИЯИ по основным разделам и по разделам, касающимся физики элементарных частиц, физики тяжелых ионов и спиновой физики, и выразил пожелание получения информации об окончательном варианте стратегического плана.

ПКК с интересом заслушал доклад А. О. Сидорина о ходе реализации проекта «Нуклотрон–НИСА» и с удовлетворением отметил, что все магниты бустера установлены в кольце, начаты пусконаладочные работы, ведется активная подготовительная работа для начала сборки коллайдера.

ПКК высоко оценил открытость отчета о ходе работ по развитию инфраструктуры ЛФВЭ, представленного Н. Н. Агаповым, с указанием причин задержки в капитальном строительстве и предложением пересмотреть принятые в ОИЯИ процедуры закупок.

ПКК принял к сведению отчеты М. Н. Капишина и А. Кищеля о реализации проектов VM@N и MPD и одобрил усилия команд, предпринимаемые для развития и завершения создания экспериментальных установок.

ПКК принял к сведению планы модернизации детектора ATLAS, представленные А. П. Чеплаковым, оценив успехи группы ОИЯИ в продолжении серийного производства камер MicroMegas для нового малого колеса (NSW) мюонного спектрометра и вклад в разработку электроники считывания для жидкоаргонового адронного калориметра. Однако ПКК обеспокоен тем, что команда ОИЯИ разделена на две группы: группу, занятую модернизацией детектора, и группу, осуществ-

ляющую анализ данных. ПКК рекомендовал продолжить участие ОИЯИ в проекте модернизации ATLAS на период 2021–2023 гг. с первым приоритетом, повторив рекомендацию, данную на предыдущей сессии, рассмотреть возможность объединения двух проектов ОИЯИ, один из которых посвящен физическому анализу и операциям, а другой — модернизации детекторов и научно-исследовательским разработкам, в один проект.

ПКК с интересом заслушал обновленное предложение по эксперименту NA64, представленное Д. В. Пешехоновым, и рекомендовал продолжить участие ОИЯИ в проекте на период 2021–2023 гг. с первым приоритетом. ПКК с удовлетворением отметил, что план действий, запрошенный ранее у авторов для улучшения соотношения FTE и числа участников для привлечения студентов и участия в анализе данных, полностью выполнен.

ПКК принял к сведению предложение по эксперименту FASA, представленное С. П. Авдеевым и скорректированное с учетом критики, высказанной на предыдущей сессии ПКК, и рекомендовал отклонить данный проект, так как авторы не привели убедительных аргументов того, что детектор FASA способен разрешить открытый вопрос о процессе мультифрагментации.

ПКК с интересом заслушал предложение по новому проекту «Поиск новой физики в секторе заряженных лептонов», который включает в себя три эксперимента: Mu2e и MEG-II, представленные В. В. Глаголевым, и СОМЕТ, представленный З. Цамалаидзе. Признавая научную ценность изучения процессов нарушения аромата заряженных лептонов в качестве зондов для новой физики, ПКК, однако, считает, что участие в трех разных экспериментах с очень похожими научными целями и конкуренцией друг с другом не вполне оправданно. ПКК предложил авторам сосредоточить усилия и ресурсы на одном эксперименте, что обеспечит лучшие условия команде ОИЯИ для достижения более сильного влияния, значимости и лидерства в таком эксперименте. Осознавая сложность, связанную с таким решением, ПКК рекомендовал одобрить проект с тремя экспериментами на один год. Это должно дать участникам достаточно времени для согласования с директором ЛЯП и руководством ОИЯИ и принятия решения о долгосрочном участии в этом интересном физическом проекте.

ПКК принял к сведению представленный Е. П. Рогочая отчет о результатах, полученных группой ОИЯИ в эксперименте

ALICE на LHC и касающихся фоторождения легких векторных мезонов в ультрапериферических столкновениях Pb–Pb при 5,02 ТэВ и впервые — тождественных фемтоскопических корреляций заряженных каонов в p -Pb-столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ ТэВ, которые показали соответствие с предсказаниями гидродинамических моделей. ПКК высоко оценил работу группы ОИЯИ по физическому анализу и попросил представить на следующей сессии подробный план будущей деятельности с указанием основных этапов.

ПКК принял к сведению отчет о физических результатах, полученных группой ОИЯИ в эксперименте ATLAS на LHC, представленный Е. В. Храмовым. Участники группы продолжили анализ результатов определения структуры протона при сверхвысоких энергиях, поисков резонансов $Z\gamma$, $W\gamma$ и $H\gamma$ в конечных состояниях с энергичной струей и фотоном и процессов суперсимметрии, а также поисков валентноподобной непертурбативной компоненты тяжелых кварков в протоне. Группа ОИЯИ получила грант коллаборации ATLAS на разработку программного обеспечения для инфраструктуры индексирования триггеров событий и реализации нового механизма конфигураций для AthenaMT. ПКК одобрил планы группы продолжить данную работу и расширить свое участие в разработке программного обеспечения ATLAS.

Приняв к сведению информацию о новых результатах и текущей деятельности группы ОИЯИ в эксперименте CMS на LHC, представленную В. Ю. Алексахиним, ПКК высоко оценил вклад этой группы в поиск дополнительных калибровочных бозонов и дополнительные измерения в двухмюонном канале, недавние результаты поиска дополнительных бозонов Хиггса, распадающихся на пару b -кварков и мюоны, и измерение сечений рождения лептонных пар Дрелла–Яна, а также работу группы с детектором и его обслуживание, выполненные в рамках проекта модернизации FASA 1, при участии компьютерных центров Tier-1 и Tier-2, а также регионального операционного центра CMS.

ПКК рассмотрел 18 стендовых сообщений по проблемам физики частиц, подготовленных молодыми учеными ЛТФ, ЛФВЭ и ЛЯП, и выбрал сообщение «Обнаружение нейтринного сигнала сверхновой в режиме реального времени» А. С. Шешукова для доклада на сессии Ученого совета в феврале 2020 г.

52-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике состоялась 25 июня в формате видеоконференции под председательством профессора М. Левитовича.

Председатель ПКК представил краткое сообщение о выполнении рекомендаций предыдущей сессии. Вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев проинформировал ПКК о резолюции 127-й сессии Ученого совета (февраль 2020 г.) и решениях КПП ОИЯИ (июнь 2020 г.).

ПКК был проинформирован дирекцией ОИЯИ о назначении Г. В. Трубникова на должность первого вице-директора ОИЯИ, С. Н. Дмитриева на должность вице-директора ОИЯИ, Б. Ю. Шаркова на должность вице-директора ОИЯИ и С. И. Сидорчука на должность директора ЛЯР. ПКК пожелал им успешной работы на новых должностях, а также отметил плодотворную работу М. Г. Иткиса на посту вице-директора ОИЯИ и С. Н. Дмитриева на посту директора ЛЯР, внесших бесценный вклад в развитие ОИЯИ и лаборатории.

ПКК был проинформирован о состоянии дел на фабрике сверхтяжелых элементов ЛЯР. На ускорителе ДЦ-280 завершен монтаж и ведутся пусконаладочные работы системы «flat-top». На газонаполненном сепараторе ГНС-2 создается система дифференциальной откачки, использование которой в сочетании с системой «flat-top» позволит проводить эксперименты на пучках предельно высокой интенсивности ДЦ-280. Все запланированные ранее тестовые эксперименты завершены. Подготовлен первый эксперимент по получению изотопов московия в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$.

ПКК заслушал отчет о результатах работ в рамках завершаемой темы «Совершенствование фазотрона ЛЯП (ОИЯИ) и разработка циклотронов для физических и прикладных исследований», представленный Г. А. Карамышевой.

Благодаря проведенной в 2016–2020 гг. модернизации фазотрона и трактов пучков была обеспечена стабильная работа ускорителя в среднем 1000 ч в год, около 80% из которых использованы на медицинские цели. Исследования по теме в основном фокусировались на разработке и совершенствовании циклотронов для адронной терапии.

Важные работы проведены в сотрудничестве с Институтом ядерной физики Польской академии наук по модернизации циклотрона АИЦ-144 в Кракове и с Институтом физи-

ки плазмы Китайской академии наук (Хэфэй) по проектированию и созданию сверхпроводящего изохронного циклотрона SC200 для протонной терапии. В ОИЯИ был разработан физический проект компактного сверхпроводящего циклотрона SC230, имеющего меньшие размеры и необходимый уровень магнитного поля. Ускоритель SC230 может стать кандидатом для дальнейшей реализации медико-биологической исследовательской программы в ОИЯИ.

ПКК констатировал, что для выбора пути реализации современного протонно-терапевтического центра в ОИЯИ необходимо сформулировать четкие критерии, в соответствии с которыми может быть создан ускоритель для медицинских целей, в частности, конкретизировать количество пациентов, которое планируется принимать, и количество сеансов протонной терапии для них.

ПКК рекомендовал рассмотреть возможность продолжения коллективом активности в области разработки, создания и модернизации циклотронов, включая сотрудничество в области совершенствования медицинских циклотронов, в рамках одной из тем ЛЯП, а также рекомендовал дирекции ОИЯИ принять в ближайшее время решение относительно этого направления и поддержать работы по выбору оптимальной установки для протонной терапии.

ПКК заслушал доклад о планах по развитию ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры в ЛНФ, представленный А. С. Дорошкевичем. ПКК отметил исключительную важность ЭГ-5 для ОИЯИ и стран-участниц. В подготовленных материалах дано детальное сравнение двух технических решений, таких как модернизация существующего ускорителя ЭГ-5 и покупка нового ускорителя с аналогичными конструкторскими параметрами. Наиболее эффективным решением по материальным затратам является модернизация ускорителя ЭГ-5.

ПКК рекомендовал дирекции ЛНФ подготовить и открыть проект по модернизации существующего ускорителя и сопутствующей экспериментальной инфраструктуры в рамках темы «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» с финансированием в рамках бюджета текущего Семилетнего плана развития ОИЯИ, начиная с 2021 г.

ПКК заслушал предложение по открытию нового проекта «Измерение обычного мюонного захвата для проверки ядерных матричных элементов 2β -распадов» (проект

MONUMENT), внесенное Д. Р. Зинатулиной. Целью данного проекта является проведение измерений мюонного захвата на нескольких дочерних, по отношению к кандидатам на 2β -распад, ядрах. Постановка таких экспериментов важна для проверки точности теоретических расчетов ядерных матричных элементов. Измерения мюонного захвата будут проводиться на мезонной фабрике Института им. П. Шеррера (PSI) в Швейцарии. Заявка на эксперимент была рассмотрена и одобрена программным комитетом PSI, в 2020 г. предоставлено время на пучке для предварительного исследования на ^{136}Ba с дальнейшей программой измерений на три года. Предложенный проект является продолжением и расширением программы измерений обычного мюонного распада, реализованной ранее под руководством сотрудников ОИЯИ в период 1998–2006 гг. Участники проекта имеют необходимые знания и богатый опыт в прецизионной ядерной спектроскопии и реализации экспериментов, связанных с изучением не только редких процессов, но и мюонного захвата. ПКК рекомендовал открыть проект MONUMENT сроком на 2021–2023 гг. с первым приоритетом и обеспечить проект полным запрашиваемым финансированием.

53-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 29 июня в формате видеоконференции под председательством профессора И. Церруя.

Председатель ПКК представил обзор выполнения рекомендаций, принятых на предыдущей сессии, и отдельно остановился на резолюции 127-й сессии Ученого совета ОИЯИ, касающейся ПКК по физике частиц.

ПКК заслушал доклад о ходе реализации проекта «Нуклотрон–НИСА», представленный А. О. Сидориным. Испытания основных систем бустера завершены. ПКК приветствовал активную подготовку к запуску синхротрона бустера с пучком в августе 2020 г., но выразил обеспокоенность по поводу отсутствия достаточной рабочей силы для строительства и испытания магнитов, что может серьезно повлиять на общий график проекта НИСА.

ПКК одобрил успехи в развитии инфраструктуры ЛФВЭ, с которыми ознакомил Н. Н. Агапов. Несмотря на сложную эпидемиологическую ситуацию, все системы инфраструктуры развиваются без простоев и, в основном, необходимыми темпами.

ПКК отметил успешные результаты подготовки детектора VM@N к сеансам по физике

тяжелых ионов, запланированным на 2021 г., представленные М. Н. Капишиным, и рекомендовал команде $BM@N$ в ближайшее время опубликовать результаты, полученные с пучками C и Ag .

ПКК принял к сведению отчет о ходе реализации проекта MPD А. Кищеля и рекомендовал продлить проект до конца 2025 г. с первым приоритетом. ПКК приветствовал устойчивый прогресс в сборке и производстве большинства компонентов детектора MPD , предусмотренных в конфигурации первой ступени, выразив обеспокоенность по поводу задержки в создании $ESAL$ и ее влияния на выполнение физической программы. ПКК высоко оценил монте-карло-моделирование детектора и физических процессов при подготовке к первым пучкам ядер в MPD и приветствовал планы по ее активизации.

Приняв к сведению отчет по проекту «Изучение структуры нуклонов и адронов в ЦЕРН — проект $COMPASS-II$ », представленный А. П. Нагайцевым, ПКК призвал группу ОИЯИ расширить свое участие в анализе данных и развивать совместные работы в физическом анализе, чтобы обеспечить научное признание двадцатилетней работы группы в проекте $COMPASS$. По завершении проекта в 2022 г. группа должна изучить возможности участия в MPD и SPD , где ее опыт, безусловно, очень необходим. ПКК рекомендовал продлить проект $COMPASS-II$ до конца 2022 г. с первым приоритетом.

ПКК принял к сведению отчет по проекту «Астрофизические исследования в эксперименте $TAIGA$ » Л. Г. Ткачева и рекомендовал продлить проект $TAIGA$ до конца 2023 г. с первым приоритетом. Основной зоной ответственности группы ОИЯИ является проектирование атмосферного черенковского телескопа изображений (ИАКТ), изготовление и испытания механики. Третий телескоп был отправлен в Сибирь в апреле 2020 г., четвертый $IACT$ будет построен в 2021–2023 гг. ПКК призвал группу, в частности молодых исследователей, усилить свое участие в анализе данных, а также более активно публиковать методические результаты.

ПКК высоко оценил доклад об участии ОИЯИ в экспериментах $Daya Bay$ и $JUNO$, представленный Д. В. Наумовым. Группа ОИЯИ продолжит анализ нейтринных осцилляций и поиски стерильных нейтрино в эксперименте $Daya Bay$, а также внесет вклад в разработку, создание и ввод в эксплуатацию различных частей проекта $JUNO$: источников высокого напряжения, детектора Top

$Tracker$, новой испытательной станции для больших фотоумножителей, близкого детектора TAO , пакетов программного обеспечения для обработки данных и для проекта глобального анализа нейтрино (GNA). Ожидается, что дата-центр ОИЯИ станет одним из трех европейских центров, обрабатывающих данные эксперимента $JUNO$. ПКК отметил качество работы, выполненной группой ОИЯИ, и рекомендовал продолжить реализацию проекта $JUNO$ с первым приоритетом до конца 2023 г.

ПКК с интересом заслушал доклад об участии ОИЯИ в эксперименте $NOvA$ и новых результатах в исследовании нейтринных осцилляций, представленный А. Г. Ольшевским. С 2014 г. группа ОИЯИ внесла значительный вклад в эксперимент, члены команды активно участвуют в продолжающемся анализе осцилляций нейтрино, исследованиях сверхновых и атмосферных нейтрино и в поисках монополя Дирака, а также выполняют различные руководящие функции, связанные с организацией моделирования детекторов, координацией разработки программного обеспечения для офлайн-обработки данных и для DAQ , экспертной оценкой в DAQ , DDT и ROC .

Группа ОИЯИ представила свои планы в будущем нейтринном проекте $LBNF/DUNE$ в $Fermilab/SURF$, связанные с постепенным увеличением участия в этом крупном международном эксперименте, который, как ожидается, начнется после завершения $NOvA$. ПКК рекомендовал продолжить работу в $NOvA$ и одобрить участие в $DUNE$ до 2023 г. с первым приоритетом. ПКК призвал дирекцию ОИЯИ предоставить необходимые ресурсы для проекта $DUNE$, чтобы гарантировать значимое участие группы ОИЯИ, которая должна обеспечить плацдарм для будущего присоединения к проекту еще большего числа групп, связанных с ОИЯИ.

52-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред состоялась 2 июля в формате видеоконференции под председательством профессора Д. Л. Надя.

Приняв к сведению доклад о разработке концепции нового источника нейтронов в ЛНФ, представленный В. Н. Швецовым, ПКК отметил результаты технического проектирования реактора ИБР-3, а также начало сотрудничества ОИЯИ с потенциальным производителем топлива для реактора. Совместно с НИКИЭТ им. Н. А. Доллежала (Москва) под-

готовлено техническое задание на разработку технического предложения нового источника нейтронов. Группой отделов комплекса спектрометров и исследований конденсированных сред ЛНФ продолжена работа по экспериментальному определению, моделированию и поиску средств подавления фонов на выведенных пучках ИБР-2. ПКК рекомендовал глубже проработать техническое задание для ИБР-3 и продолжить работы по изучению и подавлению фона нейтронов на спектрометрах ИБР-2.

ПКК принял к сведению информацию о разработках установки для структурных исследований с использованием синхротронного рентгеновского излучения в Национальном центре синхротронного излучения SOLARIS, предоставленную Н. Кучеркой. Совместные усилия ОИЯИ и SOLARIS по созданию лаборатории SOLCRYS позволят расширить набор подходов к исследованию конденсированных сред в ОИЯИ. ПКК приветствовал прогресс в создании лаборатории SOLCRYS и рекомендовал уделять пристальное внимание деталям проекта.

Заслушав отчет по завершающейся теме «Исследования конденсированного состояния вещества с использованием современных методов нейтронографии» Д. П. Козленко, ПКК рекомендовал открыть новую тему «Исследования функциональных материалов и наносистем с использованием рассеяния нейтронов» на 2021–2025 гг.

ПКК поддержал предложение об открытии нового проекта «Создание спектрометра неупругого рассеяния нейтронов в обратной геометрии на реакторе ИБР-2» на 2021–2023 гг., внесенное Д. Худобой. Расчетные параметры нового спектрометра на два порядка лучше, чем у спектрометра NERA. Ожидается, что новый спектрометр с предлагаемыми параметрами будет конкурентоспособен по отношению к аналогичным приборам, уже существующим в ведущих европейских нейтронных лабораториях.

ПКК рекомендовал закрыть завершающуюся тему «Развитие экспериментальной базы для проведения исследований конденсированных сред на пучках ИЯУ ИБР-2», отчет по которой был представлен С. А. Куликовым, и открыть новую тему «Научно-методические исследования и разработки для изучения конденсированных сред на нейтронных пучках ИБР-2» на 2021–2025 гг. ПКК отметил, что все запланированные работы по завершающейся теме успешно выполнены. ПКК рекомендовал закрыть завершающиеся в рамках

этой темы проекты ДОР и ДТМ, представленные В. В. Кругловым и А. Н. Черниковым соответственно, а также открыть новый проект «Создание широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР» для реализации в 2021–2023 гг.

Рассмотрев письменный отчет о завершающемся проекте «Система нейтронного operando-мониторинга и диагностики материалов и интерфейсов для электрохимических накопителей энергии на ИЯУ ИБР-2», подготовленный М. В. Авдеевым, ПКК с удовлетворением отметил, что цели проекта по широкой адаптации методов нейтронного рассеяния и систем окружения образца для изучения эволюции структуры электрохимических интерфейсов и электродных материалов в режиме operando полностью достигнуты, и рекомендовал закрыть данный проект.

ПКК рекомендовал продлить тему «Современные тенденции и разработки в области рамановской микроспектроскопии и фотолюминесценции для исследований конденсированных сред», отчет по которой был дан Г. М. Арзуманяном, на 2021–2023 гг. С учетом успешного выполнения ПКК рекомендовал закрыть проект «Нанобиофотоника» и поддержал открытие нового проекта «Биофотоника» для выполнения в 2021–2023 гг.

Заслушав отчет по завершающейся теме и проекту «Новые полупроводниковые детекторы для фундаментальных и прикладных исследований» и предложение по их расширению, внесенное Г. А. Шелковым, ПКК рекомендовал продлить данные тему и проект на 2021–2023 гг.

ПКК рекомендовал продлить проект ПАС, отчет по которому был представлен К. Семяком, на 2021–2023 гг., с удовлетворением отметив прогресс в развитии метода ПАС в ЛЯП, включая создание системы реактивного ионного травления и разработку системы упорядочения потока позитронов на основе криогенного источника монохроматических позитронов (КРИМП).

ПКК рекомендовал открыть новый проект «Изучение радиопротекторных свойств белка Damage suppressor (Dsup) на модельном объекте *D. melanogaster* и культуре клеток человека НЕК293Т», представленный Е. В. Кравченко, для реализации в ЛЯП на 2021–2022 гг., отметив новизну предлагаемых в проекте исследований и высокий методологический уровень планируемых экспериментов.

ПКК рекомендовал продлить тему и проект «Исследования биологического действия тяже-

лых заряженных частиц различных энергий», отчет по которым был представлен А. Н. Бугаев, на 2021–2023 гг.

ПКК принял к сведению письменный отчет о ходе работ по теме «Методы, алгоритмы и программное обеспечение для моделирования физических систем, математической обработки и анализа экспериментальных данных» за 2019–2020 гг., подготовленный Г. Адамом, и

приветствовал дальнейшее продолжение рассмотренных направлений деятельности в рамках данной темы.

В качестве общей рекомендации ПКК предложил дирекции ОИЯИ рассмотреть возможность стимулирования молодых ученых с целью выдвижения ими инициативных проектов в области научных исследований и создания установок.



ПРЕМИИ И ГРАНТЫ

Премия им. Б. М. Понтекорво присуждена профессору К. Ниве (Университет Нагои, Япония) за разработку метода ядерных эмуль-

сий с высоким разрешением, который позволил обнаружить тау-нейтрино и непосредственно наблюдать их осцилляции.

ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ОИЯИ

За научно-исследовательские теоретические работы

Первые премии

«Планарная туннельная электроника на основе графена».

Авторы: В. Л. Катков, В. А. Осипов.

«Скалярные солитоны, бозонные звезды и черные дыры с полями материи».

Авторы: Ю. Кунц, И. Перапечка, Я. Шнир.

Вторая премия

«Масса нейтрино, двойной бета-распад и структура ядра».

Авторы: Ф. Шимковиц, А. Бабич, Р. Дворниcki, Х. Эжири, С. Коваленко, М. Криворученко, А. Сметана, Д. Штефаник, П. Фогель, Дж. Вергадос.

За научно-исследовательские экспериментальные работы

Первые премии

«Исследование вероятности образования и распада сверхтяжелых систем в зависимости от кулоновского фактора реакции $Z_1 Z_2$ при энергиях вблизи кулоновского барьера».

Авторы: Э. М. Козулин, А. А. Богачев, И. В. Воробьев, М. Г. Иткис, Ю. М. Иткис, Г. Н. Княжева, Д. Кумар, К. В. Новиков, А. Пан, И. В. Пчелинцев.

«Бесфоновый поиск безнейтринного двойного бета-распада Ge-76 в эксперименте GERDA».

Авторы: К. Н. Гусев, И. В. Житников, Д. Р. Зинатулина, А. А. Клименко, А. В. Лубашевский, Н. С. Румянцева, А. А. Смольников, М. В. Фомина, Е. А. Шевчик, М. В. Ширченко.

За научно-методические и научно-технические работы

Первая премия

«Измерение анализирующих способностей в нуклон-ядерном рассеянии в диапазоне импульсов от 1,75 до 5,4 ГэВ/с».

Авторы: О. П. Гавришук, Д. А. Кириллов, Я. Мушински, Ч. Пердрисат, Н. М. Пискунов, В. Пунджаби, П. А. Рукояткин, И. М. Ситник, Э. Томази-Густафссон, Р. А. Шиндин.

Вторые премии

«Разработка и программная реализация эффективных методов моделирования, реконструкции и анализа событий в установке MPD/NICA».

Авторы: В. А. Васендина, В. В. Воронюк, А. И. Зинченко, Д. А. Зинченко, В. А. Киреев, В. И. Колесников, А. А. Мудрох, Й. Айхелин, Е. Л. Братковская.

«Создание и применение новых экспериментальных методик на фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2».

Авторы: А. А. Безбах, М. С. Головков, А. В. Горшков, С. А. Крупко, И. А. Музалевский, Е. Ю. Никольский, Г. М. Тер-Акопьян, А. С. Фомичев, В. Худоба, Г. Каминьски.

За научно-технические прикладные работы

Первая премия

«Экспериментальные исследования и мультимасштабное моделирование структуры латентных треков в радиационно стойких диэлектриках».

Авторы: В. А. Скуратов, Р. А. Рымжанов, А. Е. Волков, А. Д. Ибраева, Н. С. Кирилкин, Н. Медведев, Ж. О'Коннелл, А. Янсе Ван Вуурен, Я. Ниитлинг, М. В. Здоровец.

Вторая премия

«Надатомная структура планарных и развитых электрохимических границ раздела для литиевых накопителей энергии по данным нейтронного рассеяния».

Авторы: М. В. Авдеев, В. И. Петренко, И. В. Гапон, А. И. Иванов, Е. Е. Ушакова, Е. Н. Косячкин, Д. М. Иткис, Л. В. Яшина, А. А. Рулев, Т. К. Захарченко.

Поощрительная премия

«Трехчастичная мягкая дипольная мода и ее приложения в астрофизике».

Авторы: Л. В. Григоренко, Ю. Л. Парфенова, Н. Б. Шульгина, М. В. Жуков.

«Разработка и создание координатных детекторов на основе тонкостенных дрейфовых трубок для эксперимента NA-64 в ЦЕРН».

Авторы: Е. В. Васильева, П. В. Волков, Ю. В. Гусаков, Т. Л. Еник, И. А. Жуков, Г. Д. Кекелидзе, В. А. Крамаренко, В. М. Лысан, Д. В. Пешехонов, А. В. Солин.

«Магнитный анализатор высокого разрешения МАВР для исследований характеристик ядерных реакций».

Авторы: В. А. Маслов, Ю. Э. Пенионжкевич, Д. Азнабаев, С. М. Лукьянов, Н. К. Скобелев, Ю. Г. Соболев, И. В. Колесов, С. В. Пашенко, Г. Г. Гульбекян, М. В. Хабаров.

ГРАНТЫ

В 2020 г. сотрудники Объединенного института ядерных исследований получили финансовую поддержку Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), Российского научного фонда (РНФ), Министерства науки и высшего образования РФ, Фонда развития теоретической физики и математики БАЗИС для реализации ряда научных проектов.

Российский фонд фундаментальных исследований профинансировал научные проекты ОИЯИ в рамках таких конкурсов, как «Конкурс проектов фундаментальных научных исследований» (19 проектов), «Конкурс научных проектов, выполняемых молодыми учеными (“Мой первый грант”» (8 проектов), «Конкурс на лучшие научные проекты, выполняемые молодыми учеными под руководством кандидатов и докторов наук в научных организациях РФ (“Мобильность”» (3 проекта), «Конкурс на лучшие проекты, выполняемые молодыми учеными (“Эврика! Идея”», проводимого совместно РФФИ и Фондом поддержки научно-проектной деятельности студентов, аспирантов и молодых ученых (“Националь-

ное интеллектуальное развитие”» (1 проект), «Конкурс на лучшие проекты по теме “Фундаментальные свойства и фазовые превращения адронной и кварк-глюонной материи: установка класса мегасайенс “Комплекс NICA” (“Мегасайенс — NICA”))» (10 проектов), «Конкурс на лучшие научные проекты междисциплинарных фундаментальных исследований» (2 проекта), «Конкурс ориентированных фундаментальных исследований по актуальным междисциплинарным темам» (1 проект), «Конкурс на лучшие проекты фундаментальных научных исследований по теме “Тяжелые ионы с ультрарелятивистскими энергиями”, проводимый совместно РФФИ и Национальным центром научных исследований Франции» (1 проект), «Конкурс на лучшие проекты фундаментальных научных исследований, реализуемых на базе лаборатории “Совместная лаборатория “под землей” на территории Европы”, проводимый совместно РФФИ и Национальным центром научных исследований Франции» (1 проект), «Конкурс на соискание финансовой поддержки для подготовки и опубликования научных обзорных статей (“Экспансия”» (2 про-

екта), «Конкурс на лучшие проекты фундаментальных научных исследований, выполняемые ведущими молодежными коллективами (“Стабильность”» (1 проект).

Ряд научных проектов ОИЯИ профинансирован РФФИ в рамках международных конкурсов совместно с перечисленными ниже организациями и госучреждениями: Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армения (1 проект), Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (2 проекта), Национальным научным фондом Болгарии (1 проект), Департаментом науки и технологии Правительства Индии (3 проекта), Государственным фондом естественных наук Китая (2 проекта), Министерством науки, технологии и окружающей среды Республики Кубы (1 проект), Министерством культуры, образования, науки и спорта Монголии (2 проекта), Немецким научно-исследовательским сообществом (2 проекта), Национальным центром научных исследований Франции (4 проекта).

Российский научный фонд профинансировал научные проекты ОИЯИ в рамках следующих конкурсов: «Проведение фундамен-

тальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (4 проекта); «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований международными научными коллективами» (2 проекта); «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» (3 проекта); «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» (1 проект); «Проведение исследований на базе существующей научной инфраструктуры мирового уровня» (5 проектов).

Министерством науки и высшего образования РФ профинансировано два проекта: «Создание опытной партии модулей для электромагнитного калориметра в составе экспериментальной установки многоцелевой детектор (MPD) на коллайдерном комплексе NICA» и «Сверхтяжелые ядра и атомы: пределы масс ядер и границы Периодической таблицы Д. И. Менделеева».

Фондом развития теоретической физики и математики БАЗИС по программе «Научная мобильность» профинансирован один проект по конкурсу «Visitor» («Приглашенный ученый»).

2020

**МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ
И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО**



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Основные итоги 2020 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 44 темам первого приоритета;

— для решения вопросов сотрудничества и участия в научных совещаниях и конференциях Объединенный институт командировал 655 специалистов;

— для совместных работ и консультаций, а также для участия в совещаниях, конференциях, школах в ОИЯИ было принято 240 специалистов;

— организовано и проведено 16 международных научных конференций и школ, 12 рабочих и 7 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 9 по 30 января в iThemba LABS (ЮАР) проходила вторая школа ОИЯИ–ЮАР с участием представителей Института. Школа была организована Южноафриканским институтом ядерных технологий и наук под общим руководством профессора Р. Ньюмана.

Участниками школы стали 32 студента и аспиранта из 13 южноафриканских университетов. С коротким приветственным словом к слушателям школы обратился руко-

водитель ОМС ОИЯИ Д. В. Каманин. Директор ЛТФ Д. И. Казаков прочитал лекцию о современной физике частиц, сотрудник ЛТФ Т. М. Шнейдман рассказал студентам о теоретических моделях атомных ядер. Ю. А. Панебратцев прочитал курс лекций «Детекторы и обработка сигналов в ядерных исследованиях». Сотрудники ЛФВЭ П. Д. Семчуков и К. В. Клыгина провели мастер-классы по обработке сигналов в ядерно-физических экспериментах и виртуальной лаборатории ядерного деления. Н. Е. Сидоров прочитал лекцию о коллайдерах и строящемся в ОИЯИ комплексе NICA. В. В. Белага и П. Д. Семчуков провели мастер-классы по анализу экспериментальных данных с использованием программного пакета ROOT. Сотрудник ЛЯП, заместитель директора УНЦ А. С. Жемчугов прочитал цикл лекций по монте-карло-моделированию процессов в экспериментах по физике частиц и провел мастер-классы по программному комплексу GEANT. Лекционную программу школы завершила лекция директора УНЦ С. З. Пакуляка об ОИЯИ и образовательных программах УНЦ для студентов.

В конце января по приглашению полномочного представителя Правительства Республики Узбекистан в ОИЯИ, президента Узбекской академии наук Б. С. Юлдашева сотрудники Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ М. В. Ляблин и А. М. Артиков посетили Ташкент для презентации прецизионного лазерного инклинометра (ПЛИ).

В Институте сейсмологии им. Г. А. Мавлянова Академии наук Узбекистана состоялся семинар-презентация ПЛИ, в ходе которого М. В. Ляблин сделал доклад «Новые методы регистрации микросейсмических колебаний».

На семинаре была отмечена уникальная чувствительность ПЛИ, его способность регистрировать низкочастотные угловые движения земной поверхности, а также принципиальная важность использования прибора в комплексе с общеизвестными методами прогноза землетрясений.

После семинара состоялась встреча с Б. С. Юлдашевым, в ходе которой было принято решение отправить в ОИЯИ двух сотрудников для обучения работе с ПЛИ и его дальнейшего обслуживания в сейсмических лабораториях Узбекистана.

29 января по приглашению дирекции ОИЯИ посетил председатель Президиума Дальневосточного отделения РАН академик В. И. Сергиенко. Он встретился с директором ОИЯИ академиком В. А. Матвеевым и обсудил вопросы развития сотрудничества научных центров Дальневосточного региона с Объединенным институтом.

Гость побывал в Лаборатории ядерных реакций, где ознакомился с ускорительным комплексом фабрики сверхтяжелых элементов, а также встретился с научным руководителем ЛЯР академиком Ю. Ц. Оганесяном, директором ЛЯР С. Н. Дмитриевым, заместителем директора А. Г. Попеко, начальником установки ДЦ-280 К. Б. Гикалом.

5 февраля ОИЯИ посетил советник посольства Республики Индии в РФ доктор Ш. Шротрия в сопровождении сотрудника политического отдела посольства В. Сингха.

Гости побывали на фабрике сверхтяжелых элементов и в наноцентре ЛЯР. В ЛНФ они ознакомились с исследовательским реактором ИБР-2, с установками РЕГАТА и ИРЕН.

В дирекции ОИЯИ гостей принял вице-директор Р. Ледницки. Во встрече участвовали начальник ОМС Д. В. Каманин, директор УНЦ С. З. Пакуляк, советник дирекции М. Ю. Туманова, начальник сектора ЛТФ С. Н. Неделько, а также индийские сотрудники Института. В ходе дискуссии стороны отметили высокий уровень существующего сотрудничества между Индией и ОИЯИ, выразили заинтересованность в дальнейшем его расширении, обсудив возможности развития взаимодействия в научной и образовательной сферах, а также отметили важность информирования научной общественности и официальных представителей Индии о современном состоянии ОИЯИ и возможностях кооперации.

14 февраля состоялось очередное заседание НТС ОИЯИ под председательством профессора Р. В. Джолоса.

В докладе В. Д. Кекелидзе о статусе проекта NICA были озвучены планы относительно основных объектов: ускорительного комплекса, включающего бустерный циклотрон и коллайдер, экспериментальных установок MPD, BM@N, компьютерного информационного комплекса, каналов и установок для прикладных инновационных исследований, а также программы научных исследований, которые, как отметил докладчик, постоянно корректируются в соответствии с их продвижением. В. Д. Кекелидзе подробно проинформировал членов НТС о ходе создания, монтажа и наладки элементов всех систем, о строительстве новых зданий, создании научно-инженерной и исследовательской инфраструктуры.

В. Д. Кекелидзе отметил, что в разработке программы научных исследований активно участвуют теоретики многих мировых научных центров, соавторы «Белой книги» NICA, российские ученые в рамках проектов РФФИ, члены международных коллабораций экспериментов BM@N, MPD и SPD. Подписаны соглашения с пятью мексиканскими университетами, меморандум об участии ряда организаций Польши в MPD, активизировано соглашение GSI-ОИЯИ. GSI координирует участие Германии в проекте NICA, вклад страны в этот проект составляет около 20 млн евро. С комментариями к докладу выступили Р. В. Джолос и В. А. Матвеев.

С докладом о разработке стратегии развития Института до 2030 г. на заседании выступил вице-директор ОИЯИ Б. Ю. Шарков, который является координатором международной рабочей группы, созданной в 2016 г. под председательством В. А. Матвеева с участием ведущих мировых экспертов и лидеров основных научных направлений ОИЯИ. Стратегический план развития ОИЯИ послужит основой как для разработки следующей семилетки, так и для принятия решений, ведущих ОИЯИ к новым научным достижениям в более долгосрочной перспективе. С материалами можно ознакомиться на сайте Indico.jinr.ru. В обсуждении доклада приняли участие С. Н. Неделько, Д. В. Пешехонов, Д. В. Наумов, И. Н. Мешков, Р. В. Джолос, В. А. Матвеев.

Председатель совета ОМУС А. Ю. Верхеев выступил с отчетом о деятельности Объединения молодых ученых и специалистов ОИЯИ, составленным на основе социологического опроса, анкетирования по научным показателям и письменным отчетам по грантам ОМУС за последние годы. Докладчик, в частности, предложил некоторые коррективы в систему грантовой поддержки, а также озву-

чил ряд общих вопросов, волнующих большую часть молодых ученых и специалистов: о возможности карьерного роста, материальном положении, условиях проживания, организации и условиях труда. А. Ю. Верхеев подчеркнул, что вопросы по привлечению кадров в Институт и удержанию талантливых и активных сотрудников должны решаться с наивысшим приоритетом.

Отчет ОМУС вызвал оживленную дискуссию, в которой приняли участие С. Н. Неделько, М. Гнатич, Б. Ю. Шарков, Д. В. Пешехонов, Ю. К. Потребеников, И. Н. Мешков, Г. Д. Ширков, А. В. Тамонов, А. С. Сорин, Р. В. Джолос. В. А. Матвеев поблагодарил докладчика за содержательное сообщение и выразил готовность дирекции всемерно помогать в решении затронутых проблем.

24–26 февраля в Дубне состоялось 1-е заседание комитета по анализу затрат и графику исполнения проекта «Комплекс NICA» (Cost and Schedule Review Committee, CSRC), сформированного в Институте по решению КПП ОИЯИ и наблюдательного совета проекта.

Комитет был создан для оказания консультативных услуг наблюдательному совету и КПП по вопросам, связанным с оценкой затрат и эффективности выполнения работ по проекту «Комплекс NICA». В составе комитета, который возглавил Ф. Феррони (INFN, Италия), — признанные специалисты в области физики высоких энергий и ускорительной физики: И. Мних (DESY, Германия), Л. Чифарелли (Университет Болоньи, Италия), Ф. Бордри (ЦЕРН), Л. Костов (Агентство по ядерному регулированию, Болгария), Э. Рабинович (Израиль), Л. Кравчук (ИЯИ РАН, Россия). В заседаниях комитета участвовали директор ОИЯИ В. А. Матвеев, руководитель проекта «Комплекс NICA» В. Д. Кекелидзе и соруководитель темы «Комплекс NICA» А. С. Сорин. В работе комитета приняли участие первый заместитель министра науки и высшего образования РФ Г. В. Трубников, руководитель дирекции проекта Р. Ледницки и заместитель руководителя проектного офиса Ю. К. Потребеников, главный бухгалтер С. Н. Доценко и заместитель руководителя ФЭУ ОИЯИ М. П. Васильев.

В первый день работы комитета участники заседания совершили экскурсию по объектам комплекса NICA. В ходе заседаний были заслушаны и обсуждены детальные сообщения руководителей основных подсистем и объектов комплекса, создание которых наме-

чено в рамках базовой конфигурации проекта в соответствии с проблемно-тематическим планом ОИЯИ и требованиями национального проекта РФ «Наука» до конца 2022 г. Особое внимание было уделено оценкам базовой стоимости проекта и эффективности затрат по проекту, планам реализации и эффективности их исполнения, эффективности инструментов и методов, используемых руководством и исполнителями проекта для мониторинга затрат и планирования работ, основным вопросам финансирования, в том числе связанным с техническими проблемами рисков в реализации проекта.

Комитет отметил значительный прогресс в реализации базовых элементов комплекса за последние два года, усилия, предпринятые руководством проекта и администрацией Института по финансовому и техническому обеспечению работ, а также высокое качество представленных на заседании материалов.

Особое внимание комитет обратил на необходимость организации офиса проекта с четко определенными личными обязанностями его членов по созданию и мониторингу графиков реализации проекта, логистики, бюджета, безопасности и контроля качества поставляемого оборудования и выполненных работ, определения критических объектов базовой конфигурации комплекса, разработки плана минимизации и смягчения рисков для его критических объектов. Комитет подчеркнул, что оценку прогресса в реализации проекта необходимо проводить не реже, чем раз в три месяца. 26 февраля на закрытом заседании комитета были сформулированы решения и рекомендации в адрес наблюдательного совета проекта «Комплекс NICA» и КПП ОИЯИ.

25–27 февраля проходил визит в ОИЯИ проректора Университета Претории (ЮАР) Т. Купе с делегацией, в состав которой вошли директор по международному сотрудничеству С. Мокодуве, директор по развитию исследовательского потенциала Р. Рамутар-Приешл, руководитель департамента физики К. Терон, а также профессора департамента физики Ц. Хлтшвайо и С. Ракитянский.

Визит делегации совпал с проведением 15-й Международной стажировки для научно-административного персонала «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-15), участие в которой позволило гостям более подробно познакомиться с Объединенным институтом, развитием его научной инфраструктуры и актуальными научными исследованиями.

27 февраля состоялась встреча делегации с дирекцией ОИЯИ — вице-директорами М. Г. Иткисом, Р. Ледницким и главным ученым секретарем А. С. Сориним. Со стороны ОИЯИ во встрече приняли участие координатор по сотрудничеству с ЮАР, начальник ОМС Д. В. Каманин, заместитель директора УНЦ А. С. Жемчугов и координатор группы ученых ЮАР в ОИЯИ А. Россоу. В ходе беседы было отмечено динамичное развитие научных связей ОИЯИ с научными центрами и вузами ЮАР, а также обсуждены практические шаги по углублению кооперации между Университетом Претории и Объединенным институтом. По итогам встречи было подписано соглашение о сотрудничестве в области проведения научных исследований и подготовки научно-технических кадров.

2 марта в здании Президиума Национальной академии наук Азербайджана (НАНА) состоялось открытие рабочего совещания «Перспективы сотрудничества с евразийскими государствами-членами ОИЯИ».

В состав делегации Объединенного института, возглавляемой директором ОИЯИ академиком В. А. Матвеевым, вошли директор ЛНФ В. Н. Швецов, заместитель директора ЛЯП Д. В. Наумов, начальник сектора научного отдела вычислительной физики ЛИТ В. П. Гердт, заместитель руководителя финансово-экономического управления ОИЯИ М. П. Васильев, заместитель начальника отдела международных связей ОИЯИ А. А. Котова. Со стороны ОИЯИ в мероприятии также принимали участие полномочный представитель Правительства Республики Казахстан в ОИЯИ Е. А. Кенжин и руководитель национальной группы Республики Узбекистан в ОИЯИ главный научный сотрудник ЛЯП А. Х. Иноятов.

Представительство Республики Азербайджан на открытии совещания возглавил президент НАНА академик Р. Мехтиев. В мероприятии участвовали вице-президент НАНА И. С. Гулиев, полномочный представитель Правительства Азербайджана в ОИЯИ Н. Т. Мамедов, а также руководители различных научных учреждений Азербайджана.

Российская Федерация была представлена первым заместителем министра науки и высшего образования Г. В. Трубниковым, Азербайджанская Республика — заместителем министра образования Ф. И. Гурбановым.

Участники совещания обсудили актуальный статус сотрудничества Объединенного

института и Республики Азербайджан, пути и возможности его развития. По итогам обсуждения состоялось подписание четырехстороннего соглашения о сотрудничестве, участниками которого являются Институт физики Национальной академии наук Азербайджана, Бакинский государственный университет, Объединенный институт ядерных исследований и Институт ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан.

20–21 апреля в ЛФВЭ в режиме видеоконференции проходило 5-е коллаборационное совещание эксперимента VM@N на установке NICA.

В ходе совещания были рассмотрены последние результаты, полученные с использованием пучков С и Аг. Основное внимание было уделено набранным в углерод-ядерных взаимодействиях данным для подготовки к публикации в реферируемых журналах. Также обсуждался статус результатов, полученных при анализе данных по аргон-ядерным взаимодействиям. Были рассмотрены планы по проведению исследований в области физики тяжелых ионов. На отдельном заседании 20 апреля обсуждались организационные вопросы коллаборации VM@N.

23–24 апреля в ЛФВЭ в формате онлайн-конференции работало 5-е коллаборационное совещание эксперимента MPD на установке NICA, основной целью которого была оценка уровня готовности детектора, включая разработку программного обеспечения, обсуждение физических задач и результатов, полученных коллаборацией, а также рассмотрение текущих организационных вопросов MPD.

Совещание включало в себя сессии по физике и по готовности детектора, открытые для всех участников коллаборации MPD, а также закрытое заседание руководящего состава коллаборации MPD.

27 апреля в формате видеоконференции состоялось 42-е заседание комитета «Россия–ЦЕРН» — первое после вступления в силу нового Соглашения между Правительством РФ и ЦЕРН о научно-техническом сотрудничестве. Делегацию ЦЕРН возглавляла ее генеральный директор Ф. Джанотти; сопредседателем комитета со стороны России стал заместитель Министра науки и высшего образования РФ С. В. Люлин. От ОИЯИ во встрече принимали участие директор ОИЯИ академик В. А. Матвеев, вице-директор ОИЯИ академик Б. Ю. Шарков и вице-директор ОИЯИ директор ЛФВЭ член-корреспондент РАН В. Д. Кекелидзе.

Стороны детально обсудили вопросы участия Российской Федерации во второй фазе модернизации ЛНС и создании ЛНС высокой светимости, совместного технического обслуживания и эксплуатации детекторов коллайдера и другие практические вопросы.

Делегацией ЦЕРН были представлены дальнейшие шаги по формированию Европейской стратегии физики частиц. Члены российской делегации проинформировали о ходе имплементации инициатив Российской Федерации по развитию крупной исследовательской инфраструктуры класса мегасайенс в рамках национального проекта «Наука», в частности, проекта NICA. Б. Ю. Шарков представил комитету стратегию развития Института до 2030 г. и в последующий период.

27–29 мая состоялась 11-я сессия экспертного комитета по ускорителям проекта NICA (Machine Advisory Committee — МАС), проведенная в режиме видеоконференции. Несмотря на то, что членами МАС являются специалисты из Японии, Европы и США, было выбрано приемлемое для всех время проведения заседаний.

В заседаниях комитета приняли участие директор ОИЯИ В. А. Матвеев, первый вице-директор Г. В. Трубников, вице-директор Б. Ю. Шарков, руководитель проекта «Комплекс NICA» В. Д. Кекелидзе и соруководитель темы «Комплекс NICA» А. С. Сорин.

В ходе заседаний были представлены 13 докладов. В. Д. Кекелидзе ознакомил с организационной структурой проекта NICA и проинформировал членов МАС о результатах первого заседания Комитета по оценке расходов и графика реализации проекта «Комплекс NICA», проведенного в Дубне 24–26 февраля 2020 г. Состояние работ по вводу в эксплуатацию бустера NICA было основной темой доклада начальника ускорительного отделения ЛФВЭ А. В. Бутенко. Специалистами ОИЯИ и их коллегами из ИЯФ им. Г. И. Будкера были представлены доклады, посвященные основным системам и элементам ускорительного комплекса. Специально для МАС при поддержке научно-информационного отдела ОИЯИ было подготовлено несколько обзорных видеоматериалов.

В июне вышел в свет первый выпуск информационного бюллетеня «NICA Bulletin». Наличие периодической информации по флагманскому международному проекту ОИЯИ «Комплекс NICA» востребовано странами-участницами ОИЯИ, международными коллаборациями проекта и на-

учной общественностью. В бюллетене найдут отражение наиболее значимые события, связанные с реализацией проекта «Комплекс NICA». Руководитель дирекции проекта NICA — Г. В. Трубников, руководитель проекта NICA — В. Д. Кекелидзе.

Первый бюллетень подготовлен при активном участии А. В. Бутенко, Н. А. Молокановой, Д. В. Пешехонова, Ю. К. Потребеникова, А. Ю. Рассадовой и А. О. Сидорина. Выход следующего номера «NICA Bulletin» был запланирован на октябрь 2020 г.

15 июня в режиме видеоконференции состоялось расширенное собрание совета землячеств, в котором приняли участие представители дирекции ОИЯИ, стран-участниц, руководители землячеств и подразделений Института.

С приветственным словом к участникам обратился директор ОИЯИ В. А. Матвеев. Он поблагодарил присутствующих за активную работу и подчеркнул, что руководство Института прилагает все усилия, чтобы создать атмосферу, которая помогала бы представителям стран-участниц чувствовать себя комфортно вдали от дома.

Г. Стифоров выступил с отчетной презентацией о ходе реализации проекта клуба МС2. В обсуждении итогов этой работы приняли участие члены дирекции ОИЯИ, представители ряда подразделений и руководители землячеств.

Результаты анкетирования землячеств по вопросам пребывания не российских сотрудников в ОИЯИ представил помощник руководителя УНОРиМС В. Хмелевски. 125 сотрудникам была направлена анкета, состоящая из 25 вопросов, каждый из которых относился к определенной сфере деятельности и был связан с информацией об ОИЯИ в их стране, процедурой выезда из страны на работу в ОИЯИ, лабораторной проходной, рабочим местом, исследовательской установкой, столовой и буфетами, отношением с другими сотрудниками, зарплатой, повышением квалификации, использованием грантов, местом проживания, детскими учреждениями, медобслуживанием, пенсионным страхованием и налогами, культурной жизнью, спортом и т. д. Получено более 2,5 тыс. отзывов, подлежащих анализу.

С информацией руководства Института о праздновании 65-летия ОИЯИ и предстоящем заседании КПП выступил Д. В. Каманин. Здесь же был затронут вопрос наполнения нового сайта ОИЯИ. Главный ученый секретарь А. С. Сорин призвал институтское со-

общество способствовать наполнению и усилению информационного поля о деятельности Института.

27 июня открылся фестиваль технологий и науки GEEK PICNIC в новом для него онлайн-формате. Площадка юбилейного мероприятия в этом году была отведена теме «Мультивселенная» — присутствию в других пространствах, исследованию параллельных реальностей и погружению в иные миры.

ОИЯИ продолжил традицию участия в фестивале, представив различные мероприятия на своем виртуальном стенде. Работа стенда была организована группой социальных коммуникаций УНЦ ОИЯИ. Лекцию о нейтринно как ключе к познанию тайн природы прочитал доктор физико-математических наук, заместитель директора ЛЯП Д. В. Наумов, ответственный за нейтринную программу ОИЯИ. Слушатели узнали не только об особенностях частицы-призрака, но и о последних новостях, связанных с созданием глубоководного нейтринного телескопа на озере Байкал.

Старший инженер ЛФВЭ Д. О. Понкин в режиме онлайн провел для гостей мастер-класс по проектированию печатной платы и программированию электроники, схожей с той, которая используется для ускорителей заряженных частиц.

С познавательной лекцией о голографической дуальности и черных дырах на виртуальном стенде Института выступила старший научный сотрудник ЛТФ А. А. Голубцова.

Видеоэкскурсию в Лабораторию радиационной биологии провел научный сотрудник сектора радиационной физиологии ЛРБ Ю. С. Северюхин. Он показал, как проводятся поведенческие эксперименты на мелких лабораторных животных, как исследуют влияние космической радиации на мышей и крыс, ответил на вопросы слушателей онлайн.

«Мультивселенная» фестиваля GEEK PICNIC Online объединила на своей площадке множество посетителей, среди которых были как физики, так и фанаты компьютерных игр, научно-популярные блогеры и эксперты в игровой индустрии. Для ОИЯИ это отличная возможность продемонстрировать широкий спектр научных изысканий и достижений Института.

1 июля в формате видеоконференции состоялось очередное, 26-е заседание координационного комитета по выполнению Соглашения между Министерством науки и образования Германии (ВМБФ) и ОИЯИ.

Директор ОИЯИ В. А. Матвеев, возглавлявший делегацию ОИЯИ, в приветственном слове отметил особую значимость и богатую историю сотрудничества с ВМБФ, а также важность совместного воспитания кадров.

В немецкую делегацию, возглавляемую координатором ВМБФ по сотрудничеству с ОИЯИ Ю. Крозебергом, представляющим отдел ВМБФ «Вселенная и материя», входили, а также выступали содокладчиками на заседании Г. Ропке (Ростокский университет), Ф. Шиллинг (Технологический институт Карлсруэ), Ф. Шрайбер (Тюбингенский университет), К.-Д. Гросс (GSI), П. Зенгер (GSI), О. Кюнхольц (DESY), Т. Ольтцхоффер (DESY) и А. Верма (Германский центр авиации и космонавтики — DLR).

Вводный доклад о перспективах сотрудничества представил первый вице-директор ОИЯИ Г. В. Трубников, который озвучил основные приоритетные направления совместной работы: развитие формального статуса Германии в ОИЯИ, поиск новых путей взаимодействия, инструменты привлечения и поддержки научной молодежи и углубление сотрудничества на базе мегасайнс-проекта NICA. Докладчик предложил немецким коллегам, в частности, рассмотреть возможность полноправного членства в ОИЯИ, что могло бы стать удобным форматом для реализации ближайших планов по развитию кооперации, а также упомянул и другие возможности для совместного рассмотрения: информационные центры, программы повышения квалификации для руководителей науки и высшего образования и др.

Состоянию сотрудничества и дальнейшим планам в рамках проектов NICA и FAIR был посвящен отдельный доклад руководителя проекта NICA В. Д. Кекелидзе.

Доклад Ю. Крозеберга о новом формате двустороннего взаимодействия, лежащего в трех основных направлениях, каждое со своим управляющим комитетом, дополнили доклады замдиректора ЛТФ Н. В. Антоненко и Г. Ропке — по первому направлению это продолжение программы «Гейзенберг–Ландау». По второму — расширение тематики совместных исследований в области нейтронной физики предложили Ф. Шиллинг (Технологический институт Карлсруэ) и директор ЛНФ В. Н. Швецов. Третье, самое обширное направление связано с привлечением и поддержкой молодых ученых в рамках совместных исследовательских проектов (программы Учебно-научного центра ОИЯИ, молодежные школы

ОМУС, программа JEMS и ряд других молодежных научных мероприятий).

В повестку заседания комитета также вошли презентации научных лабораторий ОИЯИ. О возможностях кооперации по байкальскому нейтринному телескопу рассказал заместитель директора ЛЯП Д. В. Наумов, идеи о совместных исследованиях с Лабораторией радиационной биологии изложил ее директор А. Н. Бугай, возможности для молодых ученых в ЛЯР — заместитель директора лаборатории А. Г. Попеко, Лабораторию информационных технологий представил директор ЛИТ В. В. Кореньков.

Заседанию комитета ВМВФ–ОИЯИ предшествовало проведение двусторонних онлайн-обсуждений в формате круглого стола, на которых рассматривались перспективы развития сотрудничества по привлечению молодых научных кадров, организации школы JINR–GSI/FAIR, расширению программы нейтронных исследований, поиску путей сотрудничества в физике астрочастиц и в рамках одного из ключевых проектов ОИЯИ — «Байкал–ГВД». Ряд вопросов и инициатив освещался делегацией ОИЯИ на заседании Российско-германской комиссии по научно-техническому сотрудничеству 25 июня, и их обсуждение фактически продолжилось в рамках заседания.

8 июля сотрудники ЛЯР им. Г. Н. Флерова и УНЦ ОИЯИ провели онлайн-встречу с видеозаписью по экспериментальным установкам ЛЯР для 125 участников летней образовательной школы «Governor's School for the Sciences & Engineering» (GSSE) Университета Теннесси (США).

Идея встречи принадлежала администратору летней школы Дж. Муди. Группа социальных коммуникаций УНЦ создала для этого видеотур, в котором часть съемок провели научные сотрудники ЛЯР, описывая и показывая свою работу, а затем ответили на вопросы слушателей.

9 июля в ДМС ОИЯИ состоялось очередное совещание дирекции Института, проходившее частично в режиме видеоконференции. Директор ОИЯИ В. А. Матвеев рассказал о важных результатах первой половины 2020 г., в числе которых была работа над стратегией развития ОИЯИ до 2030 г., успешный переход к новой системе защиты диссертаций, совершенствование процедуры приема специалистов из стран-участниц, продвижение работ по ремонту общежития на ул. Московской, 2, а также сообщил о ближайших планах. Под-

водя основные итоги сессии КПП, утвердившей полновесный бюджет на 2020 г., директор отметил важность работы с кадрами, в частности одобрил проведение анкетирования сотрудников из государств-членов Института, которое организовали ОМУС и совет руководителей землячеств.

С анализом результатов анкетирования сотрудников из государств-членов Института выступил вице-директор Института Р. Ледниcki, дистанционными содокладчиками стали помощник руководителя УНОРиМС ОИЯИ В. Хмелевски и начальник отдела международных связей Д. В. Каманин. С комментариями по итогам анкетирования на совещании выступили А. В. Рузаев, А. А. Котова, Д. И. Казаков, В. Д. Кекелидзе, А. В. Тамонов, М. П. Васильев, а также представители УГРК, УХО, АТХ, службы безопасности.

Первый вице-директор Института Г. В. Трубников сообщил участникам совещания о результатах работы координационного комитета ВМВФ–ОИЯИ. В частности, по словам докладчика, был затронут вопрос закрепления статуса ФРГ в проекте «Комплекс NICA» в качестве ассоциированного члена наблюдательного совета с перспективой повышения статуса до полноправного членства ФРГ в ОИЯИ, что позволит в полной мере реализовать потенциал сотрудничества. С комментариями выступили В. Н. Швецов, Б. Ю. Шарков, Р. В. Джолос.

О начале подготовки мероприятий, посвященных 65-летию образования ОИЯИ, и первом заседании рабочей группы по подготовке к юбилею рассказал вице-директор ОИЯИ С. Н. Дмитриев. Своими мнениями по этой теме поделились В. А. Матвеев, Ю. Ц. Оганесян, Г. В. Трубников, Б. Ю. Шарков, В. В. Кореньков.

Были зачитаны поздравления от Министра науки и высшего образования РФ В. Н. Фалькова и от дирекции ОИЯИ коллективу сотрудников ЛЯР им. Г. Н. Флерова под руководством Ю. Ц. Оганесяна в связи с разработкой и успешной реализацией проекта ускорительного комплекса фабрики сверхтяжелых элементов. В составе авторского коллектива: Ю. Ц. Оганесян — научный руководитель проекта, В. А. Матвеев — председатель координационного совета по созданию фабрики СТЭ, С. Н. Дмитриев — руководитель проекта, заместитель председателя координационного совета по созданию фабрики СТЭ, Г. Г. Гульбекян — технический руководитель проекта; а также ведущие разработчики проекта: Б. Н. Гикал — технический руководи-

тель проекта создания циклотрона ДЦ-280, Н. В. Осипов — руководитель группы разработки конструкторской документации систем циклотрона ДЦ-280, И. В. Калагин — руководитель группы монтажа и запуска циклотрона ДЦ-280, С. Л. Богомолов — руководитель группы создания и запуска ЭЦР-источника ускорительного комплекса ДЦ-280, С. В. Пашенко — руководитель группы создания и запуска системы управления и контроля циклотронного комплекса ДЦ-280.

Об итогах сессии КПП и летних ПКК участников совещания проинформировали главный ученый секретарь ОИЯИ А. С. Сорин, вице-директора Р. Ледницки, С. Н. Дмитриев, Б. Ю. Шарков. С заключительным словом выступил директор Института В. А. Матвеев.

15 июля ОИЯИ посетил проректор МФТИ и и. о. директора Физтех-школы физики и исследований им. Л. Д. Ландау А. А. Воронов с целью обсуждения вопросов подготовки научных и инженерных кадров в МФТИ для реализации крупных исследовательских проектов ОИЯИ.

На встрече в дирекции стороны обсудили перспективы сотрудничества, а также дальнейшие шаги в сфере подготовки кадров и привлечения студентов МФТИ к работе в ОИЯИ. Особое внимание было уделено работе со студентами младших курсов МФТИ.

А. А. Воронов ознакомился с объектами научной инфраструктуры ОИЯИ: строящимся ускорительным комплексом NICA и участком по производству сверхпроводящих магнитов в ЛФВЭ, фабрикой сверхтяжелых элементов и циклотроном ДЦ-280 в ЛЯР, а также участком сборки детекторов глубоководного нейтринного телескопа «Байкал-ГВД» и лабораторией рентгеновской микротомографии в ЛЯП. Гости сопровождали заведующий кафедрой фундаментальных и прикладных проблем физики микромира МФТИ член-корреспондент РАН Д. И. Казаков, заместители заведующего кафедрой С. З. Пакуляк и Г. А. Шелков.

20 июля директор Института В. А. Матвеев вручил дипломы ОИЯИ о присуждении ученой степени защитившимся соискателям: сотрудникам ЛНФ Д. Сумхуу (Монголия), А. В. Руткаускасу (Россия) и сотруднику ЛФВЭ М. М. Омельяненко (Россия).

В церемонии вручения дипломов также приняли участие первый вице-директор ОИЯИ Г. В. Трубников, вице-директор ОИЯИ В. Д. Кекелидзе, главный ученый секретарь ОИЯИ А. С. Сорин, ученый секретарь квали-

фикационной комиссии ОИЯИ О. В. Белов, ученый секретарь диссертационного совета ОИЯИ по физике частиц В. А. Арефьев.

Поздравляя получателей дипломов, директор Института отметил важную роль системы присуждения ученых степеней в кадровом обеспечении строящихся и планируемых к созданию в ОИЯИ физических установок, а также роль научных руководителей соискателей ученой степени в процессе подготовки и защиты диссертаций.

29 июля в формате видеоконференции состоялось 5-е заседание наблюдательного совета мегапроекта «Комплекс NICA». В его работе принимали участие представители руководства ОИЯИ во главе с директором ОИЯИ В. А. Матвеевым и первым вице-директором Г. В. Трубниковым, а также председатель Агентства по ядерному регулированию Республики Болгарии, полномочный представитель Правительства Республики Болгарии в ОИЯИ Л. Костов, президент РАН А. С. Сергеев, заместитель генерального директора ГК «Росатом» Ю. А. Оленин.

В ходе заседания члены совета оценили статус работ по проекту, обсудили дальнейшее развитие коллайдерного комплекса, его научную программу и кадровое обеспечение, а также приняли решения по изменениям в составе наблюдательного совета.

Руководитель проекта NICA В. Д. Кекелидзе представил отчетный доклад о статусе работ по проекту, результатах работы комитета анализа сроков и ресурсов проекта NICA (март 2020 г.) и детальном плане намеченного на декабрь 2022 г. ввода в эксплуатацию базовой конфигурации комплекса NICA. Наблюдательный совет поддержал реализацию программы первого физического эксперимента на коллайдере комплекса NICA, а также подчеркнул важность кадрового обеспечения проекта и поручил дирекции ОИЯИ интенсифицировать эту работу.

Были представлены содоклады руководителя дирекции проекта NICA Г. В. Трубникова и В. Д. Кекелидзе о развитии базовой конфигурации проекта «Комплекс NICA» и подготовке отчета на 1 января 2021 г. по выполнению Распоряжения Правительства РФ № 783-р от 27 апреля 2016 г.

По предложению Г. В. Трубникова наблюдательный совет принял решение пригласить войти в его состав в качестве наблюдателей директора по большим установкам и фундаментальным исследованиям ВМВФ Германии

д-ра В. Дитца и директора по науке GSI/FAIR проф. П. Джубеллино.

26 августа делегация ОИЯИ приняла участие в торжественном открытии года российско-китайского научно-технического и инновационного сотрудничества, мероприятия в рамках которого будут проводиться в 2021 г. На официальной церемонии, проходившей в формате видеоконференции, ОИЯИ представлял первый вице-директор Г. В. Трубников. В зале видеоконференций в качестве наблюдателей присутствовали директор Института В. А. Матвеев, руководитель проекта NICA вице-директор В. Д. Кекелидзе, а также начальник ОМС Д. В. Каманин.

В ходе мероприятия было подписано Соглашение между Министерством науки и технологий КНР и ОИЯИ об участии КНР в строительстве и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA. Стороны договорились создать двусторонний координационный комитет, включающий равное количество представителей от каждой из сторон, в компетенцию которого войдет решение технических и финансовых вопросов участия китайских научных организаций в строительстве и эксплуатации комплекса NICA.

Подписание проходило в присутствии высокопоставленных участников торжественного мероприятия, на котором российскую сторону возглавляла заместитель Председателя Правительства РФ Т. А. Голикова, а главой делегации КНР выступала заместитель Премьера Государственного совета КНР Сунь Чуньлань. Со стороны РФ и КНР в мероприятии принимали участие представители кабинетов министров, правительств, органов административного управления, главы академий наук, общественных и научных организаций, агентств и фондов, дипломатические представители двух стран.

Состоялось подписание дорожной карты российско-китайского сотрудничества в области науки, технологий и инноваций на период 2020–2025 гг. Подписи под документом поставили министр науки и высшего образования РФ В. Н. Фальков и министр науки и технологий КНР Ван Чжиган. В этом документе также нашло отражение намерение сторон поддержать сотрудничество ОИЯИ–КНР.

15 сентября состоялась церемония завершения российско-германского года научно-образовательных партнерств, проходившая в смешанном формате, в которой принял участие первый вице-директор ОИЯИ Г. В. Труб-

ников. На посвященной этому событию инновационной виртуальной выставке ведущих научно-образовательных организаций и фондов из России и Германии была представлена экспозиция ОИЯИ.

В рамках мероприятия была организована видеоконференция «Российско-германский диалог в образовании и науке: создавая будущее вместе». В пленарной дискуссионной сессии «Диалог в науке и образовании: перспективы российско-германского сотрудничества» принимали участие президент Германской службы академических обменов Д. Муерджи, президент Института им. Гете Б. Вольфф, вице-президент Объединения им. Гельмгольца Г. Дош, президент Берлинского технического университета К. Томсен, вице-президент РАН Ю. Ю. Балег, председатель Совета РФФИ В. Я. Панченко и и. о. ректора НИТУ МИСиС С. В. Салихов. Г. В. Трубников рассказал о программе INTERnational REmote Student Training (INTEREST), созданной в ОИЯИ для сохранения процесса интенсивного обмена знаниями и опытом с талантливыми студентами и аспирантами независимо от географических границ, и пригласил молодых исследователей присоединиться к этой программе.

В числе долгосрочных направлений российско-германского сотрудничества были отмечены совместные исследования океана, околоземного космического пространства и создание соответствующей исследовательской инфраструктуры.

В ходе церемонии закрытия года состоялось награждение победителей конкурса «Россия и Германия: научно-образовательные мосты». Одним из его победителей в категории «Передовые исследования» за успешное долгосрочное научное сотрудничество был признан проект «Обсерватория TAIGA — Россия и Германия открывают новое окно во Вселенную». Объединенный институт является активным участником международного эксперимента TAIGA — одного из приоритетных проектов в области астрофизических исследований.

15 сентября в ОИЯИ в формате видеоконференции состоялось открытие «Дней SPD в Дубне», чтобы представить вниманию широкой мировой научной общественности проект SPD (Spin Physics Detector) — второй по величине экспериментальной установки комплекса NICA — и способствовать формированию вокруг проекта международной научной коллаборации. В этот день в смешанном формате видеоконференции и личного присутствия прошло первое мероприятие цикла —

международное совещание «Эксперимент SPD на коллайдере NICA в ОИЯИ».

В совещании приняли участие сотрудники научных центров и университетов из Болгарии, Бразилии, Египта, Индии, Италии, Польши, России, Сербии, Словакии, Франции, Хорватии, Чехии и ЮАР, а также представители государственных структур ряда этих стран.

Работу совещания открыл вице-директор ОИЯИ академик Б. Ю. Шарков, после чего был представлен ряд обзорных докладов по проекту. С докладом по общей концепции проекта SPD и планам по строительству и запуску физической установки эксперимента выступил руководитель рабочей группы проекта А. В. Гуськов (ЛЯП). Детальное описание физических характеристик и подсистем детектора SPD, а также основные задачи физической программы эксперимента представил В. П. Ладыгин (ЛФВЭ). В докладе А. А. Балдина (ЛФВЭ) были представлены наработки по стенду miniSPD, текущее состояние и планы по строительству тестовой зоны SPD на выведенных и вторичных пучках нуклотрона для испытания детекторов и систем сбора данных. Доклад ОИЯИ, сделанный А. С. Жемчуговым (ЛЯП), был посвящен тематике развития систем сбора данных, разработки программного обеспечения и компьютеринга эксперимента SPD.

После общей дискуссии в формате круглого стола состоялась дискуссия по участию в проекте. Вице-президент по культуре и научным связям Академии научных исследований и технологии Египта (ASRT) Дж. Эль-Феки выразила заинтересованность Египта стать участником проекта SPD, а также озвучила намерение открыть соответствующий конкурс по проектам сотрудничества в рамках дорожной карты развития сотрудничества ОИЯИ–Египет, подписанной в декабре 2018 г. Интерес чилийских исследователей к участию в проекте в области создания детекторов, электроники и гетерогенного компьютеринга проявили представители университета им. А. Белло (UNAB). Б. Мелладо из Университета Витватерсранда (ЮАР), представляющий также iTemba LABS, сообщил, что разработка систем сбора данных и машинного обучения является областью потенциального интереса, связанной с проектом SPD, для научных организаций ЮАР. Предложения по применению возможностей машинного обучения внес И. Н. Горбунов (ЛФВЭ). Отвечая на вопросы участников о привлечении к участию в проекте студентов, А. С. Жемчугов

предложил использовать возможности новой удаленной научно-образовательной платформы ОИЯИ INTEREST.

Более детальное обсуждение научной составляющей проекта было продолжено на следующих мероприятиях «Дней SPD в Дубне» в рамках удаленных рабочих совещаний «Глюонная составляющая протонов и дейтронов на SPD» (30 сентября – 1 октября) и «Физическая программа первого этапа эксперимента SPD на NICA» (5–6 октября).

18 сентября делегация ОИЯИ приняла участие в 24-м заседании российско-китайской подкомиссии по научно-техническому сотрудничеству, которое прошло в формате видеоконференции. Российскую делегацию возглавлял заместитель министра науки и высшего образования РФ С. В. Люлин, а делегацию Китая — заместитель министра науки и технологий КНР Хуан Вэй. В состав участников от ОИЯИ вошли первый вице-директор Г. В. Трубников, руководитель проекта NICA вице-директор В. Д. Кекелидзе, заместитель директора ЛФВЭ Г. Г. Ходжибагиан, начальник ОМС Д. В. Каманин и руководитель проекта MPD В. М. Головатюк.

Стороны обменялись информацией и приняли решения по целому ряду аспектов двустороннего сотрудничества России и Китая, в том числе обсудили вопросы сотрудничества в рамках мегапроекта NICA, высоко оценив подписанное накануне Соглашение об участии Китая в строительстве и эксплуатации комплекса NICA. Китайская сторона сообщила, что в соответствии с государственным планом приоритетных научных исследований были выделены денежные средства, необходимые для реализации двусторонних проектов в рамках NICA. Российская сторона, в свою очередь, подтвердила намерение оказывать дальнейшую поддержку сотрудничеству по этим проектам. Статус проектов и ход их реализации на заседании осветили представители ответственных организаций: заместитель директора Института современной физики Китайской академии наук Чжао Хунвэй и заместитель директора ЛФВЭ Г. Г. Ходжибагиан.

21–25 сентября в Самарской области, которая стала одной из центральных региональных площадок 15-го Всероссийского фестиваля науки НАУКА 0+, ОИЯИ выступил официальным представителем тематической недели «Физика ядра», в рамках которой научными сотрудниками Института была проведена серия научно-популярных мероприятий в онлайн-формате для Самарского национального

исследовательского университета им. академика С. П. Королева. Посетители экспозиции в интерактивном формате могли познакомиться с масштабными научными задачами и будущими экспериментами коллайдера NICA, узнать об исследованиях в области физики ядра и элементарных частиц, принять участие в онлайн-конкурсе по теме ядерных исследований и многим другим.

Главной темой прошедшего фестиваля стала «Физика будущего» — в связи с празднованием 75-летнего юбилея атомной промышленности России. Общие цели вложены и в ключевые задачи фестиваля — привлечь молодежь в науку, воспитать интерес к исследовательскому поиску через интерактивное вовлечение в научный процесс, наладить диалог между наукой и обществом.

Фестиваль продолжился 10 и 11 октября в Экспоцентре, открыв двери Московской площадки НАУКА 0+, где был представлен стенд ОИЯИ с макетами почти всех действующих установок, сопровождавшийся лекциями и презентациями ученых, мастер-классами по тематикам физики, химии, робототехники, а также познавательным научным шоу для детей.

22–23 сентября ОИЯИ посетили представители Госкорпорации «Росатом»: заместитель генерального директора по науке и стратегии Ю. А. Оленин, директор направления научных исследований и разработок В. И. Ильгисонис, а также представители АО «Наука и инновации» ГК «Росатом» первый заместитель генерального директора А. В. Дуб и начальник управления Р. А. Афанасьев.

В ЛНФ делегация приветствовал директор ЛНФ В. Н. Швецов с коллегами. Гости осмотрели исследовательский реактор ИБР-2, а также узнали о направлениях научных исследований лаборатории. В ЛЯР в сопровождении вице-директора ОИЯИ С. Н. Дмитриева и директора ЛЯР С. И. Сидорчука делегация ознакомилась с фабрикой сверхтяжелых элементов и исследованиями в области синтеза сверхтяжелых элементов. Экскурсию по ЛФВЭ для гостей провел директор лаборатории руководитель проекта NICA В. Д. Кекелидзе. Гости ознакомились с реализацией комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA, побывали на стройплощадке проекта, а также на фабрике сверхпроводящих магнитов.

В заключение визита состоялась встреча с руководством ОИЯИ, на которой гостей приветствовал директор Института академик

В. А. Матвеев. Во встрече приняли участие первый вице-директор Г. В. Трубников, вице-директора С. Н. Дмитриев, В. Д. Кекелидзе и Б. Ю. Шарков, советник директора Г. А. Козлов и научный руководитель ЛЯР Ю. Ц. Оганесян. Стороны обсудили широкие возможности для развития сотрудничества, подтвердив обоюдную готовность наращивать взаимодействие в рамках подписанного в декабре 2019 г. соглашения между ОИЯИ и Росатомом.

25 сентября ОИЯИ посетила первый заместитель председателя Комитета Государственной Думы Федерального Собрания РФ по охране здоровья Н. П. Санина.

В дирекции ОИЯИ гостю приветствовал директор Института В. А. Матвеев. Во встрече также принимали участие первый вице-директор ОИЯИ Г. В. Трубников, помощник директора Института по радиационной медицине Г. Д. Ширков, заместитель директора ЛФВЭ Ю. К. Потребеников, руководитель УСИ А. В. Тамонов, помощник главного инженера Института Е. Д. Углов. В ходе беседы были рассмотрены меры по интенсификации сотрудничества ОИЯИ и ФМБА на основе соглашения 2016 г., а также планы развития протонной терапии онкологических заболеваний на базе обширного опыта ОИЯИ и строительства в Дубне специализированного медицинского центра протонной терапии.

По окончании визита в ОИЯИ Н. П. Санина провела встречи с временно исполняющим полномочия главы Дубны С. А. Куликовым, а также руководством Дубненской городской больницы: обсуждались вопросы создания сердечно-сосудистого отделения на базе городской больницы, санитарно-эпидемиологической безопасности в образовательных учреждениях города, профилактических осмотров на предприятиях, помощь городской больнице, а также возможность обновления детской поликлиники в правобережной части города.

29 сентября в работе заседания коллегии Минобрнауки РФ, которое провел министр науки и высшего образования РФ В. Н. Фальков, принимал участие первый вице-директор ОИЯИ Г. В. Трубников. Члены коллегии, представители научного сообщества и органов исполнительной власти регионов, обсудили ход реализации национального проекта «Наука», а также обновление национальных проектов «Наука» и «Образование» в части полномочий Минобрнауки России.

В единый национальный проект войдут четыре федеральных проекта: «Развитие инте-

грационных процессов в сфере науки, высшего образования и индустрии» («Интеграция»), «Развитие масштабных научных и научно-технологических проектов по приоритетным исследовательским направлениям» («Исследовательское лидерство»), «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» («Инфраструктура»), «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок» («Кадры»).

30 сентября в формате видеоконференции прошло 33-е заседание Совета Международной ассоциации академий наук (МААН). От ОИЯИ в заседании участвовали директор ОИЯИ академик В. А. Матвеев и начальник ОМС Д. В. Каманин.

По итогам заседания Совет МААН постановил придать Объединенному институту ядерных исследований статус полноправного члена МААН, принимая во внимание большие достижения Института в области науки и образования, а также активное участие ОИЯИ в деятельности Совета. Кроме того, на данном заседании директор ОИЯИ В. А. Матвеев был единогласно избран действительным членом МААН.

В своем выступлении В. А. Матвеев подчеркнул важность задач, которые ставит перед собой МААН, и созвучность их задачам ОИЯИ. Он, в частности, сказал: «В 2021 г. Объединенный институт будет отмечать свое 65-летие. Одной из вех грядущего года станет принятие долгосрочного стратегического плана развития ОИЯИ до 2030 г. Одна из важных глав этого плана — дальнейшее развитие международного сотрудничества. Укрепление связей МААН и ОИЯИ, несомненно, внесет вклад в интеграционные процессы на пространстве СНГ и за его пределами».

До придания статуса полноправного члена ОИЯИ являлся ассоциированным членом МААН с 1997 г. Полноценные сессии МААН дважды проводились по приглашению ОИЯИ: в 2000 г. в Дубне и в 2002 г. в пансионате ОИЯИ «Дубна» в Алуште.

22 октября состоялось очередное заседание НТС ОИЯИ, в связи со сложной эпидемиологической ситуацией оно прошло в гибридном формате.

Директор ОИЯИ В. А. Матвеев отметил, что на предстоящей сессии КПП должно состояться представление проекта Стратегического плана долгосрочного развития Института до 2030 г. Запланировано обсудить вторую часть проекта — план развития Институ-

та как международной межправительственной научно-исследовательской организации.

Об итогах работы специально созданной для обсуждения этих вопросов экспертно-аналитической рабочей группы проинформировал ее председатель первый вице-директор ОИЯИ Г. В. Трубников. Докладчик проиллюстрировал основные положения Стратегии развития Института и механизмы ее реализации. Первый вице-директор предложил также создать рабочую группу по вопросам стратегического развития при председателе КПП. В обсуждении доклада приняли участие И. Н. Мешков, В. Д. Кекелидзе, Д. В. Пешехонов, Б. Ю. Шарков, Н. А. Русакович, С. Н. Неделько, Р. В. Джолос.

По итогам обсуждения В. А. Матвеев отметил, что представленный документ позволил получить четкое и объемное понимание стратегии и перспектив развития Института. НТС одобрил представленный Г. В. Трубниковым Стратегический план долгосрочного развития ОИЯИ до 2030 г.

22–23 октября в Дубне проходило выездное заседание Комитета Совета Федерации по науке, образованию и культуре «Основные направления и перспективы развития международной научно-технической кооперации в рамках реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». В числе участников были члены Совета Федерации, руководители ОИЯИ, губернаторы Томской и Новосибирской областей, представители министерств и ведомств РФ, руководители субъектов Российской Федерации, главы целого ряда наукоградов, члены Российской академии наук, ректорский корпус, представители ОЭЗ «Дубна».

В рамках выездного заседания 22 октября для членов Комитета СФ и участников заседания был организован ряд ознакомительных экскурсий в научные лаборатории Института: гости могли ознакомиться с ходом реализации мегасайенс-проекта NICA в ЛФВЭ, фабрикой сверхтяжелых элементов в ЛЯР и проектом глубоководного нейтринного телескопа «Байкал–ГВД» в ЛЯП, а также встретились с молодыми учеными.

В повестку заседания вошли вопросы развития и эффективного использования научно-технического потенциала наукоградов России. Заседание открыла председатель Комитета СФ Л. С. Гумерова, которая отметила, что одна из поставленных руководством страны задач — обеспечение международного лидерства в сфере науки и технологий, а также развитие меж-

дународного научно-технического сотрудничества и международной интеграции в области науки и технологии. Л. С. Гумерова подчеркнула, что выбор места проведения выездного заседания был обусловлен статусом ОИЯИ как международного центра науки, который не знает границ, стран, религиозных различий и объединен только идеей служения науке во имя мира и прогресса.

В ответном приветствии директор ОИЯИ В. А. Матвеев поблагодарил за оказанную честь принимать в стенах Института такую представительную делегацию, а также за поддержку руководством страны международного научного центра в Дубне и внимание к его работе.

Первый вице-директор ОИЯИ Г. В. Трубников, в свою очередь, выразил пожелание, чтобы присутствующие коллеги: губернаторы, вице-губернаторы, главы наукоградов, руководители университетов — рассматривали Институт как консультирующую, координирующую площадку с точки зрения развития международного научно-технического сотрудничества в российских регионах, городах, вузах и НИИ.

Заместитель руководителя УНОРИМС Д. В. Каманин представил ознакомительный доклад о международной структуре Института, странах-участницах и кооперации с мировыми научными и образовательными центрами.

Заместитель министра науки и высшего образования РФ С. В. Люлин проинформировал участников заседания о финансировании научных исследований, значимости участия в международных коллаборациях, реализации проектов класса мегасайенс в России. Выступление губернатора Новосибирской области А. А. Травникова было посвящено реализации национального проекта «Наука и университеты», поддержке молодых ученых, а также развитию новосибирского Академгородка. Начальник управления международного сотрудничества РАН С. В. Маленко представил стратегию РАН по развитию международной научной и научно-технической деятельности. О деятельности ОЭЗ «Дубна» с момента ее создания в 2005 г. рассказал ее генеральный директор А. В. Афанасьев. Заместитель министра экономического развития РФ О. В. Тарасенко представила отчет о создании инновационных научно-технологических центров, объединяющих организации научно-технологической направленности. В числе выступавших были также председатель Совета ректоров вузов Юга России, президент Южного федерального уни-

верситета М. А. Боровская, глава наукограда Кольцово Н. Г. Красников, глава городского округа Пушкино А. С. Воробьев, глава муниципального образования городского округа Черноголовка О. В. Егоров, заместитель директора Центра системного анализа и перспективных разработок в сфере образования и науки В. Н. Киселев, ректор Северо-Осетинского университета А. У. Огоев, проректор по научной работе Московского авиационного института Ю. А. Равикович, временно исполняющий полномочия главы городского округа Дубна С. А. Куликов и др.

В обсуждении принимали участие заместитель начальника Управления Президента РФ по научно-образовательной политике Е. К. Нечаева, заместитель председателя Комитета СФ В. В. Смирнов, члены Комитета СФ Е. Г. Грешнякова, Н. В. Косихина, О. Н. Хохлова, В. А. Бекетов, С. П. Михайлов.

28 октября в режиме видеоконференции состоялась очередная, 19-я сессия объединенного координационного комитета ЮАР–ОИЯИ. Делегацию ОИЯИ на встрече возглавил начальник отдела международных связей Д. В. Каманин. Сопредседателем со стороны ЮАР выступил и. о. заместителя генерального директора по развитию и поддержке науки Департамента науки и инноваций ЮАР Д. Адамс.

Заместитель научного руководителя ЛЯР М. Г. Иткис представил доклад об основных аспектах деятельности Института. Директор УНЦ С. З. Пакуляк рассказал о дистанционной образовательной программе ОИЯИ INTEREST, которая, по мнению сторон, является перспективной платформой для развития двустороннего сотрудничества в образовательной сфере. Д. В. Каманин представил предложения по совместным проектам, выработанным вместе с южноафриканскими партнерами и касающимся участия ЮАР в коллаборации NICA/SPD, технологических вопросов сотрудничества по ускорителям тяжелых ионов, региональной облачной инфраструктуры на платформе DIRAC в интересах проекта SKA, подземных лабораторий и строительства будущего источника нейтронов ИБР-3.

30 октября в формате видеоконференции состоялось очередное, 27-е заседание координационного комитета по выполнению Соглашения между Федеральным министерством образования и научных исследований Германии (BMBWF) и ОИЯИ. Председателем заседания с немецкой стороны был координатор BMBWF по сотрудничеству с ОИЯИ

Ю. Крозеберг, представляющий отдел ВМВФ «Вселенная и материя». Сопредседателем со стороны ОИЯИ выступил вице-директор Б. Ю. Шарков.

Предыдущее заседание, как и 27-е, а также несколько рабочих встреч в течение года были посвящены детальному обсуждению нового формата сотрудничества, направленного прежде всего на привлечение научной молодежи. В результате научная программа сотрудничества будет формироваться в рамках трех направлений: программы «Гейзенберг–Ландау» в области теоретической физики, программы нейтронных исследований и программы для молодых ученых. С обеих сторон будут прилагаться усилия по привлечению молодых ученых и содействию в их научной карьере в рамках исполнения совместных научных проектов по приоритетным направлениям сотрудничества ОИЯИ с немецкими научными организациями и университетами. По каждой программе будет сформирован управляющий комитет.

Координационный комитет обсудил вопросы финансирования программ, особенности работы в двухлетний период перехода к новому формату сотрудничества, формирование управляющих комитетов, результаты текущей совместной активности и порядок рассмотрения заявок на совместные проекты до конца текущего года. Обработку заявок, в том числе по новым проектам, намечено завершить до середины декабря.

В ходе заседания было подписано соглашение между ОИЯИ и FAIR/GSI об учреждении серии совместных ежегодных международных школ DD (Дубна–Дармштадт). Свои подписи под документом поставили Б. Ю. Шарков и научный директор FAIR/GSI П. Джубелино. В рамках восьмидневной программы школы молодые ученые из стран-участниц ОИЯИ и FAIR/GSI получат возможность прослушать лекции по самым актуальным и наиболее важным направлениям современной науки — будут представлены и эксперимент, и теория, охватывающая, в частности, темы адронной и ядерной физики, атомной физики, физики плазмы, материаловедения, биофизики и радиационной медицины, физики ускорителей, детекторных исследований и разработок, микро/наноэлектроники, информационных технологий и высокопроизводительных вычислений и т.д. Важной составляющей работы школы станут практические занятия, на которых студенты будут решать реальные задачи под руководством лекторов. Документ предусмат-

ривает финансирование школы обеими сторонами.

6 ноября в Дубне успешно завершилась транспортировка сверхпроводящего магнита для детектора MPD на стройплощадку проекта NICA. До прибытия в Дубну саркофаг с магнитом проделал путь по морю из порта Генуи (Италия) в Санкт-Петербург. Разработанный российскими учеными (специалистами ОИЯИ и НПО «Нева-Магнит») криостат со сверхпроводящей обмоткой магнита для детектора MPD был изготовлен в Италии на предприятии «ASG superconductors» — одном из немногих в мире производителей уникального оборудования для масштабных научно-исследовательских проектов, в частности для Большого адронного коллайдера ЦЕРН.

Высота саркофага с транспортировочной платформой составила 7,6 м, общий вес — 120 т. Расстояние в 2,8 км от дубненского порта до павильона MPD в ЛФВЭ груз проделал за 3 часа, так как транспортировка криостата требовала абсолютной точности трафика и скрупулезного отношения к малейшим колебаниям саркофага. Для обеспечения беспрепятственной и безопасной доставки временно были демонтированы части городских коммуникаций.

11 ноября ОИЯИ принял участие во 2-й Российско-германской научно-образовательной виртуальной выставке, на которой в режиме онлайн были представлены совместные программы российских и немецких вузов, научных организаций и научных фондов.

Выставка была организована в рамках Российско-германского года научно-образовательных партнерств 2018–2020 гг., проходящего под патронатом министра иностранных дел РФ и федерального министра иностранных дел ФРГ, а также при поддержке Минобрнауки России, Национального исследовательского технологического университета МИСиС, Германской службы академических обменов (DAAD) и Германского дома науки и инноваций (DWIH) в Москве.

ОИЯИ стал одним из пионеров нового формата организации международного выставочного пространства, успешно представив широкую панораму развития научно-образовательной кооперации: от международной программы для студентов INTEREST до кооперации в рамках мегапроекта NICA.

17 ноября ОИЯИ посетили Чрезвычайный и Полномочный Посол Румынии в РФ В. Соаре и советник по образованию и нау-

ке Л. Константиу. В конференц-зале Дома ученых они встретились с представителями национальной группы румынских сотрудников ОИЯИ.

В дирекции ОИЯИ гостей принимали директор Института В. А. Матвеев, первый вице-директор Г. В. Трубников, вице-директор Р. Ледницки, директор ЛИТ В. В. Кореньков, заместитель научного руководителя ЛЯР М. Г. Иткис, начальник отдела международных связей Д. В. Каманин, руководитель группы румынских сотрудников Г. Адам, заместитель директора ЛНФ О. Куликов. Гостей проинформировали о достижениях Института и перспективных планах его развития, была дана высокая оценка вкладу румынских ученых и специалистов в деятельность ОИЯИ. В свою очередь, В. Соаре и Л. Константиу отметили важную роль Объединенного института в подготовке научных кадров и развитии физической науки в Румынии, выразив надежду на еще более плодотворное сотрудничество в дальнейшем.

20 ноября в ходе рабочего визита в Дубну Председатель Правительства РФ М. В. Мишустин произвел технологический пуск одного из основных блоков мегасайенс-проекта «Комплекс NICA» — сверхпроводящего бустерного синхротрона (бустера).

В поездке в Дубну премьер-министра сопровождали заместитель Председателя Правительства РФ Д. Н. Чернышенко, министр науки и высшего образования РФ В. Н. Фальков и губернатор Московской области А. Ю. Воробьев.

Глава Правительства России дал старт работе сверхпроводящего ускорителя нажатием символической кнопки. Участниками церемонии также стали молодые ученые, привлеченные к участию в реализации проекта.

16 декабря директор ЛФВЭ вице-директор ОИЯИ член-корреспондент РАН В. Д. Кекелидзе выступил с докладом в Совете Федерации РФ в рамках регулярной встречи сенаторов с учеными, политиками, режиссерами и художниками — «Время эксперта».

В. Д. Кекелидзе рассказал о научных задачах проекта NICA, его ключевых экспериментальных установках, а также озвучил планы по запуску комплекса, строительство которого планируется закончить в 2021 г. Докладчик представил вниманию сенаторов ключевые моменты прохождения проектом экспертиз, в том числе и в европейских комиссиях по науке, а также опыт ОИЯИ в создании и организации работы международных научных коллабора-

ций в рамках экспериментов MPD и SPD на комплексе NICA.

Особое внимание в ходе выступления В. Д. Кекелидзе было уделено потенциалу прикладных исследований на базе будущего комплекса NICA. В частности, докладчик отметил, что компактные сверхпроводящие магниты, технология которых была разработана в ОИЯИ и которые лежат в основе комплекса, являются наиболее перспективными для создания экономичных ускорителей современных центров лучевой терапии. Также речь шла о возможностях одного из крупнейших и самого производительного в РФ криогенного комплекса ОИЯИ, который позволяет вести масштабные научные разработки с использованием температур, близких к абсолютному нулю, например, для создания хранилищ и систем транспортировки сжиженных газов. В. Д. Кекелидзе сообщил, что в рамках проекта «Комплекс NICA» ведется не имеющая аналогов в мире уникальная разработка по созданию мегаваттного накопителя энергии на базе сверхпроводящего кабеля, созданного в Дубне и лежащего в основе всего криогенного комплекса ЛФВЭ. Кроме того, отмечено, что создаваемый ускорительный комплекс NICA позволит воспроизвести весь спектр частиц ионизирующего излучения далекого космоса, что дает возможность проводить исследования по изучению воздействия космической радиации на живые организмы, в том числе во время дальних полетов в космос, а также вести разработку радиационно стойкой электроники.

В ходе выступления В. Д. Кекелидзе представил также предложения, сформированные на основе итогов прошедшего накануне в Дубне выездного заседания Комитета Совета Федерации по науке, образованию и культуре. Было предложено учесть опыт наукограда Дубна, в котором сложилась уникальная модель взаимодействия властей федерального, регионального и муниципального уровней, передовых науки и производства, особой экономической зоны и международной научной организации — ОИЯИ.

Спикер Совета Федерации В. И. Матвиенко, комментируя выступление В. Д. Кекелидзе, отметила необходимость создания правовых условий для успешного развития мегапроектов и обратилась к председателю Комитета по науке, образованию и культуре Л. С. Гумеровой с поручением продолжить совместно с учеными работу по созданию дорожной карты для актуализации законодательной базы РФ в на-

правления поддержки науки и научно-технологического развития страны.

16 декабря в связи с празднованием Дня независимости Республики Казахстан национальную группу сотрудников в режиме видеоконференции традиционно поздравила дирекция ОИЯИ.

В поздравительной речи вице-директор Института Г. В. Трубников отметил успехи сотрудничества ОИЯИ с научными центрами Казахстана, высоко оценил работу в Институте молодой и динамично развивающейся национальной группы Республики Казахстан, которая не только показывает высокие научные результаты, но и играет активную роль в социальной жизни ОИЯИ.

Руководитель национальной группы Казахстана Д. Азнабаев и его заместитель А. Исадыков рассказали о развитии научной инфраструктуры в алма-атинском Институте ядерной физики. Был также озвучен ряд предложений в программу мероприятий по празднованию 65-летия Института, в частности — идея организации онлайн-семинара в связи с 15-летием ускорителя ДЦ-60, построенного в Казахстане с участием специалистов ОИЯИ.

В конце декабря состоялось онлайн-открытие Информационного центра ОИЯИ на базе Академии научных исследований и технологий (ASRT) Арабской Республики Египет (АРЕ). Мероприятие прошло при участии представителей правительства АРЕ, руководства ОИЯИ, ASRT и Северо-Осетинского государственного университета (СОГУ), а также ряда почетных гостей из стран-участниц и государств-партнеров ОИЯИ. В преддверии открытия был проведен международный семинар, посвященный концепции инфоцентров ОИЯИ.

С приветственными словами к участникам встречи обратились вице-президент по культуре и научным связям ASRT Дж. Эль-Феки и директор ОИЯИ В. А. Матвеев. От Объединенного института в церемонии открытия также приняли участие главный ученый секретарь А. С. Сорин, начальник ОМС Д. В. Каманин, директор УНЦ С. З. Пакуляк и глава египетской национальной группы и координатор сотрудничества с Египтом В. Бадави.

Программу продолжили ключевые презентации, посвященные научной инфраструктуре ОИЯИ и возможностям наращивания сотрудничества на базе открывающегося инфоцентра. Вице-директор ОИЯИ Б. Ю. Шарков рассказал о концепции развития ОИЯИ до 2030 г.

Президент ASRT М. Сакр подвел основные итоги декады сотрудничества Египта с ОИЯИ, среди которых 100 научных проектов и более 120 итоговых публикаций.

С поздравлениями по случаю открытия инфоцентра в Каире к собравшимся обратился министр высшего образования и научных исследований Египта Х. Абдель Гаффар. Ректор Северо-Осетинского государственного университета А. Огоев передал символический ключ от инфоцентра ОИЯИ на базе СОГУ Академии научных исследований и технологий Египта. В ходе прямого включения из ASRT министр Х. Абдель Гаффар и президент ASRT М. Сакр перерезали символическую красную ленту и торжественно открыли табличку инфоцентра ОИЯИ, что ознаменовало официальный старт работы первого инфоцентра ОИЯИ на Африканском континенте.

Коллег из ASRT поздравил вице-директор ОИЯИ и сопредседатель Объединенного координационного комитета ОИЯИ–Египет Р. Ледницки, В заключение церемонии открытия выступили почетные гости: заместитель директора Института экспериментальной и прикладной физики Чешского технического университета И. Штекл, генеральный директор Института атомной физики, полномочный представитель Правительства Румынии в ОИЯИ Ф.-Д. Бузату, генеральный директор Арабского агентства по атомной энергии (ААЕА), расположенного в Тунисе, С. Хамди и др.

30 декабря состоялось расширенное совещание дирекции ОИЯИ, на котором были подведены основные итоги работы Института в 2020 г.

Ключевым пунктом повестки заседания стало выступление директора ОИЯИ академика В. А. Матвеева, в котором были обозначены основные результаты, достигнутые в лабораториях и подразделениях Института. В. А. Матвеев отметил, что, несмотря на сложности работы в условиях пандемии, коллектив Института действовал слаженно, смог реализовать большинство намеченных планов и получить яркие результаты во флагманских проектах: запуске бустера коллайдера NICA и первом эксперименте на фабрике СТЭ. В связи с истечением срока своих полномочий директор ОИЯИ В. А. Матвеев выразил глубокую благодарность всем членам дирекции и руководства Института.

В своем выступлении избранный директор ОИЯИ академик Г. В. Трубников, вступление в должность которого — 1 января

2021 г., отметил личную заслугу академика В. А. Матвеева в сохранении Институтом лидирующих позиций на главных направлениях научных исследований, а также передал присутствующим поздравления от премьер-министра РФ М. В. Мишустина и министра науки и высшего образования РФ В. Н. Фалькова с получением первого пучка на бустере NICA. Г. В. Трубников отметил, что для реализации поставленных в будущем году задач изменения структуры управления Институтом будут носить не революционный, а эволюционный характер.

Участники заседания, члены дирекции, руководители подразделений и лабораторий ОИЯИ тепло поблагодарили В. А. Матвеева за работу, проделанную в качестве директора Института, и выразили надежду на продолжение совместной работы с ним в будущем в должности научного руководителя ОИЯИ.

С традиционными отчетными сообщениями выступили руководители лабораторий и подразделений Института: С. Н. Дмитриев, С. Н. Доценко, М. Г. Иткис, Д. И. Казаков, Д. В. Каманин, В. Д. Кекелидзе, Р. Ледницки, А. С. Сорин, А. В. Тамонов, В. Хмелевски, Б. Ю. Шарков, В. Н. Швецов.

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ ОИЯИ

Среди научных конференций и рабочих совещаний, организованных ОИЯИ в 2020 г., наиболее крупными были семь.

С 27 января по 1 февраля в университете «Дубна» прошла 27-я Международная конференция **«Математика. Компьютер. Образование» (МКО-2020)**, организаторами которой выступили Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Объединенный институт ядерных исследований, государственный университет «Дубна», Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, межрегиональная общественная организация «Женщины в науке и образовании» и другие ведущие научные центры России.

На открытии научного форума директор ОИЯИ В. А. Матвеев познакомил участников конференции с научной программой ОИЯИ, ректор университета «Дубна» Д. В. Фурсаев рассказал о последних открытиях в космологии и астрофизике, директор Института системного анализа и управления университета «Дубна» академик РАН Е. Н. Черемисина описала инновационные принципы ИТ-образования для подготовки кадров в ИСАУ университета «Дубна».

Поскольку конференция МКО носит междисциплинарный характер, программа была насыщенной и включала пленарные заседания, устные и стендовые сессии, круглые столы, лекции, мастер-классы, именные вечера и т. д. Стоит отметить следующие доклады: директор ЛИТ В. В. Кореньков представил цифровую платформу для проектов класса мегасайенс, директор ЛФВЭ В. Д. Кекелидзе посвятил свой доклад мегасайенс-проекту NICA, директор ЛРБ А. Н. Бугай затронул вопросы моде-

лирования в современных подходах к повышению эффективности лучевой терапии опухолей, научный руководитель ЛЯР Ю. Ц. Оганесян осветил перспективы синтеза новых сверхтяжелых элементов.

Научный форум собрал большое количество участников из разных регионов России и стран Европы. Проведение следующей традиционной конференции запланировано в Пущино.

20–21 апреля в ЛФВЭ в режиме видеоконференции проходило **5-е коллаборационное совещание эксперимента VM@N на установке NICA**.

В ходе совещания были рассмотрены последние результаты, полученные с использованием пучков С и Аг. Основное внимание было уделено данным, набранным в углерод-ядерных взаимодействиях, для подготовки к публикации в реферируемых журналах, а также обсуждался статус результатов, полученных при анализе данных по аргон-ядерным взаимодействиям. Были рассмотрены планы по проведению исследований в области физики тяжелых ионов. На отдельном заседании 20 апреля обсуждались организационные вопросы коллаборации VM@N.

23–24 апреля в ЛФВЭ в формате онлайн-конференции работало **5-е коллаборационное совещание эксперимента MPD на установке NICA**. Основной целью встречи была оценка уровня готовности детектора, включая разработку программного обеспечения, обсуждение физических задач и результатов, полученных коллаборацией, а также рассмотрение текущих организационных вопросов MPD.

Совещание включало в себя сессии по физике и по готовности детектора, открытые для всех участников коллаборации MPD, а также закрытое заседание руководящего состава коллаборации MPD.

20–23 октября в ЛФВЭ проходила международная конференция **«Проекты РФФИ для NICA»**. В ней приняли участие представители Российского фонда фундаментальных исследований, руководители проекта NICA, сотрудники Института и стран-участниц ОИЯИ, отвечающие за реализацию поддерживаемых РФФИ работ. Заседания проходили в режиме видеосвязи. Конференция носила отчетный характер и была нацелена на обсуждение результатов проделанных работ и подтверждение целесообразности дальнейшей грантовой поддержки со стороны РФФИ.

На конкурс по теме «Фундаментальные свойства и фазовые превращения адронной и кварк-глюонной материи: установка класса мегасайенс «Комплекс NICA», объявленный в 2018 г., было представлено 97 предложений. Гранты получили 36 проектов, т. е. 37% предложений было одобрено экспертными группами фонда.

Конференцию открыл директор ОИЯИ В. А. Матвеев, пожелавший участникам успешной и плодотворной работы. Руководитель дирекции проекта NICA первый вице-директор ОИЯИ Г. В. Трубников отметил, в частности, что РФФИ поддерживает несколько десятков проектов в ОИЯИ, и в основном по строящемуся ускорительному комплексу NICA, и что несколько сот ученых всего мира присоединились к коллаборации, в том числе благодаря поддержке РФФИ.

На открытии конференции выступил заместитель председателя Совета РФФИ В. В. Квардаков, который озвучил приветствие участникам конференции от председателя Совета РФФИ В. Я. Панченко. В. В. Квардаков ознакомил участников с деятельностью фонда, созданного в 1992 г. и объединяющего и поддерживающего сегодня 90 тысяч исследователей в 66 регионах Российской Федерации, в том числе 10 тысяч молодых ученых и специалистов. При поддержке фонда проведено более 300 научных мероприятий, выпущено более 250 книг и монографий. Объединенному институту ядерных исследований гранты выделялись для 266 проектов, и были годы, когда они достигали почти сотни. Всего в 2020 г. РФФИ поддерживал 43 проекта Института. В списке регионов по грантам Дубна занимает

второе место после Москвы, в списке научных центров ОИЯИ на первом месте.

С приветственным словом к участникам конференции обратился также руководитель проекта NICA вице-директор ОИЯИ В. Д. Кекелидзе, который выразил благодарность руководству РФФИ и активным участникам сотрудничества.

Пленарную часть конференции открыли доклады руководителей проекта NICA. Структура проекта и ход работ по его реализации были представлены в докладе Г. В. Трубникова, о коллаборации MPD рассказал А. Кищель, о физической программе и модернизации установки VM@N доложил П. Зингер, О. В. Теряев описал вклад теоретиков ОИЯИ в физическую программу NICA. Несколько докладов были посвящены разработке концепции SPD. Всего был заслушан 51 пленарный доклад и 52 на шести параллельных секциях, в том числе обзоры по ускорительным комплексам FAIR, LHC и RHIC. Материалы конференции будут опубликованы в специальных выпусках журнала «Физика элементарных частиц и атомного ядра» (ЭЧАЯ) в 2021 г.

26–27 октября в ЛФВЭ проходило **6-е коллаборационное совещание эксперимента VM@N**, на котором были рассмотрены вопросы международного сотрудничества, связанные с процессом усовершенствования экспериментальной установки VM@N для будущих работ на пучках тяжелых ионов в рамках реализации мегасайенс-проекта NICA.

Открыл работу совещания руководитель проекта NICA вице-директор ОИЯИ В. Д. Кекелидзе. Совещание было проведено с использованием средств видеоконференцсвязи, посредством которой в совещании имели возможность принять участие около 120 зарегистрированных специалистов из разных стран. Заседания традиционно проводились по трем пленарным секциям, посвященным детекторам, программному обеспечению и обработке экспериментальных данных.

На пленарных заседаниях по эксперименту VM@N активно обсуждались последние результаты анализа экспериментальных данных, полученных с использованием релятивистских пучков ионов углерода и аргона. В ходе облучения установки зарегистрировано около 150 миллионов событий, анализ которых позволил получить информацию о рождении странных частиц, полученных при взаимодействии пучков ионов «средней» тяжести с различными мишенями. Немалый интерес вы-

звал доклад научных партнеров эксперимента $BM@N$ о статусе проекта SRC. Исследования по поиску короткодействующих нуклон-нуклонных корреляций в рамках SRC проходят с использованием детекторных подсистем установки $BM@N$. Много внимания было уделено обсуждению статуса работ по подготовке детектора $BM@N$ к экспериментальной программе SRC в 2021 г. На параллельных секциях подробно обсуждались вопросы, связанные с развитием программного обеспечения детекторных подсистем установки и анализом экспериментальных данных.

В целом участниками совещания был отмечен явный прогресс как в области анализа экспериментальных данных, так и в подготовке установки к будущим сеансам, первый из которых запланирован на осень 2021 г.

С перечнем докладов и презентациями можно ознакомиться по ссылке <https://indico.jinr.ru/event/1533/timetable/#20201026>.

28–30 октября в ЛФВЭ в режиме видеоконференции проходило **6-е рабочее совещание коллаборации MPD**. В его работе приняло участие около 150 ученых и специалистов из Европы, Азии и Америки, что позволило организовать живые, интересные и конструктивные дискуссии. В начале совещания с приветствием к участникам обратился директор лаборатории, руководитель проекта NICA В. Д. Кекелидзе.

С. А. Костромин выступил с докладом о ходе работ по созданию ускорительного комплекса NICA, подробно описав степень готовности каждого из многочисленных элементов проекта. Работы идут полным ходом, как подытожил докладчик, чтобы первый сеанс на коллайдере NICA был проведен в конце 2022 г.

Подробный доклад о состоянии дел относительно проекта MPD представил руководитель коллаборации MPD А. Кищель. Он отметил устойчивый рост международного сотрудничества и активность участников коллаборации MPD в подготовке к программе физического анализа в рамках рабочих групп по физике MPD PWG (MPD Physics Working Groups), а также значительное количество докладов, представленных по тематике MPD за последнее время на крупных научных конференциях.

Руководитель проекта MPD В. М. Голова-тюк детально озвучил план работ. Также были представлены подробные отчеты о состоянии дел по основным детекторам, таким как время-проекционная камера TPC (Time Pro-

jection Chamber), времяпролетная камера TOF (Time-of-Flight) и электромагнитный калориметр (ECal). Большое значение имеет начало производства китайскими институтами модулей ECal благодаря недавно подписанному соглашению с Министерством науки и технологий Китая и выделению целевого финансирования.

Во второй день работы прозвучали детальные доклады по развитию программного обеспечения и вычислительной инфраструктуры MPD, расположенной в ЛФВЭ, а также в ЛИТ ОИЯИ. В ходе специального заседания руководящий состав коллаборации MPD (MPD Institutional Board) одобрил выделение общего фонда коллаборации и обсудил ряд других ключевых организационных вопросов.

Последний день совещания был посвящен углубленному обзору программы физического анализа, приуроченной к запуску ускорительного комплекса NICA. В обсуждении принимали участие руководители рабочих групп по физике MPD, а также ряд участников коллаборации из международных научных центров.

С 9 по 13 ноября в онлайн-формате проходила **24-я Международная научная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ (ОМУС-2020)**. В конференции участвовало 138 человек, из них 108 от ОИЯИ и 30 коллег из 23 университетов и научных центров Вьетнама, Германии, Индии, Казахстана, Польши, России, Румынии, Сербии, Словакии и Украины.

Пленарная лекция конференции, проведенная первым вице-директором ОИЯИ Г. В. Трубниковым, была посвящена плану долгосрочного развития Института. Также в программу конференции вошли 4 лекции по актуальным проблемам современной науки. О жизни нейтронных звезд с эволюционирующим магнитным полем рассказал профессор Астрономического института им. П. К. Штернберга МГУ С. Б. Попов. Об открытии бозона Хиггса и некоторых результатах работы LHC от коллаборации ATLAS сообщил профессор Р. Оспанов. Сотрудница Российского института радиологии и агроэкологии П. Ю. Волкова рассказала о важности космических технологий в радиационной биологии. Завершил пленарную часть конференции директор ЛНФ В. Н. Швецов докладом о нейтронной программе в ОИЯИ. Видеозаписи пленарных лекций можно просмотреть на сайте конференции и на YouTube-канале jinrtv.

В свою очередь, участники конференции представили 115 устных докладов в 9 секциях. Тематика докладов касалась таких тем, как теоретическая физика, математическое моделирование и вычислительная физика, физика высоких энергий, ускорители частиц и ядерные реакторы, экспериментальная ядерная физика, прикладные исследования, информационные технологии, физика конденсированных

сред, науки о жизни. Научные сотрудники ОИЯИ, возглавлявшие секции, оценивали и выбирали лучшие работы, авторы которых награждались почетными дипломами.

Несмотря на онлайн-формат, конференция прошла в дружественной атмосфере, позволила ее участникам познакомиться с коллегами из разных стран и обсудить результаты своих исследований.

УЧАСТИЕ В МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНФЕРЕНЦИЯХ

В 2020 г. ученые и специалисты Объединенного института ядерных исследований участвовали в 183 международных конференциях и совещаниях.

Наиболее крупные делегации представляли Институт на 15-м совещании коллаборации JUNO (Наньнин, Китай); совещании по сетям LHCOPN и LHCONE (Женева, Швейцария); 33-м совещании по воздействию воздушных загрязнений на естественную и сельскохозяйственную растительность (международная кооперативная программа UNECE) (Рига, Латвия); собрании (научной конференции) секции палеонтологии Московского общества испытателей природы и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН «Палеострат-2020» (Москва, Россия); 4-м совещании по блокчейн-платформе EOS (Женева, Швейцария); конференции «Корреляции в партонных и адронных взаимодействиях» (CPHI-2020) (Женева, Швейцария); 5-м тематическом семинаре «Современные аспекты в ядерной структуре» (Бормио, Италия); совещании Научно-консультативного комитета FAIR-CZ (Прага, Чехия); 3-м Всероссийском научно-образовательном конгрессе «Онкорadiология, лучевая диагностика и терапия» (Москва, Россия); выездном совещании по сборке модулей и ледеров для силиконовой трековой системы (Гразелленбах, Германия); стартовом совещании по проекту CREMLINplus (Гамбург, Германия); 21-й Зимней молодежной школе по биофизике и молекулярной биологии (Репино, Россия); 2-й конференции по нейтринной и ядерной физике (CNNP2020) (Клейнмонд, ЮАР); ежегодном совещании NUSTAR (Дармштадт, Германия); 38-м совещании коллаборации NADES (Дрезден, Германия); сессии-конференции Секции ядерной физики ОФН РАН (Новосибирск, Россия); 24-м Международном симпозиуме «Нанofизика и нанoeлектрони-

ка» (Нижний Новгород, Россия); 54-й Школе ПИЯФ по физике конденсированного состояния (ФКС-2020) (С.-Петербург, Россия); 10-й Всероссийской конференции «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем» (ИТТММ, онлайн) (Москва, Россия); 27-й Научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов (в университете «Дубна») (Дубна, Россия); научной конференции «Новые материалы XXI века: разработка, диагностика, использование» (Москва, Россия); 16-м Международном коллаборационном совещании по эксперименту JUNO (онлайн) (Пекин, Китай); 40-й Международной конференции по физике высоких энергий (ICHEP 2020; онлайн) (Прага, Чехия); Азиатско-Тихоокеанском симпозиуме по теории решеточного поля (APLAT 2020; онлайн) (Цукуба, Япония); международной конференции «Нанотехнология и наноматериалы» (NANO-2020; онлайн) (Львов, Украина); совещании «Компьютерная алгебра в научном компьютеринге» (CASC 2020; онлайн) (Линц, Австрия); 7-м Международном конгрессе «Потоки энергии и радиационные эффекты» (EFRE 2020) (Томск, Россия); 21-й Международной конференции «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле» (Москва, Россия); научной конференции «Суперкомпьютерные дни в России» (онлайн) (Москва, Россия); 2-й Международной конференции по молекулярному моделированию и спектроскопии (ICMMS2; онлайн) (Каир, Египет); 5-й Международной конференции по физике частиц и астрофизике (ICPPA-2020; онлайн) (Москва, Россия); 1-м Национальном конгрессе по когнитивным исследованиям, искусственному интеллекту и нейротехнологиям (CAICS 2020; онлайн) (Москва, Россия); Всероссийском фестивале науки

«Наука 0+» (Москва, Россия); 70-й Международной конференции «Ядро-2020. Ядерная физика и физика элементарных частиц. Ядерно-физические технологии» (1-я часть, онлайн) (С.-Петербург, Россия); Международной конференции по компьютерному моделированию в физике и за ее пределами (CSP 2020) (Москва, Россия); конференции «Полиномиальная компьютерная алгебра» (С.-Петербург, Россия); 36-м совещании коллаборации CBM (онлайн) (Дармштадт, Германия); 3-й Международной конференции и выставке «Современные сетевые технологии» (Москва, Россия); 12-й Международной конференции «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология» (CFPMST 2020) (Троицк, Россия); 32-м Международном совещании по физике высоких энергий «Актуальнейшие проблемы сильных взаимодействий» (онлайн) (Протвино, Россия); международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2020» (онлайн) (Москва, Россия); 2-м Международном конгрессе тюркского мира по науке и инжинирингу (TURK-COSE 2020; онлайн) (Нур-Султан, Казахстан); 2-й Школе молодых ученых «Высокопроизводительные платформы для цифровой экономики и научных проектов класса мегасайенс» (Москва, Россия); Всероссийской научно-практической конференции «Природа. Общество. Человек» (Дубна, Россия); 10-й конференции (школе для студентов) «Мир ядерной физики» (онлайн) (Белвилл, ЮАР); научной конференции «50 лет

Институту ядерных исследований Российской академии наук» (онлайн) (Троицк, Россия); совещании «Новые достижения в математической физике» (онлайн) (Бонн, Дубна, Ереван, Тбилиси); 7-м Евразийском конгрессе по научным исследованиям и новым направлениям (Баку, Азербайджан); конференции «Космические лучи и нейтрино в мультимессенджерную эру» (онлайн) (Париж, Франция); 32-м совещании коллаборации Daya Bay (онлайн) (Пекин, Китай); онлайн-конференции «Поливанов — 90» (памяти М. К. Поливанова) (Москва, Россия); Летней школе по физике SAINTS@tlabs (2-я Школа ОИЯИ–ЮАР в лабораториях iThemba) (Сомерсет-Уэст, ЮАР); совещании ЮАР–ОИЯИ по дорожной карте сотрудничества в теоретической физике (1-е совещание ЮАР–ОИЯИ по теоретической физике) (Франшхук, ЮАР); совещании в формате круглого стола ЮАР–ОИЯИ «Эксперименты с пучками легких радиоактивных ионов на фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2» (Претория, ЮАР); 30-м заседании объединенного комитета по сотрудничеству IN2P3–ОИЯИ (Париж, Франция); рабочем совещании «Перспективы сотрудничества с евразийскими странами-членами ОИЯИ» (Баку, Азербайджан); Открытых днях ОИЯИ в Сербии (Белград, Сербия); 9-й конференции молодых ученых и специалистов ОИЯИ «Алушта-2020» (Алушта, Россия); 20-й ИГУ–ОИЯИ Байкальской школе по физике элементарных частиц и астрофизике (онлайн) (Большие Коты, Россия).

СПРАВКА О РАЗВИТИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА И СВЯЗЕЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗА 2020 Г.

1. Краткосрочные командировки в ОИЯИ специалистов стран-участниц (не считая российских специалистов)	113
2. Командировки в ОИЯИ специалистов из других стран, в том числе из стран ассоциированного участия	127 63
3. Командировки специалистов ОИЯИ в страны-участницы (без командировок по России)	256
4. Командировки сотрудников ОИЯИ в другие страны, в том числе в страны ассоциированного участия	399 127
5. Конференции, школы, совещания, проведенные ОИЯИ	40
6. Новые соглашения о сотрудничестве (меморандумы о намерениях), приложения к существующим	180

КОНФЕРЕНЦИИ, ШКОЛЫ, СОВЕЩАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ ОИЯИ В 2020 ГОДУ ¹

Номер	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
1.	Летняя школа по физике SAINTS@tlabs (2-я Школа ОИЯИ–ЮАР в лабораториях iThemba)	Соммерсет-Уэст, ЮАР	9–30 января	61
2.	51-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред	Дубна	20–21 января	71
3.	Совещание подгруппы WSG-5 международной рабочей группы для подготовки стратегического плана развития ОИЯИ	Дубна	21 января	20
4.	Совещание ЮАР–ОИЯИ по дорожной карте сотрудничества в теоретической физике (1-е Совещание ЮАР–ОИЯИ по теоретической физике)	Франшхук, ЮАР	26–28 января	40
5.	27-я Международная конференция «Математика. Компьютер. Образование»	Дубна	27 января–1 февраля	225
6.	51-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике	Дубна	30–31 января	24
7.	Совещание в формате круглого стола ЮАР–ОИЯИ «Эксперименты с пучками легких радиоактивных ионов на фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2»	Претория, ЮАР	30–31 января	15
8.	52-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц	Дубна	3–4 февраля	44
9.	30-е заседание Объединенного комитета по сотрудничеству IN2P3–ОИЯИ	Париж, Франция	11 февраля	10
10.	9-й открытый турнир по робототехнике (CyberDubna 2020)	Дубна	14–16 февраля	67
11.	Международный симпозиум «Проблемы и тенденции стратегического развития современной физики»	Дубна	19 февраля	49
12.	127-я сессия Ученого совета ОИЯИ	Дубна	20–21 февраля	73
13.	Заседание комитета по анализу расходов и планов реализации проекта «Комплекс NICA»	Дубна	24–26 февраля	17
14.	15-я Международная стажировка «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-15)	Дубна	25–28 февраля	13 ²
15.	Рабочее совещание «Перспективы сотрудничества с евразийскими государствами-членами ОИЯИ»	Баку, Азербайджан	1–5 марта	14
16.	Открытые дни ОИЯИ в Сербии	Белград, Сербия	5–6 марта	150
17.	5-е коллаборационное совещание эксперимента VM@N на установке NICA (онлайн)	Дубна	20–21 апреля	108
18.	5-е коллаборационное совещание эксперимента MPD на установке NICA (онлайн)	Дубна	22–23 апреля	157

¹ Ряд конференций проведен совместно с другими организациями.

² Указано только количество приезжавших для участия в стажировке.

Номер	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
19.	11-я сессия международного экспертного комитета по проекту ускорительного комплекса NICA (онлайн)	Дубна	27 мая	28
20.	Сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (онлайн)	Дубна	19 июня	79
21.	Стартовое совещание по совместному проекту ОИЯИ–ЮАР «Ядерно-физические методы в экологических исследованиях на южном побережье Африки с использованием водных биомониторов» (онлайн)	Дубна	23 июня	6
22.	52-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике	Дубна	25 июня	70
23.	53-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц (онлайн)	Дубна	29 июня	51
24.	52-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред	Дубна	2 июля	70
25.	32-я Летняя международная компьютерная школа (онлайн)	Дубна	20 июля– 1 августа	37
26.	Летняя школа молодых ученых и специалистов ОИЯИ «Липня-2020»	Дубна (Липня)	24–26 июля	65
27.	128-я сессия Ученого совета ОИЯИ (онлайн)	Дубна	17 сентября	76
28.	9-я Ежегодная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ в Алуште («Алушта-2020»)	Пансионат «Дубна», Алушта	26 сентября – 3 октября	64
29.	20-я Байкальская летняя школа ОИЯИ–ИГУ по физике элементарных частиц астрофизике (онлайн)	Большие Коты, Россия	15–26 октября	55
30.	Конференция «Проекты РФФИ для NICA» (онлайн)	Дубна	20–23 октября	184
31.	6-е коллаборационное совещание эксперимента VM@N на установке NICA (онлайн)	Дубна	26–27 октября	118
32.	6-е коллаборационное совещание эксперимента MPD на установке NICA (онлайн)	Дубна	28–30 октября	151
33.	Совещание рабочей группы по финансовым вопросам ОИЯИ при председателе КПП (онлайн)	Дубна	29 октября	36
34.	24-я Международная научная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ (ОМУС-2020, онлайн)	Дубна	9–13 ноября	121
35.	Заседание Финансового комитета ОИЯИ (онлайн)	Дубна	19 ноября	59
36.	Сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (онлайн)	Дубна	23 ноября	83

Проводились также заседания Научно-технического совета ОИЯИ (5).

Кроме того, ОИЯИ был одним из трех организаторов 70-й Международной конференции «Ядро-2020. Ядерная физика и физика элементарных частиц. Ядерно-физические технологии» (1-я часть, онлайн), одним из организаторов 27-го международного семинара «Нелинейные явления в сложных системах».

**Объединенный
институт
ядерных
исследований
является
международной
межправительственной
научно-исследовательской
организацией,
строящей
свою деятельность
на принципах
ее открытости
для участия всех
заинтересованных государств,
их равноправного
взаимовыгодного сотрудничества.**

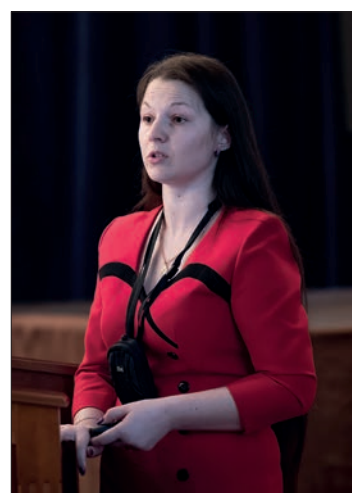


Дубна, 19 июня.
Участники сессии
КПП ОИЯИ



Дубна, 23 ноября. Сессия КПП ОИЯИ,
на которой директором Института был избран
академик Г.В. Трубников (слева)





Дубна, 20–21 февраля. 127-я сессия Ученого совета ОИЯИ



Дубна, 17 сентября. 128-я сессия Ученого совета ОИЯИ в формате видеоконференции



Дубна, 19 ноября. Заседание Финансового комитета ОИЯИ



Дубна, 30–31 января. Участники 51-й сессии ПКК по ядерной физике



Дубна, 20–21 января. 51-я сессия ПКК по физике конденсированных сред

Дубна, 3–4 февраля. 52-я сессия ПКК по физике частиц





Дубна, 25–27 февраля. Визит в ОИЯИ делегации Университета Претории (ЮАР)
во главе с проректором Т.Купе

Баку, 2 марта. Рабочее совещание
«Перспективы сотрудничества с евразийскими государствами-членами ОИЯИ»





Белград (Сербия), 4–7 марта. Открытые дни ОИЯИ в Сербии





Дубна, 20 июля. Вручены дипломы ОИЯИ о присуждении ученой степени. Справа налево: Г. В. Трубников, В. Д. Кекелидзе, В. А. Матвеев, Д. Сумхуу, А. В. Руткаускас, М. М. Омеляненко, В. А. Арефьев, А. С. Сорин, О. В. Белов

Дубна, 26 августа. Торжественное открытие года российско-китайского научно-технического и инновационного сотрудничества с участием делегации ОИЯИ по видеосвязи





Дубна, 18 сентября. Мемориальный семинар и возложение цветов, посвященные 110-летию со дня рождения М.Г.Мещерякова





Дубна, 25 сентября. Посещение ОИЯИ первым заместителем председателя Комитета Государственной Думы Федерального Собрания РФ по охране здоровья Н. П. Саниной (в центре)

Дубна, 18 сентября. Участие делегации ОИЯИ в 24-м заседании Российско-китайской подкомиссии по научно-техническому сотрудничеству, проходившем в формате видеоконференции







Дубна, 22–23 октября.
Выездное заседание Комитета Совета Федерации по науке, образованию и культуре





Москва, 16 декабря. Выступление директора ЛФВЭ, вице-директора ОИЯИ члена-корреспондента РАН В. Д. Кекелидзе с докладом в Совете Федерации РФ (фото: Совет Федерации)



Декабрь. Онлайн-открытие Информационного центра ОИЯИ на базе Академии научных исследований и технологий Арабской Республики Египет. Приветственное выступление директора ОИЯИ В. А. Матвеева по видеосвязи

2020

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ
ПРОГРАММЫ ОИЯИ**

JOINT INSTITUTE
FOR NUCLEAR
RESEARCH

IINR



ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМ. Н. Н. БОГОЛЮБОВА

В 2020 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 в деятельности лаборатории является теоретическая поддержка экспериментальных исследований в ОИЯИ и в других исследовательских центрах с участием ОИЯИ. По результатам проведенных исследований опубликовано около 470 статей в рецензируемых журналах и трудах конференций и одна монография. Ряд исследований был выполнен в сотрудничестве с учеными из стран-участниц ОИЯИ, а также из Бразилии, Германии, Египта, Индии, Италии, Китая, Франции, Южной Африки и ряда других стран. Ежегодно ЛТФ является местом проведения научных мероприятий самого высокого уровня. В 2020 г. лабораторией планировалось организовать 13 конференций и рабочих совещаний и 3 школы для студентов и молодых ученых. Однако в связи с пандемией нового коронавируса все эти мероприятия были перенесены на следующий год или отменены. В то же время сотрудниками ЛТФ было сделано более 110 докладов на более чем 60 российских и зарубежных конференциях и рабочих совещаниях как очно, так и на мероприятиях, проводимых в онлайн-формате. Международное сотрудничество ЛТФ было поддержано грантами полномочных представителей Болгарии, Чехии, Польши, Слова-

кии, Венгрии, Румынии, дирекции ОИЯИ. Сотрудничество с теоретиками ряда стран проходило при поддержке специальных программ: «Гейзенберг–Ландау» (Германия), «Сморodinский–Тер-Мартirosян» (Армения), «Боголюбов–Инфельд» (Польша), «Блохинцев–Вотруба» (Чехия), «Цицейка–Марков» (Румыния). Ряд исследований был выполнен в рамках международных соглашений ОИЯИ–INFN (с Италией), ОИЯИ–IN2P3 (с Францией). Продолжается активное сотрудничество с теоретиками ЦЕРН, Азиатско-Тихоокеанским центром теоретической физики (Республика Корея), Институтом теоретической физики АН КНР. 16 исследовательских проектов были поддержаны грантами РФФИ, 3 исследовательских проекта — грантами РФ. Традиционно много внимания уделялось привлечению к работе молодых исследователей, студентов и аспирантов, в том числе в рамках научно-образовательного проекта «Дубненская международная школа по теоретической физике» (DIAS-TH), однако в связи с пандемией коронавируса программа по работе с иностранными молодыми учеными была значительно сокращена. Лаборатория играет роль учебного центра для молодых ученых и студентов из многих стран. В настоящее время около трети научных кадров лаборатории составляют молодые ученые и аспиранты, в ней на долгосрочной основе работают несколько молодых исследователей из стран, не являющихся странами-участницами ОИЯИ: Египта, Индии, Ирана, Китая, Таджикистана и Японии.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фундаментальные взаимодействия полей и частиц. В 2020 г. работа проводилась в рамках следующих проектов:

- квантовая теория поля и физика за пределами Стандартной модели (СМ);
- КХД и спиновая/трехмерная структура адронов;
- феноменология сильных взаимодействий и прецизионная физика;
- теория адронной материи при экстремальных условиях;
- теория электрослабых взаимодействий и физики нейтрино.

Изучена калибровочная ковариантность безмассового фермионного пропагатора в трехмерной квантовой электродинамике без внутренних фермионных петель в рамках размерной регуляризации. В предположении конечности коэффициентов пертурбативного разложения и с использованием знания структуры преобразования Ландау–Халатникова–Фрадкина получено, что точно в трехмерии все нечетные пертурбативные коэффициенты, начиная с третьего, должны быть равны нулю в любой калибровке [1].

В рамках расширения минимальной суперсимметричной СМ с дополнительной $U(1)$ калибровочной симметрией проведен анализ возможности объяснения так называемых флейворных аномалий в распадах $B \rightarrow K^{(*)}ll$. Предложен сценарий с неуниверсальными $U(1)$ зарядами, не только позволяющий решить проблему аномалий, но и предсказывающий определенную иерархию между наблюдаемыми R_K и R_{K^*} , измеренное значение которых указывает на возможную лептонную неуниверсальность новой физики. Вдобавок к этому в рамках суперсимметричной СМ, близкой к минимальной, с легкими скалярными бозонами было проведено исследование угловых наблюдаемых в распаде $B \rightarrow K^{*}ll$, чувствительных к вкладам от скалярных операторов [2].

Выполнены трехпетлевые вычисления, позволяющие с лучшей точностью извлекать бегущую сильную константу связи, а также бегущие массы из решеточных расчетов [3].

В эпоху формирования фон реликтовых нейтрино содержал равные доли электронных, мюонных и таонных нейтрино. Показано, что гравитационное поле нашей Галактики и других близлежащих космических объектов изменяет этот состав вблизи Солнечной системы, в

результате чего реликтовый фон обогащается таонными и особенно мюонными нейтрино, а электронные реликтовые нейтрино — самые редкие для земного наблюдателя [4].

Измерения брэнчингов полулептонных распадов $B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu_{\tau}^{-}$ и $B_c \rightarrow J/\psi\tau\nu_{\tau}^{-}$ систематически превышают предсказания Стандартной модели, указывая на возможные сигналы новой физики, которые могут нарушить универсальность лептонного аромата. Проявление новой физики, реализованной в этих каналах, исследовано с помощью общего эффективного гамильтониана, построенного из четырехфермионных операторов и соответствующих коэффициентов Вильсона. Выполнено фитирование новых коэффициентов Вильсона с использованием адронных формфакторов из ковариантной модели составляющих кварков. Изучены несколько сценариев новой физики, что актуально в свете будущих экспериментальных исследований [5].

Исследованы общие свойства формфакторов распада B -мезона $F(q^2, q'^2)$, описывающие распады B -мезона под действием двух токов, например B -распад на четыре лептона в конечном состоянии. Изучены аналитические свойства этих сложных объектов, и идентифицированы те области q^2 и q'^2 , где пертурбативная КХД может быть применена к получению предсказаний для физических формфакторов [6].

Впервые вычислены энергии переходов в молекулярном ионе HD^+ с рекордной точностью $\sim 10^{-11}$ в рамках нерелятивистской квантовой электродинамики. Измеренные частоты ротационного перехода позволили получить наиболее точную проверку предсказаний КЭД в трехчастичном секторе на уровне $5 \cdot 10^{-11}$, ограниченном текущими неопределенностями фундаментальных констант. Определено значение комбинаций фундаментальных констант $R_{\infty} m_e(m_p^{-1} + m_d^{-1})$ и m_p/m_e с относительной точностью $2 \cdot 10^{-11}$. Полученные результаты более чем в 20 раз улучшают границу для гипотетической пятой силы взаимодействия между протоном и дейтроном [7].

Доказана теорема, обобщающая тождество Наумова–Харрисона–Скотта на случай переноса нейтрино в поглощающей среде. Обобщенное тождество устанавливает соответствие между известной комбинацией фундаментальных параметров лептонного сектора

Стандартной модели (углов смешивания, фазы CP -нарушения, разностей квадратов масс нейтрино) с ее эффективным аналогом в веществе, включающим коэффициенты преломления, сечения неупругих взаимодействий нейтрино и параметры среды. Тожество полезно при изучении трансформации пучков нейтрино с мягким граничным спектром в астрофизических средах (релятивистских струях, ударных волнах, активных ядрах галактик и др.) с оптической толщиной, превышающей длину среднего свободного пробега нейтрино [8].

Продолжено развитие ковариантной квантово-полевой теории нейтринных осцилляций. Получен ряд новых результатов, в частности доказана теорема о факторизации адронных блоков связанной макродиаграммы на больших расстояниях между вершинами; детально изучены свойства тензоров перекрытия (определяющих пространственно-временные области взаимодействия внешних волновых пакетов), и получен их явный вид для основных процессов рождения и поглощения нейтрино, необходимый для практических расчетов эффектов декогерентности. Предсказан ряд эффектов, потенциально наблюдаемых в наземных и астрофизических экспериментах по изучению нейтринных осцилляций, в частности изучен новый режим осцилляций на сверхдлинных (астрономических) базах [9].

Развит феноменологический метод расчета дифференциальных сечений квазиупругого взаимодействия (анти)нейтрино с ядрами, основанный на стандартной модели релятивистского ферми-газа и введении в аксиальный (дипольный) формфактор двухпараметрической функции $M_A^{\text{rnm}}(E_\nu)$ — так называемой бегущей аксиальной массы нуклона. Параметры этой функции получены из детального статистического анализа имеющихся ускорительных данных [10].

Продемонстрирована реализация кси-процесса, примененного для амплитуды глубоко-виртуального комптоновского рассеяния, обеспечивающего как КХД, так и КЭД калибровочную инвариантность. Представленное доказательство является очень важным для формирования контурной калибровки, которая может быть применима для различных процессов. В отличие от стандартной калибровки аксиального типа контурная калибровка, будучи представителем нелокальной калибровки, не обладает остаточной калибровочной свободой, которая ведет к значительным трудностям при практических вычислениях [11].

Исследованы процессы $\tau^- \rightarrow \pi^+\pi^-\nu_\tau$ и $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ с выходом за рамки $1/N_c$ -при-

ближения. Показано, что учет взаимодействия пионов в конечном состоянии играет очень важную роль в этих процессах. Полученные результаты находятся в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными. Вычислены ширины распадов $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ и $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$. Неопределенность, связанная с поверхностными членами аномальных треугольных диаграмм, использовалась для удовлетворения низкоэнергетических теорем для этих процессов. Кроме того, обнаружена новая возможность извлечения угла синглет-октетного смешивания с помощью этих распадов [12].

Установлено, что гидродинамические свойства релятивистской среды, связанные с ускорением, определяются явлением на стыке квантовой теории поля и гравитации — эффектом Унру. Этот вывод основан на вычислении квантовых поправок, связанных с ускорением, в четвертом порядке теории возмущений квантовой теории поля при конечных температурах: показано, что они в точности удовлетворяют соотношениям, следующим из эффекта Унру. Рассмотрен широкий спектр полевых теорий: теория действительных и комплексных скалярных полей в рамках обычной и конформно-симметричной формулировок, теория полей Дирака, случаи массивных и безмассовых полей. В случае массивных скалярных полей показано существование инфракрасных расходимостей при вычислении квантово-полевых поправок с ускорением и произведено суммирование бесконечного ряда инфракрасно расходящихся интегралов, приводящее к конечному (ранее неизвестному) непертурбативному вкладу [13].

Парадокс заряда, движущегося в замкнутом пространстве, решен с использованием интегральных уравнений Максвелла. Показано, что среднее электрическое поле локализованных зарядов не зависит от их лоренц-факторов. Среднее электрическое поле движущихся в ядре протонов совпадает с соответствующим полем покоящихся протонов, распределенных в пространстве с той же плотностью заряда. Электрическое поле закрученного электрона эквивалентно полю центроида с неподвижными зарядами, пространственное распределение которых определяется волновой функцией закрученного электрона [14].

В рамках квазипотенциального метода в квантовой электродинамике выполнен прецизионный расчет электронного лэмбовского сдвига ($2P-2S$) и энергетических интервалов ($1S-2S$) и ($1S-3S$), а также изотопического сдвига для ионов мюонного лития, бериллия

и бора и электронного и мюонного водорода. Результаты по вычислению вклада света на свете в аномальный магнитный момент мюона учтены при подготовке детального обзора по аномальному магнитному моменту мюона в Стандартной модели [15].

Исследована вакуумная структура и спектр возбуждений в модели с динамическим нарушением симметрии электрослабых взаимодействий. Сформулирован новый подход к изучению данной задачи, основанный на методе Швингера–Девитта. Показано, что в отличие от широко распространенной точки зрения модель топ-конденсации в состоянии описать феноменологические значения массы Хиггса, топ- и боттом-кварков. Этот результат делает предпочтительным сценарий топ-конденсации [16].

Методами решеточного суперкомпьютерного моделирования изучена проводимость кварк-глюонной плазмы во внешних магнитных полях. Получена первая оценка проводимости в КХД с физическими массами кварков. Обнаружено, что ненулевое магнитное поле приводит к росту проводимости в параллельном направлении, что подтверждает существование кирального магнитного эффекта. В перпендикулярном направлении проводимость падает с ростом магнитного поля — это явление магнитосопротивления в кварк-глюонной плазме [17].

В рамках решеточного моделирования изучено влияние вращения на фазовый переход конфайнмент/деконфайнмент в $SU(3)$ -глюодинамике путем перехода во вращающуюся систему отсчета, где вращение задается с помощью внешнего гравитационного поля. Петля Полякова и ее восприимчивости вычислялись для разных значений температуры и угловых скоростей. Обнаружено, что критическая температура перехода конфайнмент/деконфайнмент в $SU(3)$ -глюодинамике увеличивается с ростом угловой скорости [18].

Глобальная поляризация Λ и анти- Λ рассчитана на основе аксиального вихревого эффекта. Моделирование выполняется в рамках модели трехжидкостной динамики. Уравнения состояния с переходом деконфайнмента приводят к хорошему согласию с данными STAR как для Λ -, так и для анти- Λ -поляризации, в частности с Λ -анти- Λ -расщеплением. Сделаны предсказания глобальной поляризации в предстоящих экспериментах при энергиях NICA [19].

С помощью гидродинамического моделирования для широкого набора уравнений состояния плотной адронной материи систематичес-

ки определена пороговая масса M для мгновенного образования черной дыры при слиянии асимметричных нейтронных звезд с равными массами. Разработан наиболее прямой, общий и точный метод определения максимальной массы невращающихся нейтронных звезд из наблюдений их слияния. Из рассмотрения гибридных уравнений состояния с фазовым переходом адрон–кварк идентифицирована новая наблюдаемая сигнатура кварковой материи в слияниях нейтронных звезд. Эти результаты имеют прямое применение также к поиску гравитационных волн, интерпретациям килоновых звезд и ограничениям мультимессенджером на свойства нейтронных звезд [20].

Изучены фазы комплексных векторных полей нейтральных и заряженных бозонов. Учтена зеemannовская связь векторного бозонного поля с магнитным полем. Показано, что при определенных условиях такие системы могут вести себя как ферромагнитные сверхтекучие системы. Изучен отклик на внешнее однородное статическое магнитное поле H . Рассмотрено спин-триплетное спаривание нейтральных фермионов при сохраненном спине, и найдены новые фазы. Во внешнем магнитном поле фаза с нулевым средним спином оказывается неустойчивой к образованию фазы с ненулевым спином. При определенном выборе параметров ферромагнитные сверхтекучие фазы образуются уже при $H = 0$ и характеризуются собственным магнитным полем h . Показано, что при $H > H_{cr}$ спин-триплетное спаривание и ферромагнитная сверхтекучесть могут продолжать существовать выше критической температуры фазового перехода. Изучено спин-триплетное спаривание заряженных фермионов, найдены новые фазы. Изучено $3P_2$ nn -спаривание в веществе нейтронных звезд. Рассмотрено pp -спаривание в $3P_2$ -состоянии, возможное в сердцевинах наиболее массивных нейтронных звезд, а также $3S_1$ np -спаривание в конечных ядерных системах: в ядрах и системах, образующихся на время в ядро-ядерных столкновениях [21].

На основе метода функциональной ренормгруппы проведено исследование критического поведения $SU(N)$ симметричной матричной модели. Полученные непертурбативные ренормгрупповые уравнения позволяют, в частности, единообразно исследовать предел слабой связи, соответствующий результатам эпсилон-разложения, и предел больших N . Численное решение показывает существование флуктуационно-индуцированного фазового перехода первого рода при числе флейворов

$N > 3$; данное поведение сохраняется и в пределе бесконечно большого N [22].

Теория ядерных систем. В 2020 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.

Вычислены скорости захвата электронов нейтронно-избыточными ядрами с $N = 50$ (^{78}Ni , ^{82}Ge , ^{86}Kr , ^{88}Sr) в их основном состоянии и при температуре вещества сверхновой $T = 10^{10}$ К (0,86 МэВ), в коре которой доминируют эти ядра. В согласии с данными недавних экспериментов обнаружено отсутствие гамма-теллеровской (ГТ) силы при низкой энергии возбуждения $E < 7$ МэВ, что является следствием блокировки, возникающей благодаря энергетической щели между оболочками при $N = 50$. Показано, что при конечной температуре блокировка снимается из-за тепловых возбуждений, что приводит к значительному вкладу ГТ-переходов в захват электронов. Данные результаты показывают, что нейтронно-избыточные ядра с $N = 50$ участвуют в захвате электронов во время коллапса сверхновой [23].

Изучен спектр 1^+ -состояний в ^{130}In , заселяемых при β -распаде ^{130}Cd . Связь между одно- и двухфононными конфигурациями в волновой функции 1^+ -состояний учитывалась в рамках микроскопической модели, основанной на взаимодействии Скирма. Показано, что взаимодействие с двухфононными состояниями [$3^+ \otimes 2^+$], построенными с помощью зарядово-обменных фононов 3^+ , ведет к появлению предсказанных состояний 1^+ . Обнаружена корреляция вероятностей низколежащих $E2$ -переходов между изобар-партнерами в родительских ядрах $^{126,128,130}\text{Cd}$ и дочерних ядрах $^{126,128,130}\text{In}$ [24].

Полученные в (α, α') -экспериментах данные по свойствам изоскалярного гигантского монополярного резонанса (ИГМР) и изоскалярного гигантского квадрупольного резонанса (ИГКР) в $^{92,94,96,98,100}\text{Mo}$ проанализированы в рамках самосогласованного приближения случайной фазы с силами Скирма. Обнаружено, что спаривание и деформация играют важную роль в свойствах основного состояния. Из сравнения ИГМР и ИГКР следует, что относительно небольшая деформация приводит

к связи между монополярной и квадрупольной модами возбуждения [25].

Для будущих экспериментов были предсказаны сечения образования наиболее тяжелых изотопов сверхтяжелых ядер с зарядовыми числами 112–118 в xn -, pxn - и αxn -испарительных каналах реакций полного слияния с ^{48}Ca . Показана возможность получения неизвестных сверхтяжелых изотопов в $1n$ или $2n$ испарительных каналах [26].

Предсказано сосуществование симметричного распределения массы и асимметричного распределения заряда осколков деления [27].

В рамках квантовых немарковских уравнений Ланжевена получены аналитические выражения для чисел заполнения фермионного или бозонного осциллятора, связанного с несколькими термостатами со смешанной статистикой. Изучено влияние статистики системы и термостатов на динамику системы. Связь квантовой системы с термостатом обычно приводит к ее эволюции в сторону асимптотического равновесия. Однако если система связана одновременно с бозонными и фермионными термостатами, а эти термостаты не связаны друг с другом, то такое равновесие может быть никогда не достигнуто. Получено условие достижения асимптотического равновесия [28].

Разработано представление дискретной переменной (prDVR) для квантово-динамических задач с неразделяющимися угловыми переменными. В этом представлении базис prDVR конструируется из сферических функций, ортогонализуемых на сетке квадратур Лебедева и Попова единичной сферы вместо прямого произведения одномерных квадратур. Показано, что использование prDVR на основе двумерных квадратур Лебедева и Попова существенно ускоряет сходимость вычислительной схемы. Причем наиболее быстрая сходимость достигается на prDVR на квадратурах Попова, которые характеризуются наибольшим коэффициентом эффективности [29].

Проведен расчет электромагнитных формфакторов трехнуклонных связанных систем в релятивистском статическом приближении с различными моделями электромагнитных формфакторов нуклонов для квадрата импульса передачи до 10 ГэВ^2 . Также выполнен расчет релятивистских поправок к формфакторам трехнуклонных ядер, связанных с преобразованиями Лоренца. Расчет и последующий анализ показали существенный вклад релятивистских поправок в формфакторы [30].

Вычислен спектр масс основного и возбужденных состояний псевдоскалярных глю-

болов в подходе Бете–Солпитера. Эффективные параметры подобраны из наилучшего описания результатов КХД на решетке. Соответствующие пропагаторы находятся как решения уравнений Дайсона–Швингера в калибровке Ландау. Обе системы уравнений, Дайсона–Швингера и Бете–Солпитера, решаются численно с теми же ядрами взаимодействия и с одними и теми же эффективными параметрами, что обеспечивает самосогласованность подхода. Показано, что с набором эффективных параметров, который в рамках подхода Дайсона–Швингера обеспечивает хорошее описание решеточных данных, решения уравнения Бете–Солпитера демонстрируют очень богатый спектр масс псевдоскалярных глюолов, включая основное состояние, предсказанное расчетами КХД на решетке. Найдены также некоторые возбужденные состояния, не содержащиеся в решеточных подходах. Для каждого состояния вычислены соответствующие парциальные амплитуды Бете–Солпитера [31].

Проведено сравнение термодинамических величин идеального газа адронов и решеточной $(2 + 1)$ -ароматной КХД, масштабированных эффективными факторами вырождения каждой из этих моделей. Обнаружено, что в терминах масштабированных переменных хорошо известная кварк-адронная дуальность решеточной КХД и модели адронного резонансного газа исчезает. Однако масштабированные переменные приводят к кварк-адронной дуальности решеточной КХД и квантового идеального газа каонов и антикаонов, а именно к идеальному газу тех адронов, которые содержат все три кварка (u, d, s) и соответствующие им антикварки. Хотя в идеальном газе каонов фазовый переход отсутствует, в настоящих расчетах масштабированные термодинамические величины идеального газа и решеточной КХД следуют одинаковому качественному поведению и согласуются друг с другом [32].

Проведен последовательный, систематический анализ длины рассеяния взаимодействия векторных мезонов $(\omega, \varphi, J/\psi)$ и протонов. Обнаружена сильная (экспоненциальная) зависимость длины рассеяния от кваркового состава взаимодействующих адронов [33].

Теория сложных систем и перспективных материалов. Исследования в 2020 г. проводились в рамках следующих проектов:

- комплексные материалы;
- наноструктуры и наноматериалы;

• математические модели статистической физики сложных систем.

Исследовано малоугловое рассеяние (SAS) рентгеновских лучей, нейтронов и света асимметричными частицами Януса (AJP) с настраиваемыми структурными и физическими свойствами. Показано, что идентификация AJP и количественное описание их морфологии могут быть достигнуты с помощью метода SAS совместно с вариацией контраста. Этот подход проиллюстрирован аналитическими выражениями для интенсивностей SAS и точек сопоставления контраста для двух типов обычных многофазных AJP. Рассмотрено влияние параметров модели, а также описана структурная эволюция AJP при дейтерировании растворителя. Результаты показывают, что комбинация техники SAS с многофазным моделированием обеспечивает детальную информацию о структуре AJP, которая позволяет идентифицировать их из экспериментальных данных SAS. Моделирование методом Монте-Карло выполнено как для проверки полученных результатов, так и для иллюстрации приведенных выше результатов для сложных AJP, для которых аналитические выражения недоступны [34].

С применением взаимно дополняющих теоретических методов предложен развернутый анализ состава KCeO_2 с эффективным спином $S = 1/2$ на ион церия. Параметры оптимизированной решетки и электронного зонного спектра вычислены в рамках теории функционала плотности в приближении $\text{GGA} + \text{U}$. Мультиплетные состояния иона Ce^{3+} с электронной конфигурацией $4f^1$ вычислены с применением кластерных методов вычислительной квантовой химии. Предсказано необычно большое (до 320 мэВ) расщепление мультиплета кристаллическим полем, что отвечает режиму сильной связи для KCeO_2 . Вычисления выявили тонкий баланс между электростатическими полями от ближайшего лигандного окружения иона Ce и от тригонального поля более далекого кристаллического окружения, что позволяет контролировать форму спиновой функции основного состояния для треугольной решетки делафоссита. Результаты указывают на то, что KCeO_2 представляет собой новую модельную решеточную систему для изучения влияния эффектов сильного кристаллического поля на анизотропные обменные взаимодействия в квантовых магнитных системах с сильным спин-орбитальным взаимодействием [35].

Исследованы нелинейные эффекты в антиферромагнитной зигзаг-фазе расширенной

модели Китаева–Гейзенберга в определенном пределе, который позволяет провести диагонализацию магنونного гамильтониана аналитически. Для различных параметров спинового гамильтониана были рассчитаны спектр и скорость затухания магновов из-за трехчастичного взаимодействия, вызванного анизотропными членами в гамильтониане. Показано, что затухание спиновых волн достаточно велико и должно объяснять наблюдаемые уширения магнонных спектральных пиков в экспериментах по нейтронному рассеянию [36].

Исследованы основания временного описания и необратимого поведения в естественных (натуральных) процессах. На основе анализа существующих подходов и различных природных процессов показано, что в рамках квантовой теории и статистической термодинамики возможно обосновать необратимое поведение реальных систем как следствие второго закона термодинамики [37].

Получены точные формулы для среднего тока и коэффициента диффузии в q -бозонном процессе с нулевым радиусом взаимодействия, который представляет собой стохастическую модель взаимодействующих частиц со специальным межчастичным взаимодействием, обеспечивающим решаемость этой модели. Анализ их асимптотического поведения в пределе большого размера системы $N \rightarrow \infty$ показывает, что для общих значений параметра взаимодействия $|q| \neq 1$ главные члены коэффициента диффузии демонстрируют скейлинг $N^{3/2}$, ожидаемый для моделей из класса универсальности Кардара–Паризи–Жанга. Скейлинг $q \sim \exp(-\alpha/\sqrt{N}) \rightarrow 1$ соответствует кроссоверу между классами универсальности Кардара–Паризи–Жанга и Эдвардса–Уилкинсона. При таком скейлинге получена скейлинговая функция, выведенная ранее для асимметричного простого процесса исключения и предполагаемая универсальной [38].

В рамках стохастического молекулярно-динамического моделирования развит метод генерации фторированных графеновых структур с настраиваемым типом распределения фтора. Электронные транспортные свойства фторированного графена были исследованы в широком интервале степени фторирования и способа упорядочения. Обнаружена заметная корреляция между степенью иррегулярности в распределении графена и транспортными свойствами. В частности, предложенное рассмотрение позволило воспроизвести два свойства, наблюдаемые ранее экспериментально: электрон-дырочную асимметрию и пик в

проводимости в районе 10%-й концентрации фтора [39].

С помощью точной диагонализации было показано, что кинетический ферромагнетизм может существовать в системе N сильно коррелированных электронов на кольце. Данный феномен возникает из статистики quantum peckcase, являющейся следствием запрета на двойное заполнение узла электронами, что приводит к тому, что разрешенные значения импульса электронов сдвигаются на дробное значение. В результате этого кинетический ферромагнетизм на кольце стабилен только для $N = 3$. В случае $N > 3$ полностью поляризованное состояние является локальным минимумом системы и защищено от переворота спина энергетическим барьером конечной величины. Кроме того, метастабильное ферромагнитное состояние сохраняется при достаточно малом антиферромагнитном взаимодействии, что открывает возможность к обнаружению такого явления в массивах квантовых точек [40].

Анализ теплоемкости, измеренной при ультранизких температурах в магнетите, позволил обнаружить вклад, имеющий нехарактерное поведение при изменении температуры и магнитного поля. Данное поведение позволяет заключить, что причиной его появления является фрустрированная сеть тримеронов [41].

Исследован переворот намагниченности ферромагнетика импульсами электрического тока в джозефсоновских контактах сверхпроводник/ферромагнитный изолятор/сверхпроводник на поверхности топологического изолятора. Показано, что такая система является перспективной для низкодиссипативной спинтроники из-за наличия жесткой связи между импульсом и спином квазичастицы в поверхностных состояниях топологического изолятора. Это свойство обеспечивает идеально сильную связь между орбитальными и спиновыми степенями свободы, давая возможность переворота магнитного момента ферромагнетика импульсами электрического тока с амплитудой ниже критического джозефсоновского тока, что сильно снижает диссипацию энергии в системе. Предлагается способ одновременного электрического детектирования переворота [42].

Современная математическая физика: гравитация, суперсимметрия и струны. Исследования по теме в 2020 г. были сосредоточены на следующих направлениях:

- квантовые группы и интегрируемые системы;

- суперсимметрия;
- квантовая гравитация, космология и струны.

Найдено специальное представление алгебры Брауэра, позволяющее получить новую форму решений уравнений Янга–Бакстера, которая используется для построения спиновых проекторов Берендса–Фронсдала (БФ). На основе найденного нового тензорного представления алгебры Брауэра (ключевую роль в котором играет числитель пропагатора массивной частицы спина один) разработана схема построения обобщенных D -мерных проекторов БФ, обладающих произвольным типом симметрии тензорных индексов (каждый такой тип симметрии соответствует определенной диаграмме Юнга). По этой схеме, суть которой состоит в сопоставлении идемпотентов алгебры Брауэра и обобщенных проекторов БФ, были выписаны явные формулы для двух несимметричных операторов БФ, отвечающих диаграммам Юнга типа «крюк» и «столбец» произвольной длины [43].

Определены условия для обобщенных полей в пространстве с дополнительными коммутирующими спинорными вейлевскими координатами, описывающих представление четырехмерной группы Пуанкаре бесконечного полуплоского спина. На основании полученной формулировки развит BRST-подход и выведен лагранжиан для полей бесконечного полуплоского спина [44].

Метод гармонического суперпространства применяется для вычисления расходящейся части однопетлевого эффективного действия в $6D$, $N = (1, 0)$ суперсимметричной калибровочной теории с высшими производными и безразмерной константой связи. С использованием выражения для однопетлевых расходимостей вычислена соответствующая β -функция. Найдено полное соответствие с результатом, полученным ранее в компонентном подходе [45].

Построены новые аксиально-симметричные решения теории Эйнштейна–Скирма, представляющие собой черные дыры, вложенные в мультискирмионные конфигурации в четырехмерном асимптотически плоском пространстве-времени. В простейшем случае горизонт событий находится в центре скирмион-антискирмионной пары, прочие решения описывают черные дыры в гравитационно связанных цепочках скирмионов и антискирмионов, расположенных вдоль оси симметрии [46].

На основе систематического гамильтонова и суперполевого подходов построены деформированные $N = 4, 8$ суперсимметричные

механики на келеровых многообразиях, взаимодействующих с постоянным магнитным полем, и изучены их симметрии. Показано, что исходные «плоские» суперсимметрии с необходимостью деформируются до суперсимметрий $SU(2|1)$ и $SU(4|1)$, а полученные системы наследуют все кинематические симметрии исходных систем. Представлена суперполевая формулировка этих суперсимметричных систем, основанная на $SU(2|1)$ и $SU(4|1)$ суперполевых формализмах [47].

Рассмотрен специальный предел вырождения $w_1 \rightarrow -w_2$ (или $b \rightarrow i$ в контексте $2d$ квантовой теории поля Лиувилля) для наиболее общего одномерного гиперболического бета-интеграла. Этот предел применен также к наиболее общему гиперболическому аналогу гипергеометрической функции Эйлера–Гаусса и его $W(E7)$ -группе преобразований симметрии. Результирующие функции идентифицированы как гипергеометрические функции над полем комплексных чисел, связанных с группой $SL(2, C)$. Найдено новое аналогичное нетривиальное гипергеометрическое вырождение квантового модулярного дилогарифма Фаддеева (или гиперболической гамма-функции) в пределе $w_1 \rightarrow -w_2$ (или $b \rightarrow 1$) [48].

Рассмотрен однократный бета-интеграл, построенный с помощью общего квантового дилогарифма, основанного на общей модулярной группе $SL(2, Z)$, и доказана точная формула его вычисления. Этот интеграл описывает статистическую сумму специальной $3d$ суперсимметричной теории поля на общем сплюсненном линзовом пространстве. Проанализирована возможность его приложений в $2d$ конформной теории поля [49].

В ковариантной формулировке теории телепараллельной гравитации $f(T)$, где T — скаляр кручения, изучена проблема космологических возмущений. Вычислена спиновая связность, симметризирующая уравнения для космологических возмущений и разделяющая диагональную и недиагональную части. Показано, что минимальное решение для спиновой связности, которое соответствует тождественности возмущений в пространственной и временной частях (нулевой слип), приводит к появлению дополнительного уравнения, которое может сделать систему переопределенной. Построено общее решение, ведущее к ненулевому слипу, но дающее самосогласованную систему уравнений для космологических возмущений [50].

Показано, что в эффективных скалярно-тензорных моделях гравитации на уровне первой петлевой поправки универсально генери-

руются неминимальные взаимодействия. Механизм их генерации аналогичен генерации аномального магнитного момента фермионов.

Установлено, что квантовые поправки не приводят к возникновению новых нетривиальных минимумов эффективного потенциала [51].

ДУБНЕНСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКОЛА СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (DIAS-TH)

Образовательная программа в рамках DIAS-TH в 2020 г. была значительно сокращена в связи с пандемией нового коронавируса. В связи с введенными ограничениями не удалось провести три запланированные школы для студентов и молодых ученых: международную школу «Перспективные методы современной теоретической физики: интегрируемые и стохастические системы», Гельмгольцевскую международную летнюю школу «Материя при экстремальных условиях в столкно-

вениях тяжелых ионов и астрофизике», Гельмгольцевскую международную летнюю школу «Структура адронов, адронная материя и КХД на решетке». Тем не менее продолжались семинары для студентов и аспирантов, в том числе в формате онлайн, поддерживался сайт DIAS-TH. Проведена подготовка к зимней школе по теоретической физике «Актуальная космология», запланированной на февраль 2021 г. в формате онлайн.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В 2020 г. введен в эксплуатацию новый сервер с 36 вычислительными ядрами (2x Xeon Gold 6254) и 1,5 ТБ ОЗУ. Для модернизации компьютеров на рабочих местах закуплено 10 ПК. Продлена техническая поддержка, и установлены свежие версии для Mathematica, Maple, Origin Pro, Intel

Parallel Studio. Количество сетевых лицензий Mathematica увеличилось с 8 до 10. Завершено обновление пула коммутаторов Ethernet. Улучшена сеть Wi-Fi за счет установки двухдиапазонных устройств. Реализовано более плотное развертывание 30 точек доступа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gusynin V.P., Kotikov A.V., Teber S.* // Phys. Rev. D. 2020. V. 102. P. 025013.
2. *Bednyakov A.V., Mukhaeva A.I.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2020. V. 17, No. 1(226). P. 5; Phys. Part. Nucl. 2020. V. 51, Iss. 4. P. 753.
3. *Bednyakov A.V., Pikelner A.A.* // Phys. Rev. D. 2020. V. 101. P. 071502(R); 091501(R).
4. *Baushev A.N.* // Astron. Rep. 2020. V. 64, No. 12. P. 989–995.
5. *Ivanov M.A., Korner J.G., Santorelli P., Tran C.T.* // Particles. 2020. V. 3, No. 1. P. 193–207.
6. *Ivanov M.A., Melikhov D., Simula S.* // Phys. Rev. D. 2020. V. 101, No. 9. P. 094022.
7. *Alighanbari S., Giri G.S., Constantin F.L., Korobov V.I., Schiller S.* // Nature. 2020. V. 581. P. 152.
8. *Naumov D.V., Naumov V.A., Shkirmenov D.S.* // Symmetry. 2020. V. 12. P. 1285.
9. *Naumov D.V., Naumov V.A.* // Phys. Part. Nucl. 2020. V. 51. P. 1–106.
10. *Kakorin I.D., Kuzmin K.S., Naumov V.A.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2020. V. 17. P. 265–288.
11. *Anikin I.V.* // Symmetry. 2020. V. 12, No. 12. P. 1996.
12. *Volkov M.K., Arbuzov A.B., Pivovarov A.A.* // Pisma ZhETF. 2020. V. 112, No. 8. P. 493–498; *Osipov A.A., Pivovarov A.A., Volkov M.K., Khalifa M.M.* // Phys. Rev. D. 2020. V. 101, No. 9. P. 094031.
13. *Prokhorov G.Y., Teryaev O.V., Zakharov V.I.* // JHEP. 2020. V. 03. P. 137–163; Particles. 2020. V. 3, No. 1. P. 1–14.
14. *Silenko A.J.* // Mod. Phys. Lett. A. 2020. V. 35, No. 32. P. 2050267.
15. *Dorokhov A.E., Faustov R.N., Martynenko A.P., Martynenko F.A.* // Phys. Rev. A. 2020. V. 102. P. 1; *Aoyama T., Asmussen N., Dorokhov A.E., Radzhabov A.E. et al.* // Phys. Rep. 2020. V. 887. P. 1–166.

16. *Osipov A. A. et al.* // Eur. Phys. J. C. 2020. V. 80. P. 1135;
Osipov A. A., Khalifa M. M. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2020. V. 17, No. 3. P. 296–302; J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1690. P. 012075.
17. *Astrakhantsev N. Yu., Braguta V. V., D'Elia M., Kotov A. Yu., Nikolaev A. A., Sanfilippo F.* // Phys. Rev. D. 2020. V. 102, No. 5. P. 054516.
18. *Брагута В. В., Комов А. Ю., Кузнецов Д. Д., Роевко А. А.* // Письма в ЖЭТФ. 2020. Т. 112, вып. 1. С. 9–16.
19. *Ivanov Yu. B.* // Phys. Rev. C. 2020. V. 102, No. 4. P. 044904.
20. *Bauswein A. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2020. V. 125. P. 141103.
21. *Voskresensky D. N.* // Phys. Rev. D. 2020. V. 101, No. 5. P. 056011.
22. *Hnatic M., Kalagov G., Nalimov N. Yu.* // Nucl. Phys. B. 2020. V. 955. P. 115060.
23. *Dzhioev A. A., Langanke K., Martinez-Pinedo G., Vdovin A. I., Stoyanov Ch.* // Phys. Rev. C. 2020. V. 101. P. 025805.
24. *Severyukhin A. P., Arsenyev N. N., Borzov I. N., Sushenok E. O., Testov D., Verney D.* // Phys. Rev. C. 2020. V. 101. P. 054309.
25. *Coló G., Gambacurta D., Kleinig W., Kvasil J., Nesterenko V. O., Pastore A.* // Phys. Lett. B. 2020. V. 811. P. 135940.
26. *Hong J., Adamian G. G., Antonenko N. V.* // Phys. Lett. B. 2020. V. 805. P. 135438;
Hong J., Adamian G. G., Antonenko N. V., Jachimowicz P., Kowal M. // Phys. Lett. B. 2020. V. 809. P. 135760.
27. *Pasca H., Andreev A. V., Adamian G. G., Antonenko N. V.* // Phys. Rev. C. 2020. V. 101. P. 064604.
28. *Hovhannisyan A. A., Sargsyan V. V., Adamian G. G., Antonenko N. V., Lacroix D.* // Physica A. 2020. V. 545. P. 123653; Phys. Rev. E. 2020. V. 101. P. 062115; Phys. Rev. A. 2020. V. 102. P. 022209.
29. *Shadmehri S., Saeidian S., Melezhik V. S.* // J. Phys. B. 2020. V. 53. P. 085001.
30. *Bondarenko S. G., Burov V. V., Yurev S. A.* // Nucl. Phys. A. 2020. V. 1004. P. 122065.
31. *Kaptari L. P., Kaempfer B.* // Few Body Syst. 2020. V. 61, No. 3. P. 28.
32. *Parvan A. S.* // Eur. Phys. J. A. 2020. V. 56, No. 7. P. 192.
33. *Strakovsky I., Pentchev L., Titov A. I.* // Phys. Rev. C. 2020. V. 101, No. 4. P. 045201.
34. *Anitas E. M.* // Phys. Chem. Chem. Phys. 2020. V. 22. P. 536–548.
35. *Eldeeb M. S., Petersen T., Hozoi L., Yushankhai V., Roessler U. K.* // Phys. Rev. Mater. 2020. V. 4. P. 124001.
36. *Smit R. L., Keupert S., Tsypliyatye O., Maksimov P. A., Chernyshev A. L., Kopietz P.* // Phys. Rev. B. 2020. V. 101. P. 054424.
37. *Kuzemsky A. L.* // Found. Sci. 2020. V. 25, No. 3. P. 597–645.
38. *Trofimova A., Povolotsky A. M.* // J. Phys. A: Math. Theor. 2020. V. 53, No. 36. P. 365203.
39. *Yamaletdinov R. D., Katkov V. L., Nikiforov Ya. A., Okotrub A. V., Osipov V. A.* // Adv. Theory Simul. 2020. V. 3. P. 1900199.
40. *Ivantsov I., Xavier H. B., Ferraz A., Kochetov E.* // Phys. Rev. B. 2020. V. 101. P. 195107.
41. *Sahling S., Lorenzo J. E., Remenyi G., Marin C., Katkov V. L., Osipov V. A.* // Sci. Rep. 2020. V. 10. P. 10909.
42. *Bobkova I. V., Bobkov A. M., Rahmonov I. R., Mazanik A. A., Sengupta K., Shukrinov Yu. M.* // Phys. Rev. B. 2020. V. 102. P. 134505.
43. *Isaev A. P., Podoinitsyn M. A.* // J. Phys. A. 2020. V. 53. P. 395202.
44. *Buchbinder I. L., Fedoruk S., Isaev A. P., Krykhtin V. A.* // Nucl. Phys. B. 2020. V. 958. P. 115114.
45. *Buchbinder I. L., Ivanov E. A., Merzlikin B. S., Stepanyantz K. V.* // JHEP. 2020. V. 2008. P. 169.
46. *Shnir Ya.* // Phys. Lett. B. 2020. V. 810. P. 13584.
47. *Ivanov E., Nersessian A., Sidorov S., Shmavonyan H.* // Phys. Rev. D. 2020. V. 101, No. 2. P. 025003.
48. *Sarkissian G. A., Spiridonov V. P.* // Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications (SIGMA). 2020. V. 16. P. 74.
49. *Sarkissian G. A., Spiridonov V. P.* // Proc. of Steklov Inst. Math. 2020. V. 309. P. 251–270.
50. *Toporensky A., Tretyakov P.* // Phys. Rev. D. 2020. V. 102, No. 4. P. 044049.
51. *Latosh B.* // Eur. Phys. J. C. 2020. V. 80. P. 845;
Arbuzov A., Latosh B. // Class. Quant. Grav. 2021. V. 38. P. 015012.



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

Деятельность Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина в 2020 г. была сосредоточена на создании, развитии и вводе в эксплуатацию отдель-

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

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСА NICA

Проект «Нуклотрон–NICA». Бустер и каналы транспортировки пучка. 20 ноября 2020 г. Председатель Правительства РФ М. В. Мишустин произвел технологический пуск одного из основных блоков мегасайенс-проекта «Нуклотрон–NICA» — сверхпроводящего бустерного синхротрона (бустера). К этому моменту была завершена сборка магнитно-криостатной системы бустера, все подсистемы установлены в штатное положение и протестированы, система электропитания магнитов протестирована и настроена при работе на эквивалентную нагрузку, создана, настроена и испытана линия транспортировки пучка NICA–бустер. К концу года на бустере были проведены пусконаладочные работы и натурные измерения, основной задачей которых являлось тестирование и настройка всех систем при работе с пучком ионов He^{1+} . Работа с пучком началась 19 декабря согласно утвержденному расписанию.

В ходе сеанса были последовательно выполнены следующие работы:

- завершены сборка и тестирование вакуумной системы;

- запущена АСУ бустера, введена в эксплуатацию система мониторинга, предназначенная для наблюдения за процессом криостатирования, магнитно-криостатная система охлаждена до температуры 4,5 К;

- настроена и введена в эксплуатацию система детектирования переходов в нормально проводящую фазу, протестирована система эвакуации энергии, настроены циклозадающая система и система электропитания магнитов бустера;

- настроены ускоритель тяжелых ионов NICA и канал транспортировки пучка из NICA в бустер, выведены на проектные параметры устройства системы инжекции;

- осуществлена инжекция пучка на «стол» магнитного поля, соответствующий энергии инжекции, получен циркулирующий пучок He^{1+} ;

- последовательно протестированы основные системы диагностики циркулирующего пучка, система коррекции замкнутой орбиты, обеспечена интенсивность циркулирующего пучка, близкая к проектной;

- настроена высокочастотная система, протестирован режим адиабатического захвата пучка в режим ускорения, обеспечено ускорение ионов до энергии 100 МэВ/нуклон;

- включена и протестирована система электронного охлаждения;

- системы питания магнитов, криогенная и магнитно-криостатная системы были проверены при работе в цикле магнитного поля с проектными параметрами.

Режим циркуляции пучка был получен без включения системы коррекции ошибок маг-

нитного поля, при этом отклонения орбиты пучка от номинального положения в горизонтальной плоскости не превышали ± 15 мм (несколько больше в вертикальной плоскости). Это является прямым подтверждением того, что качество изготовления и сборки элементов системы соответствует проектным требованиям. В ходе сеанса магнитно-криостатная система стабильно отработала с циклом магнитного поля около 400 ч.

Использование системы коррекции орбиты совместно с настройкой канала транспортировки пучка из NIIAs в бустер и настройкой устройств системы инжекции позволило достичь интенсивности пучка на уровне $7 \cdot 10^{10}$ циркулирующих ионов He^{1+} (рис. 1), что по току эквивалентно 10^9 ионов Au^{31+} .

Характерное время жизни ионов из-за рекомбинации с молекулами и атомами остаточного газа составило примерно 1,9 с (рис. 1). С учетом сечений процессов перезарядки эта величина соответствует давлению остаточного газа в пучковых камерах на уровне $(3-6) \times 10^{-8}$ Па, что находится в хорошем согласии с показаниями вакуумметров и соответствует проектному значению при стартовой конфигурации системы откачки.

В течение трех смен проводились работы по тестированию системы электронного охлаждения (СЭО). При энергии инжекции с помощью дипольных магнитов СЭО и корректирующих магнитов бустера была скорректирована орбита циркулирующего пучка при по-

ле соленоида секции охлаждения до 0,07 Тл. При этом поле был обеспечен стабильный режим рекуперации энергии электронного пучка с током электронов до 150 мА. Эффект взаимодействия электронного и циркулирующего ионного пучков наблюдался с помощью ионизационного профилометра. Было надежно зафиксировано уменьшение времени жизни ионов из-за рекомбинации с электронами в секции охлаждения, зависящее от энергии электронов. Оптимальная энергия электронов (потенциал катода электронной пушки) лежит в интервале 1,74–1,82 кэВ, что соответствует расчетному значению.

В завершение сеанса было проведено комплексное тестирование систем питания магнитов, криогенной и магнитно-криостатной системы при работе в цикле магнитного поля с максимальными устойчиво достигаемыми параметрами. В результате был настроен цикл с двумя «столами» на участке растущего поля, соответствующими энергии инжекции и энергии электронного охлаждения, на верхнем «столе» достигнуто поле 1,8 Тл, на участках роста и уменьшения поля обеспечен темп изменения поля 1,2 Тл/с (рис. 2), что полностью соответствует проектным параметрам цикла.

Все задачи сеанса выполнены в полном объеме. По всем системам бустера получена необходимая информация для их дальнейшего развития в ходе подготовки к сеансу по ускорению тяжелых ионов.

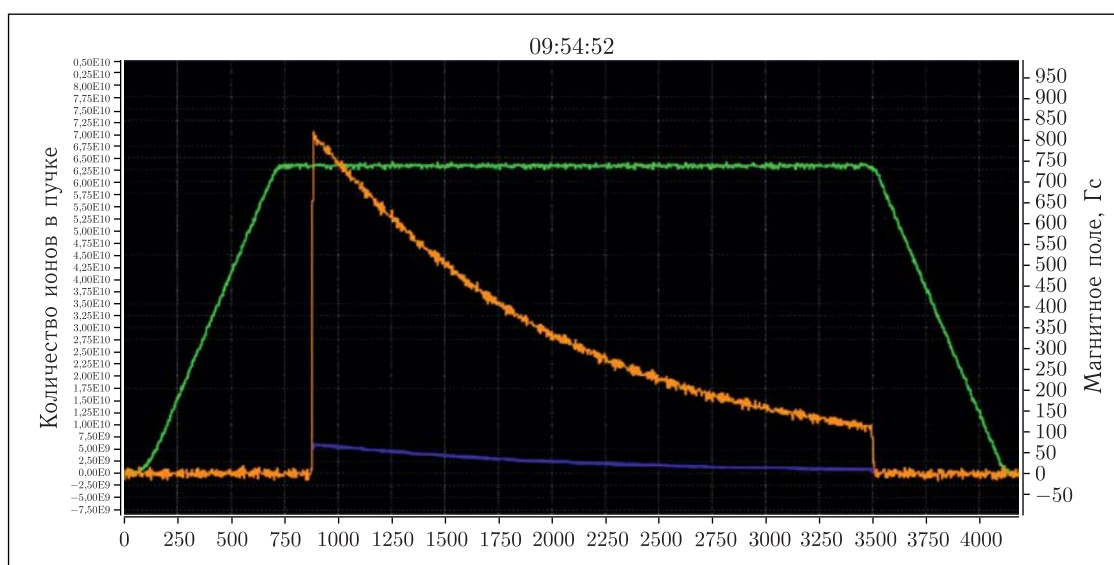


Рис. 1. Результаты измерения интенсивности циркулирующего пучка с помощью параметрического трансформатора тока (ПТТ) при оптимальной настройке всех систем. Зеленая кривая — величина магнитного поля в гауссах, синяя — сигнал ПТТ, оранжевая — количество циркулирующих частиц. Время по горизонтальной оси — в миллисекундах

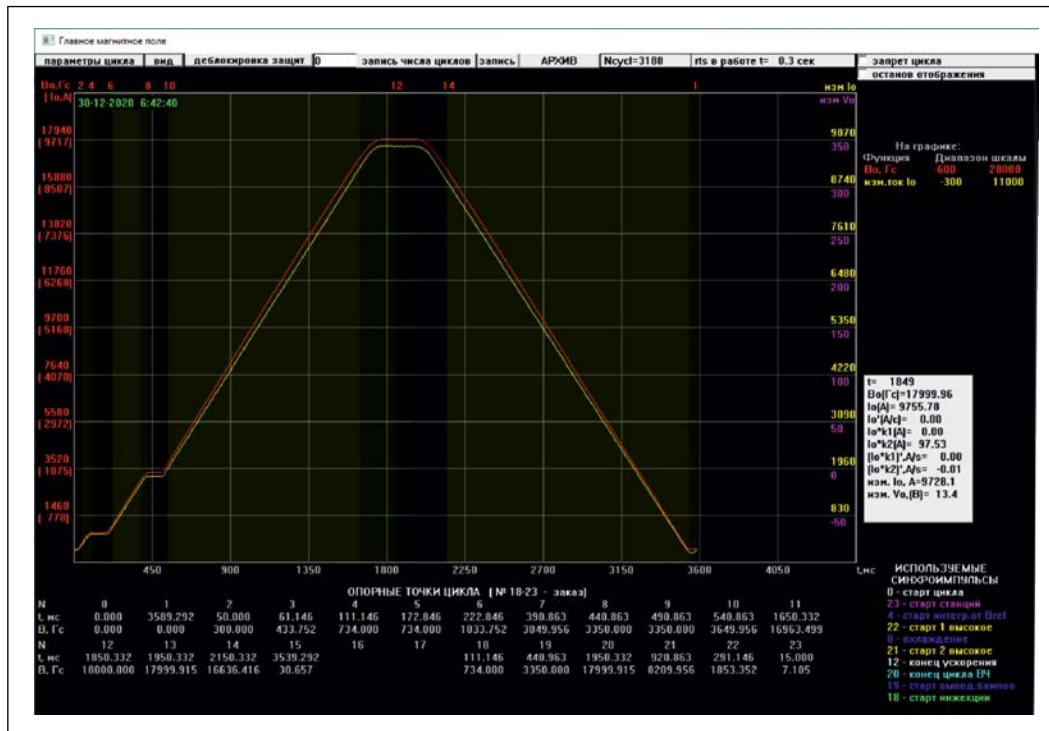


Рис. 2. Проектный цикл магнитного поля

Коллайдер. Коллайдерный комплекс NICA размещается в здании № 17. Статус готовности здания на конец 2020 г. выглядит следующим образом:

- устройство свайного поля — 100 %;
- конструкции железобетона — 99 %;
- монтаж металлических конструкций — 99 %;
- монтаж фасадов — 47 %;
- устройство кровли — 70 %;
- земляные работы и устройство временных дорог — 98 %;
- возведение перегородок из кирпичей и пеноблоков — 63 %;
- устройство силовых полов — 70 %;
- отделочные работы — 28 %;
- устройство пристенного дренажа здания — 100 %;
- вынос сетей водопровода из-под пятна дороги — 90 %;
- устройство бытовой и ливневой канализаций — 15 %;
- монтаж индивидуальных тепловых пунктов — 20 %.

В соответствии с графиком работ срок сдачи корпуса № 17 — декабрь 2021 г. Данные сроки обусловлены в первую очередь существенным (на 50 %) увеличением объемов строительства уже на стадии реализации про-

екта. Пандемия коронавируса также сказалась на сроках исполнения контрактов.

Общий вид строительной площадки показан на рис. 3. В 2020 г. продолжались производство и тестирование оборудования подсистем коллайдера. На участке сборки и испытания сверхпроводящих магнитов уже изготовлено и протестировано 80 % дипольных и 10 % квадрупольных магнитов коллайдера.

Продолжались работы по модернизации электросетей. В настоящее время получено разрешение на эксплуатацию пяти 6-кВ высокотехнологичных подстанций общей мощностью до 25 МВт.



Рис. 3. Общий вид строительной площадки ускорительного комплекса (ноябрь 2020 г.)

Криогенный комплекс. Новая криогенно-компрессорная станция, для установки которой возводится отдельное здание, является одним из ключевых элементов модернизированного криогенного комплекса для NICA. Строительные работы идут в высоком темпе и должны быть завершены к середине 2021 г. Введен в строй новый гелиевый рефрижератор РСГ-2000/4,5 мощностью 2 кВт.

В целом на конец 2020 г. объем выполненных работ по созданию проектной конфигурации комплекса «Нуклотрон–NICA» составляет около 70%.

Проект MPD. В 2020 г. было завершено формирование коллаборации MPD, которая объединила свыше 500 специалистов из 39 институтов и 11 стран. Проведены шесть коллаборационных совещаний, на которых обсуждался ход работ по исполнению проекта. Продолжается работа по согласованию меморандумов о понимании, закрепляющих в документе права и обязательства участвующих институтов по созданию установки, в том числе по вкладам в общий фонд MPD.

Детектор MPD будет установлен в специальном павильоне в основном здании №17 комплекса NICA. Работы в павильоне в основном завершены, и в нем уже начался монтаж поступающего оборудования. Параллельно этим работам идет монтаж электрических сетей (1,2 МВ) и их разводка, системы вентиляции, водяного охлаждения и отопления, создается техническая документация на разводку газовых линий для детекторов MPD и криогенных магистралей (газообразного и жидкого азота и гелия) для соленоида, установлены серверные домики.

Соленоидальный магнит. В июле 2020 г. основные детали ярма магнита (28 балок и 2

опорных кольца) прибыли в Дубну из Чехии после контрольной сборки на заводе-изготовителе НМ Vitkovice. В кратчайшие сроки 13 плит и опорные кольца были собраны с той же высокой точностью, что и на заводе: отклонения большинства измеренных геометрических размеров от контрольных параметров не превышали 0,2 мм, в редких исключениях доходили до 0,5 мм, и это при длине магнитопровода 8970 мм и диаметре 6670 мм. После длительных согласований с экспертами из итальянской фирмы ASG Superconductors, отвечающей за качество магнитного поля в детекторе MPD, было получено «добро» на продолжение сборки, и 25 декабря 2020 г. последняя 28-я плита была установлена. Финальные измерения геометрии магнитопровода вновь показали высокую точность изготовления плит и опорных колец и их сборки в единое целое (рис. 4).

В ноябре 2020 г. успешно завершилась сложная логистическая операция по транспортировке изготовленного в ASG Superconductors сверхпроводящего соленоидального магнита MPD. Морским и речным путем ценный груз был доставлен в Дубну и размещен в павильоне MPD. В 2021 г. будет произведена частичная разборка магнитопровода до уровня 13 плит, установлен соленоид и заново полностью собран магнитопровод общей массой около 900 т. После подключения необходимых коммуникаций будет проведено захолаживание соленоида. До конца апреля планируется охладить соленоид до температуры жидкого азота, а к сентябрю 2021 г. — до температуры жидкого гелия. После этого будет установлена измерительная станция с 32 датчиками Холла для измерения однородности магнитного поля. Для получения требуемой однородности поля

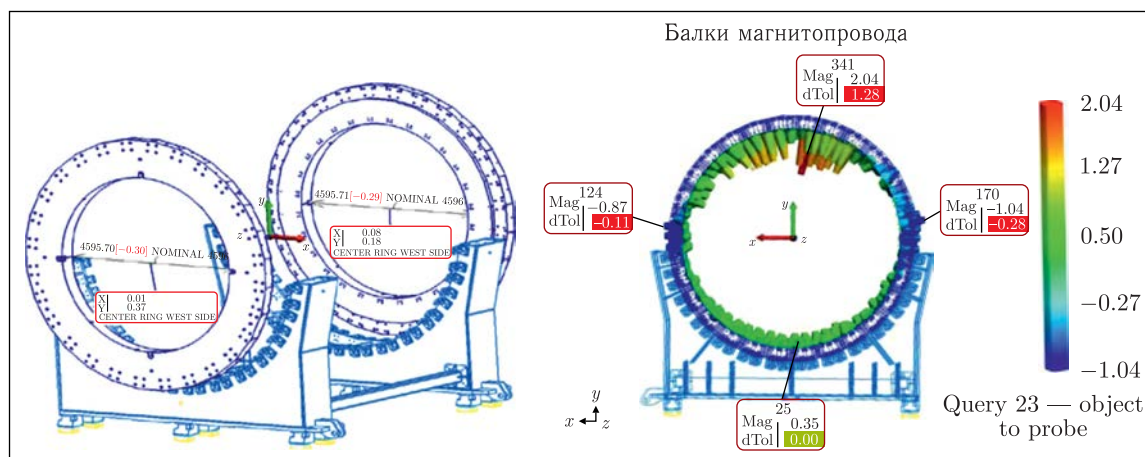


Рис. 4. Результаты измерений на заключительном этапе «28 плит в сборке». Все отклонения — в миллиметрах

$3 \cdot 10^{-4}$ планируется проводить подстройку токов в корректирующих катушках. После каждой коррекции необходимо будет промерять трехмерную карту поля. В конце 2021 г. начнется монтаж детекторов MPD.

Времяпроекционная камера (TPC). TPC является основным трековым детектором в эксперименте MPD. В 2020 г. был склеен внешний цилиндр TPC, состоящий из оболочек C3–C4, диаметром около 2,8 м и длиной 3,4 м, на оболочке C4 завершены работы по монтажу механической структуры для крепления термозкранов. Основные элементы TPC, такие как высоковольтный электрод, фланцы, стержни и др. элементы, готовы для сборки, закончено изготовление всех 24 считывающих камер детектора, все они протестированы. Газовая система для TPC готова. В ОИЯИ поставлены специальные ультрафиолетовые лазеры и система распределения лазерного луча на малом радиусе, начаты закупки блоков для низковольтной и высоковольтной систем TPC, разработанных в САЕН. Система охлаждения, система медленного контроля, DAQ, оснастка для монтажа TPC в установку MPD находятся в разработке. Сборка TPC будет завершена в начале 2021 г., затем будет проведено тестирование детектора на космических лучах.

Времяпролетная система (ToF). ToF MPD основана на многозачерных резистивных плоских камерах (mRPC), 40% mRPC уже произведены. Продолжается сборка модулей ToF и их испытания на космических лучах. Все оборудование испытательного стенда соответствует той системе, которая будет использоваться в MPD. Производится часть сборочного и монтажного оборудования. В настоящее время разрабатывается основное устройство для перемещения и регулировки модулей

ToF внутри MPD. Закупка устройств и компонентов подсистем практически завершена. Газовая система ToF уже работает на испытательном стенде.

Передний калориметр (FHCaI). Каждое из двух плеч переднего детектора MPD включает 44 модуля размером $150 \times 150 \times 1100$ см, представляющих собой перемежающиеся 42 слоя свинца и скнтиллятора, собранных в 7 продольных сегментов. Модули FHCaI и электроника считывания готовы к работе и проходят тестирование на космических лучах. Дизайн подвижной платформы для размещения FHCaI завершен, объявлен тендер на ее производство.

Электромагнитный калориметр (ECal). Уникальность и сложность ECal заключается в проекционной геометрии детектирующих модулей. На двух линиях (в Протвино и на «Тензоре» в Дубне) в России работы по производству модулей электромагнитного калориметра идут по плану. Четвертая часть всех модулей должна быть произведена в Китае. В 2020 г. правительством КНР было открыто финансирование для создания модулей, которые будут производиться несколькими университетами Китая во главе с Университетом Цинхуа. Вся инфраструктура для массового производства уже подготовлена, и работы начались. Центральная часть ECal состоит из 38 400 «башен» с поперечным сечением 4×4 см, склейка из 16 «башен» образует один модуль. В настоящее время произведено 300 модулей. Этого достаточно для создания трех секторов ECal. К середине 2021 г. в РФ будут изготовлены модули для еще трех секторов, а коллеги из КНР планируют изготовить 8 секторов к концу 2021 г.

Основные этапы монтажа. Основные этапы сборки MPD описаны в таблице.

Этап сборки	Срок
Подготовка к включению соленоидального магнита (криогеника, электропитание и др.)	Январь–сентябрь 2021 г.
Измерения магнитного поля	Октябрь–ноябрь 2021 г.
Подготовка к монтажу детекторных подсистем	Декабрь 2021 г.
Монтаж ToF, TPC, платформы с электроникой, кабелей	Январь–июнь 2022 г.
Монтаж пучковой трубы, FHCaI, системы для тестов на космических лучах	Июль 2022 г.
Испытания установки на космических лучах	Июль–декабрь 2022 г.
Сдача в эксплуатацию	Декабрь 2022 г.
Работа на пучке	Март 2023 г.

Моделирование Монте-Карло и анализ данных. Подготовка к физическому анализу осуществляется в пяти рабочих группах по физике проекта MPD. В последние месяцы на суперкомпьютере «Говорун» в ЛИТ ОИЯИ были выполнены крупномасштабные моделирования методом Монте-Карло, каждое включало по несколько миллионов событий. Выработана процедура валидации данных Монте-Карло. Специальный вычислительный кластер NICA в ЛФВЭ также регулярно используется членами коллаборации MPD для анализа этих данных и оценки характеристик установки MPD. Это позволило подготовить несколько десятков научных докладов от коллаборации MPD на международные научные конференции 2020 г.

Эксперимент BM@N. Коллаборация BM@N включает 250 физиков и инженеров из 20 институтов и 10 стран. Целью эксперимента является исследование динамики реакций и изучение свойств адронов в плотной ядерной материи, изучение рождения странных гиперонов около порога и поиск гиперядер во взаимодействиях выведенных пучков нуклотрона с фиксированными мишенями. В рамках проекта также ведется исследование структуры ядер на малых межнуклонных расстояниях.

Анализ данных. В 2020 г. был выполнен анализ экспериментальных данных, зарегистрированных во взаимодействиях ядер аргона с кинетической энергией 3,2 А·ГэВ на ядрах мишеней Al, Cu, Sn и Pb. В указанных взаимодействиях выделен сигнал

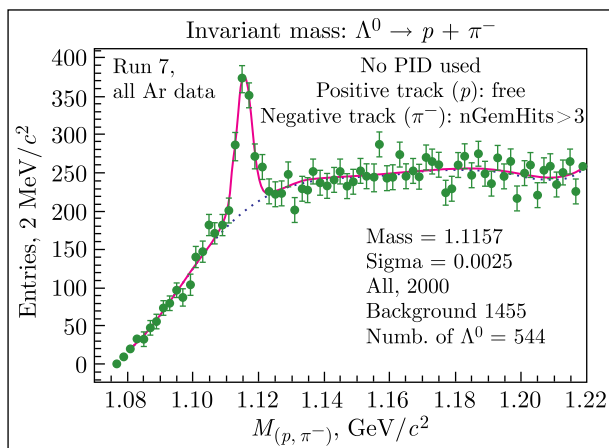


Рис. 5. Сигнал Λ -гиперонов в спектре эффективных масс пар (p, π^-) во взаимодействиях пучка аргона с энергией 3,2 А·ГэВ с различными мишенями

Λ -гиперонов в спектре эффективных масс (p, π^-) -пар (рис. 5).

По данным центральной и внешней трековых систем и времяпролетной системы идентифицированы заряженные π^+ -, K^+ -мезоны, а также протоны и легкие ядерные фрагменты: ${}^3\text{He}$, $d/{}^4\text{He}$ (рис. 6). Проводится анализ выходов данных частиц в зависимости от кинематических переменных.

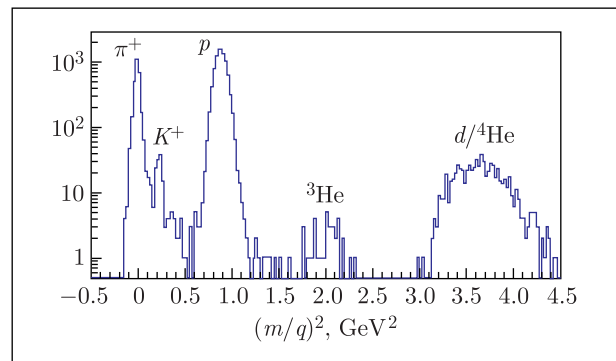


Рис. 6. Идентификация π^+ , K^+ , p , ${}^3\text{He}$ и $d/{}^4\text{He}$ времяпролетной системой ToF-700 во взаимодействиях ядер Ar с энергией 3,2 А·ГэВ с разными мишенями: распределение идентифицированных частиц по квадрату массы, нормированной на заряд

По программе изучения нуклонных корреляций выполнен полный анализ данных в исследуемых взаимодействиях ядер углерода с жидководородной мишенью. По результатам исследования подготовлена статья «The Transparent Nucleus: Unperturbed Inverse Kinematics Nucleon Knockout Measurements with a 48 GeV/c Carbon Beam», принятая к публикации в журнал Nature Physics. В рамках исследования был измерен квазиупругий эксклюзивный процесс ${}^{12}\text{C} + p \rightarrow 2p + {}^{11}\text{B}$ с регистрацией всех продуктов реакции (рис. 7) и идентифицированы события рассеяния протонов на коррелированных нуклонных парах в ядре углерода в реакциях типа ${}^{12}\text{C} + p \rightarrow 2p + {}^{10}\text{B}/{}^{10}\text{Be} + (n/p)$.

Статус экспериментальной установки.

По программе развития установки для исследования взаимодействий тяжелых ядер разрабатывались детекторы для полной конфигурации BM@N (рис. 8). Выполнены тесты на космических мюонах семи детекторов GEM с размером чувствительной области 163×39 см, изготовлена электроника считывания данных детекторов на основе чипов фирмы IDEAS (Норвегия).

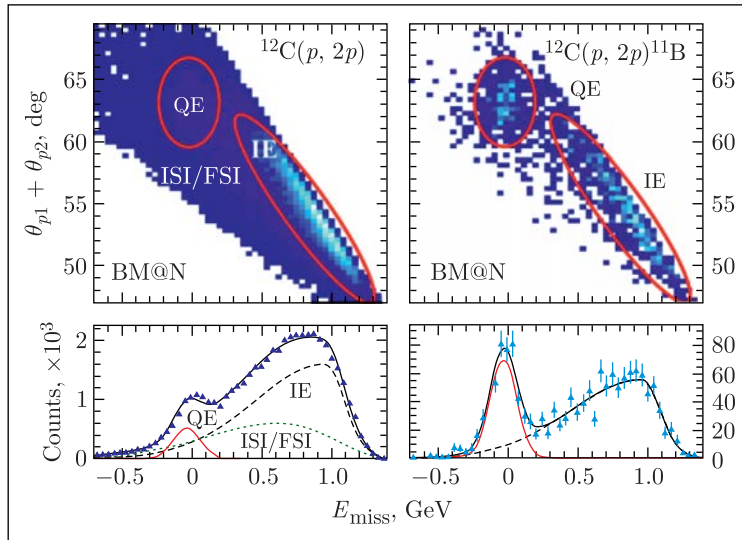


Рис. 7. Квазиупругие события (QE), выделенные по корреляции между недостающей энергией E_{miss} в системе покоя ^{12}C и углом между двумя рассеянными протонами в лабораторной системе. Также показан вклад фоновых событий неупругих взаимодействий (IE) и вторичных взаимодействий в начальном и конечном состояниях (ISI, FSI)

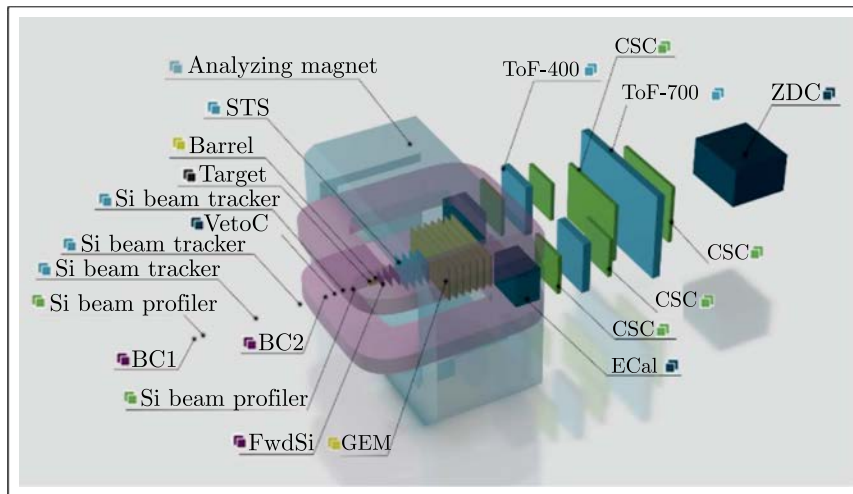


Рис. 8. Полная конфигурация детекторов BM@N для исследования взаимодействий тяжелых ядер

Разработана конструкция и изготовлены кремниевые микростриповые детекторы для трех плоскостей передних трековых детекторов FwdSi, которые будут установлены сразу после мишени; изготавливается электроника считывания на основе чипов фирмы IDEAS.

Изготовлены кремниевые детекторы для трех пучковых трековых детекторов (Si beam tracker) и двух профилометров пучка ионов (Si beam profiler), которые будут установлены до мишени для измерения траектории пучка и его фокусировки на мишень; разработана конструкция детекторов, изготавливается электроника считывания; на основе азимутальных кремниевых сегментов изготавливается триггерный детектор.

Совместно с сотрудниками коллаборации CBM разрабатывается широкоапертурная трековая система, состоящая из четырех плоскостей микростриповых кремниевых детекторов STS; разрабатывается быстрая электроника считывания и приема данных для этих детекторов; проведено моделирование гибридной трековой системы на основе FwdSi/STS- и GEM-детекторов для определения эффективности регистрации каскадных распадов гиперонов и гиперядер во взаимодействиях тяжелых ядер.

В дополнение к одной уже работающей изготовлены три катодные стриповые камеры CSC размером 113×107 см для регистрации треков для времяпролетной системы ToF-400;

разработана конструкция двух больших катодных камер CSC размером 219×145 см для времяпролетной системы ToF-700. Разрабатывается перспективная быстрая электроника считывания для детекторов GEM, CSC на основе чипов VMM3a для работы в пучках ионов большой интенсивности (2 МГц).

Изготовлен и установлен вакуумный ионопровод в экспериментальной зоне BM@N до мишени; изготавливается вакуумный ионопровод из тонкого углепластика внутри установки от мишени до адронного калориметра ZDC для подавления взаимодействий тяжелых ионов с воздухом; изготовлена вакуумная мишенная станция с несколькими мишенями.

В дополнение к калориметру FHCAL для измерения центральности взаимодействий изготовлен кварцевый годоскоп для регистрации ядерных фрагментов в области пучков тяжелых ионов большой интенсивности.

В 2021 г. намечается возобновить исследование в эксперименте BM@N и поздней осенью планируется эксперимент по программе исследований корреляций нуклонов на малых расстояниях с использованием пучка ионов углерода.

Проект SPD. В 2020 г. подготовлен концептуальный проект CDR SPD для рассмотрения на ПКК по физике частиц, удовлетворяющий требованиям обновленной физической программы и внешних условий. Ожидаемые характеристики установки оценены с использованием методов моделирования Монте-Карло.

Созданы и испытаны следующие прототипы детекторов.

Разработан 16-слойный прототип мюонной системы SPD, выполнены электромагнитные расчеты для магнитной системы. Разработан прототип координатного модуля вершинного детектора размером 63×63 мм, основанный на использовании двухсторонних кремниевых микростриповых детекторов и плоского полиимидного кабеля. Проведены испытания прототипов гетерогенного калориметра на космических лучах. Проведены первые тестирования с радиоактивным источником платы считывания VMM3a для прототипа строу-трекера. Успешно испытан прототип детектора на основе микроканальных пластин для внутренней части BBC (Beam-Beam Counter) SPD в условиях сверхглубокого вакуума до 10^{-10} Па. Протестирована первая версия прототипа регистрирующей электроники с опцией Time-over-Threshold (ToT), пред-

назначенная для внешней сцинтилляционной части BBC.

Создан стенд miniSPD для совместного облучения различных детекторов SPD космическими мюонами, который используется также для тестов и отладки систем сбора данных, медленного контроля, газораспределения, низковольтного и высоковольтного питания. Для тестовой зоны SPD разработаны и изготовлены 2 мишенные станции для размещения мишеней и детекторов в общем вакуумном объеме канала выведенного пучка, созданы 2 экспериментальных домика, ведутся работы по созданию детектирующей и метрологической аппаратуры для низкоэнергетического канала, выполняется моделирование для высокоэнергетического канала.

Проведены 3 дистанционных рабочих совещания протоколлораии SPD для подготовки CDR и формирования физической программы, подготовлен проект конституции SPD, продолжается формирование коллаборации.

Проект ALPOM-2. Задачей исследования в рамках реализации проекта ALPOM-2 было нахождение анализирующей способности в инклюзивном рассеянии нуклонов. Три новых подхода в развитии поляриметрии — включение калориметра для отбора высокоэнергетических нуклонов в конечном состоянии, использование реакции перезарядки и замена богатой водородом легкой мишени более тяжелыми ядрами — открывают путь к более простым и эффективным измерениям поляризации нуклонов в области ГэВ-ных энергий.

На рис. 9 приведена анализирующая способность в зависимости от поперечного им-

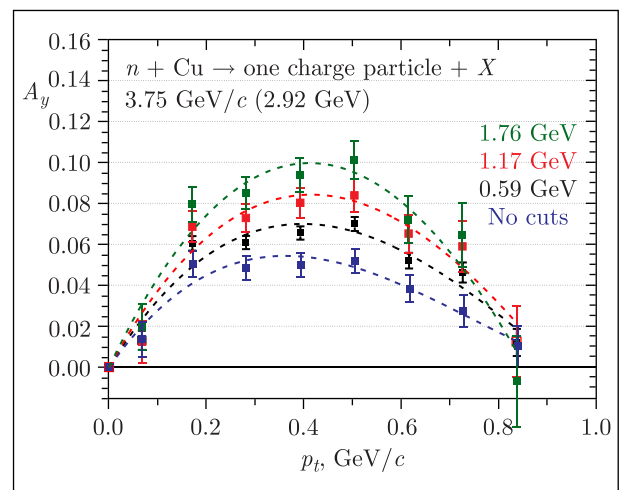


Рис. 9. Анализирующая способность A_y в зависимости от поперечного импульса p_t

пульса и разных порогов энерговыделения в адронном калориметре. Видно, что анализирующая способность растет (примерно в 2 раза) при подавлении частиц с низким энерговыделением. Полученные данные и их интерпре-

тация [1] были высоко оценены в Лаборатории Джефферсона (США), где на этой основе на комплексе СЕВАФ в JLAB был одобрен эксперимент по измерению отношения электромагнитных формфакторов нейтрона.

УЧАСТИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ВНЕШНИХ УСКОРИТЕЛЯХ

Эксперименты на Большом адронном коллайдере. ALICE. Главные усилия группы ОИЯИ в анализе данных и физическом моделировании были сконцентрированы на изучении фемтоскопических корреляций и рождении векторных мезонов в ультрапериферических Pb–Pb-столкновениях. Кроме того, сотрудники продолжали участвовать в поддержании и развитии анализа GRID-ALICE в ОИЯИ.

Скорректирован и завершен анализ фемтоскопических корреляций пар K^+K^- для Pb–Pb-столкновений при 2,76 ТэВ [2], сделанный в рамках модели FSI с использованием нового дубненского фита с традиционными параметрами для вкладов состояний $a_0(980)$ (Martin, Achasov) и свободных параметров для $f_0(980)$. Получено хорошее согласие экспериментальных данных с предсказаниями модели: значения массы и ширины мезона $f_0(980)$, $M = (990 \pm 20) \text{ МэВ}/c^2$ и $\Gamma = (39,7 \pm 7,94(\text{стат.}) \pm 11,8(\text{сист.})) \text{ МэВ}/c^2$, соответствуют табличным (PDG) данным. Эти результаты были доложены группой ОИЯИ на конференции ICPPA-2020, готовится публикация.

Результаты анализа фемтоскопических корреляций для пар тождественных заряжен-

ных каонов в Pb–Pb-взаимодействиях при 5,02 ТэВ сравнивались с предсказаниями гидродинамической модели EPOS. На рис. 10 показаны радиусы источников излучения каонов, R_{inv} , в зависимости от поперечных импульсов пар, k_T , и центральности событий. Сплошные и пунктирные линии — предсказания модели с перерасеянием частиц в конечном состоянии и без перерасеяния соответственно. Видно, что механизм перерасеяния частиц важен для правильного описания экспериментальных данных. Результаты были также представлены группой ОИЯИ на ICPPA-2020 [3].

Новые результаты анализа фемтоскопических корреляций пар тождественных заряженных пионов и каонов в pp -взаимодействиях при 13 ТэВ были получены отдельно для сферичных ($S_T > 0,7$) и струйных ($S_T < 0,3$) событий (S_T — поперечная сферичность). Основной результат — уменьшение радиусов источников излучения частиц с ростом k_T не только в струйных, но и в сферичных событиях, что указывает на нетривиальное коллективное поведение частиц, ожидаемое только для ядро-ядерных столкновений при возможном образовании кварк-глюонной плазмы.

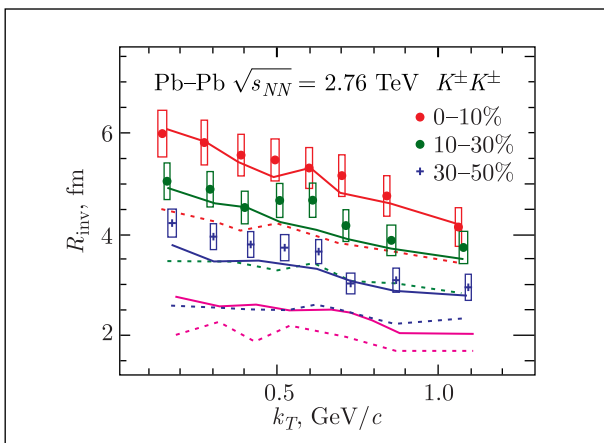


Рис. 10. Радиусы источников излучения пар заряженных каонов в зависимости от поперечного импульса пар. Линии — предсказания модели EPOS

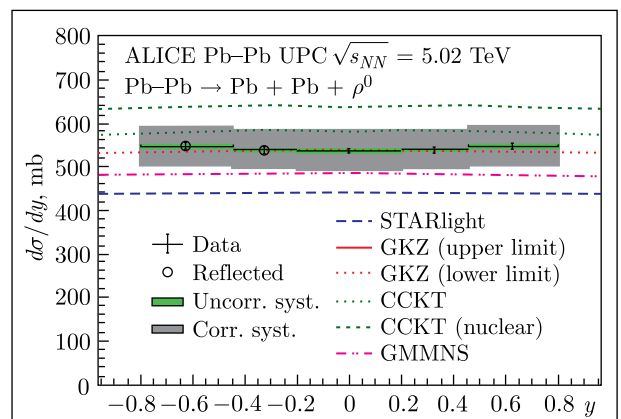


Рис. 11. Сравнение дифференциальных сечений (по скорости) когерентного рождения ρ^0 -мезонов с предсказаниями различных моделей

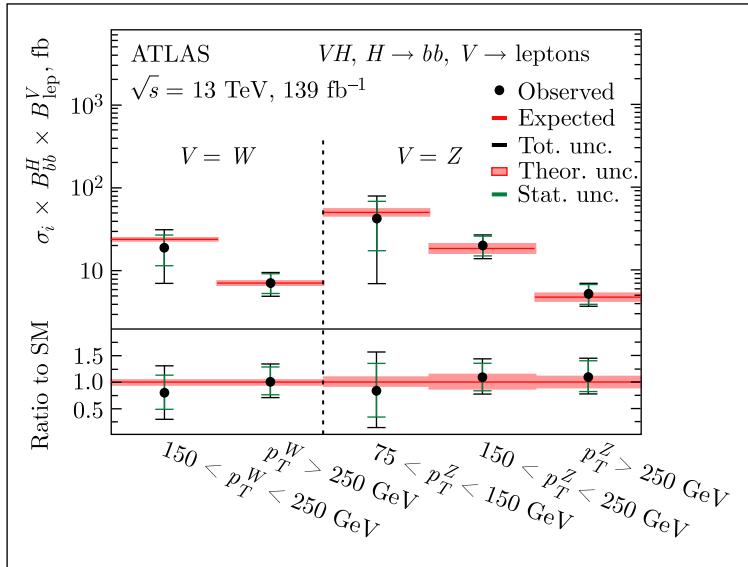


Рис. 12. Измеренное сечение $VH(bb)$, $V \rightarrow$ лептоны

Завершен анализ когерентного рождения ρ^0 -мезонов в ультрапериферических Pb–Pb-соударениях при 5,02 ТэВ. Определены дифференциальные сечения их рождения, и сделаны сравнения с предсказаниями моделей (рис. 11). Кроме того, проведены первые измерения когерентного фоторождения объекта, подобного резонансному состоянию с массой около $1700 \text{ МэВ}/c^2$. Эти результаты были доложены на ICHEP-2020 в Праге и опубликованы в JHEP [4].

Группа ОИЯИ продолжала активные исследования в рамках проекта модернизации электромагнитного калориметра PHOS ALICE с целью выбора оптимального фотоприемника и электроники считывания.

ATLAS. На статистике, соответствующей интегральной светимости 139 фб^{-1} , на LHC при $\sqrt{s} = 13 \text{ ТэВ}$ было продолжено изучение процесса ассоциативного рождения бозона Хиггса с W - или Z -бозоном и его распадом на пару b -кварков, и наблюдается значимость сигнала в каналах с W - или Z -бозоном 4,0 и 5,3 стандартных отклонений при ожидаемых значениях 4,1 и 5,1 соответственно. Сечение ассоциированного рождения бозона Хиггса измерено как функция поперечного импульса калибровочного бозона (рис. 12) [5]. Все измерения поперечного сечения соответствуют ожиданиям Стандартной модели, а общие неопределенности варьируются от 30% в области больших поперечных импульсов калибровочного бозона до 85% в областях малых значений импульсов. Также установлены ограничения на параметры эффективного

лагранжиана, чувствительного к модификации процессов WH и ZH , а также к распаду бозона Хиггса на b -кварки.

Совместно с коллегами из ЛНФ проведены радиационные испытания быстродействующих дифференциальных усилителей, продемонстрировавшие стабильную работу до величины нейтронного флюенса $\sim 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

CMS. Исследования, проводимые группой ОИЯИ в эксперименте CMS в 2020 г., были направлены на поиск сигналов новой физики в канале с парой лептонов и множественным рождением жестких частиц, проверку предсказаний расширенных калибровочных моделей с нарушением и без нарушения лептонного числа (LFV), сценариев с

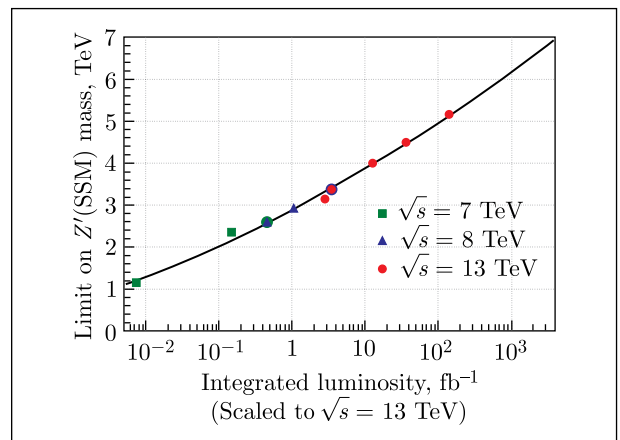


Рис. 13. Наблюдаемые при энергиях в с. д. м. 7, 8 и 13 ТэВ массовые пределы для гипотетического калибровочного бозона Z' в модели SSM в зависимости от интегральной светимости

дополнительными пространственными измерениями, с расширенным хиггсовским сектором, а также на проверку упрощенных описаний взаимодействий темной материи (ТМ) с обычной материей СМ. Прецизионные тесты Стандартной модели проводились в канале с парой мюонов, а также в процессах инклюзивного рождения струй.

В канале с парой лептонов сделаны предсказания (рис. 13) на массовые пределы нового тяжелого бозона Z' (резонанс со спином 1 в модели SSM) расширенного калибровочного сектора СМ, которые могут быть достигнуты при работе LHC в режиме высокой светимости ($1000\text{--}3000\text{ fb}^{-1}$) с учетом последних данных CMS [6]. Для модели SSM продемонстрировано наступление кинематического предела в районе $7\text{ ТэВ}/c^2$ при энергии 13 ТэВ, что соответствует $7\text{--}8\text{ ТэВ}/c^2$ при 14 ТэВ.

Проведен обобщающий анализ результатов и перспектив поиска сигналов многомерной гравитации в условиях ограниченной энергии LHC (14 ТэВ) [7]. Продемонстрировано, что LHC достиг своего порога в наблюдении возможных сигналов квазиклассических многомерных черных дыр RS- и ADD-типа. Однако существует и по-прежнему остается окно возможностей для так называемых квантовых черных дыр (КЧД) с характерной экспериментальной сигнатурой с нарушением аромата ($e\mu/e\tau/\mu\tau$). Полученные ограничения на минимально допустимые значения массы КЧД составляют от $3,6$ до $5,6\text{ ТэВ}/c^2$ в зависимости от модели и числа дополнительных измерений n (рис. 14).

В канале с парой противоположно заряженных лептонов проведен экспериментальный поиск переносчика взаимодействия между полями СМ и сектором темной материи. В отсутствие значимого превышения сигнала над ожидаемым фоном СМ в рамках упрощенной модели ТМ (с одной дираковской частицей ТМ и одним переносчиком) установлены верхние пределы на массы частиц ТМ и аксиально-векторного и векторного переносчиков [8, 9].

В рамках программы 2-й фазы модернизации CMS физики ОИЯИ участвовали в переоборудовании электроники и системы охлаждения CSC мюонной станции ME1/1. Проводились тесты собранных камер на космических лучах. Была введена в эксплуатацию модернизированная система регистрирующей электроники центральных адронных калориметров (HCAL), базирующейся на кремниевых фотоумножителях (SiPM). Разработана и проверена на прототипе модуля высокогранулярного торцевого калориметра (HGCal) новая методика сборки активных сцинтилляционных элементов. Проводились исследования радиационной стойкости компонентов и оптимизации конфигурации этого калориметра.

В 2021 г. на полной статистике LHC планируется продолжить исследования, направленные на поиск новой физики и измерение характеристик процесса Дрелла–Яна. Планируется завершить измерение асимметрии «вперед-назад» и угловых коэффициентов, а также создать прототип автоматизированной системы контроля качества данных.

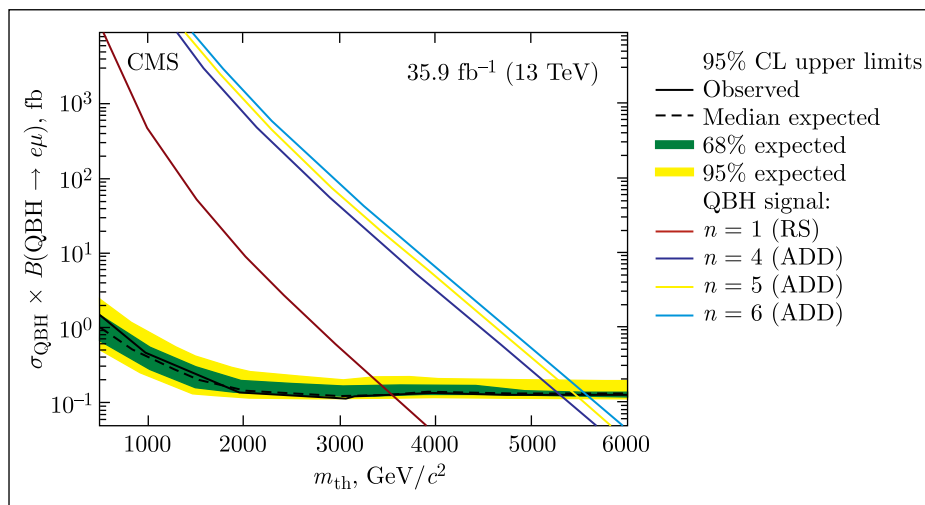


Рис. 14. Верхние пределы на сечение рождения КЧД с распадом в конечное состояние $e\mu$ в зависимости от порогового значения массы КЧД. Показаны предсказания для моделей многомерных КЧД для нескольких выборов числа дополнительных измерений: $n = 1$ (RS) и $n = 4, 5, 6$ (ADD)

Эксперименты на протонном синхротроне в ЦЕРН. COMPASS. Измерение процессов с рождением адронов в полуинклюзивных реакциях глубоконеупругого рассеяния (SIDIS) лептонов на неполяризованных нуклонах позволяет получить информацию о собственном поперечном импульсе кварков в нуклоне и о функции Бора–Малдерса путем измерения азимутальных модуляций сечений этих реакций. Эти модуляции были недавно измерены в эксперименте HERMES в DESY на протонных и дейтронных мишенях, а также в эксперименте COMPASS с использованием мюонного пучка ЦЕРН SPS и мишени ${}^6\text{LiD}$ [10]. В обоих случаях амплитуды модуляций $\cos\varphi_h$ и $\cos 2\varphi_h$ (рис. 15) демонстрируют сильные кинематические зависимости как для положительных, так и для отрицательных заряженных адронов. С некоторых пор было известно, что измеренные адронные конечные состояния в этих экспериментах получают вклад в SIDIS от эксклюзивных дифракционных процессов с рождением векторных мезонов, что особенно важно при больших значениях z , доли энергии виртуального фотона, переносимой адроном.

В предыдущих измерениях азимутальной асимметрии этот вклад не учитывался, по-

скольку не было известно, что он может искажать азимутальные модуляции. В настоящее время разработан метод оценки вклада эксклюзивных реакций в азимутальные асимметрии. Вычитание этого вклада приводит к лучшему пониманию кинематических эффектов, а оставшаяся ненулевая модуляция $\cos 2\varphi_h$ дает указание на ненулевой эффект функции Бора–Малдерса.

Проведено измерение матричных элементов спиновой плотности (SDMEs) в процессах жесткого эксклюзивного рождения ω -мезонов с использованием поляризованных μ^+ - и μ^- -пучков 160 ГэВ/с, падающих на жидкую водородную мишень [11]. Измерение охватывает диапазон инвариантных масс конечного адронного состояния $5,0 \text{ (ГэВ/с)}^2 < W < 17,0 \text{ (ГэВ/с)}^2$ со средней кинематикой $Q^2 = 2,1 \text{ (ГэВ/с)}^2$, $W = 7,6 \text{ (ГэВ/с)}^2$ и $p_T^h = 0,16 \text{ (ГэВ/с)}^2$. Измеренные ненулевые SDMEs для переходов поперечно-поляризованных виртуальных фотонов в продольно-поляризованные векторные мезоны ($\gamma_T^* \rightarrow V_L$) указывают на нарушение сохранения спиральности s -канала. Наблюдается значительный вклад переходов неестественного четного обмена (UPE), который уменьшается с увеличением W . Получен-

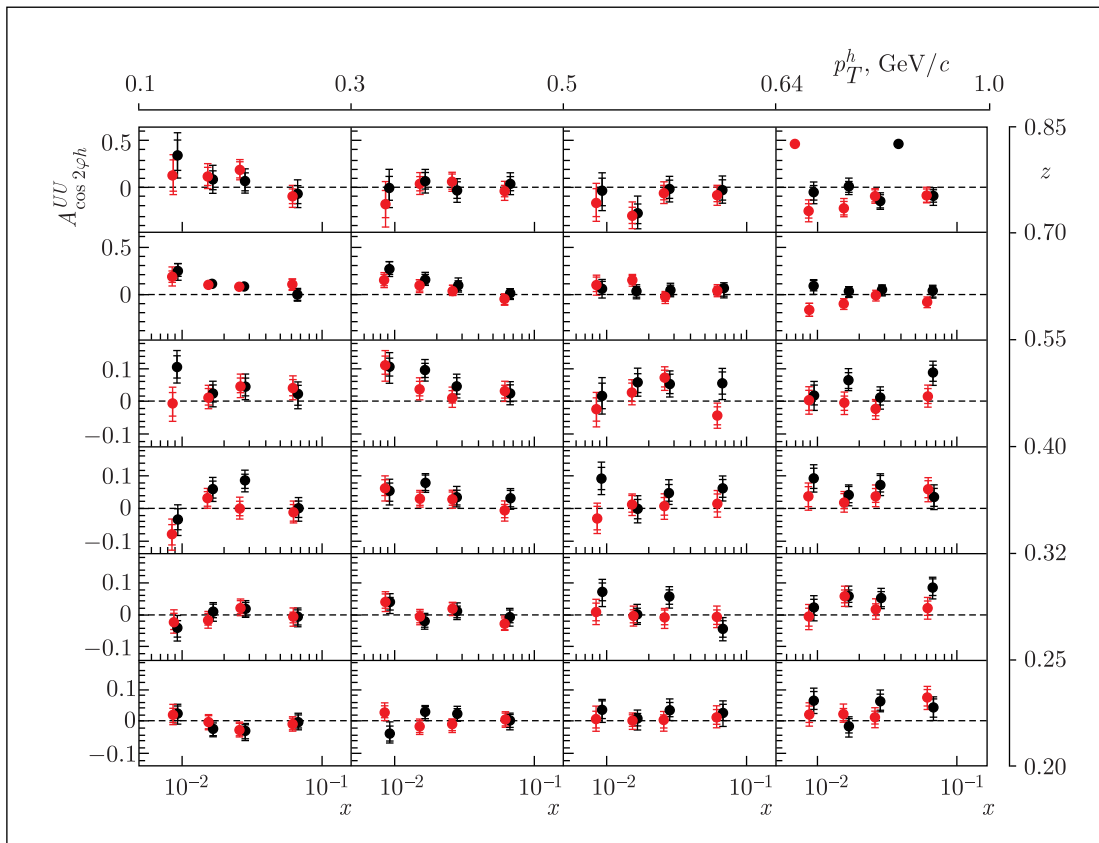


Рис. 15. Полуинклюзивные асимметрии $A_{\cos 2\varphi_h}^{UU}$, полученные на ${}^6\text{LiD}$ -мишени

ные результаты позволяют модельно-зависимым образом оценить вклад переходов UPE и оценить роль спирально-зависимых обобщенных партонных распределений в процессах эксклюзивного рождения ω -мезона.

NA61/SHINE. Основная цель эксперимента NA61 — изучение особенностей, характерных для начала деконфайнмента и образования файерболов, а также поиск критической точки. Поиск критической точки сильновзаимодействующей материи ведется в эксперименте NA61/SHINE путем сканирования фазовой диаграммы как по температуре, так и по барионному химическому потенциалу, что достигается как проведением измерений при различных энергиях, так и в исследованиях зависимостей от размеров сталкивающихся систем. Изучались динамические свойства энергетической зависимости отношения выхода каонов к пионам и наклоны спектров каонов по поперечной массе, хорошо известных как «step»- и «horn»-структуры. В столкновениях Pb+Pb такие структуры возникают при образовании смешанной фазы адронного газа (HG) и кварк-глюонной плазмы (QGP). Обнаружена быстрая смена «horn» в энергетической зависимости K/π в центральных столкновениях Pb+Pb и Au+Au, что интерпретируется как проявление деконфайнмента в ядерных взаимодействиях — переход от HG к QGP. Эксперимент NA61/SHINE дополнил эти данные новыми измерениями в реакциях $p+p$, Be+Be и Ag+Sc, которые показали, что энергетическая зависимость параметра наклона в $p+p$ -взаимодействиях имеет форму плато «step»; данные по Be+Be-столкновениям близки к результатам для $p+p$ -взаимодействий, а данные по взаимодействиям Ag+Sc проявляют зависимость от энергии столкновения, качественно аналогичную данным в реакции $p+p$, но плато находится на значительно более высоком уровне. Результаты для $p+p$ -взаимодействий могут свидетельствовать о проявлении деконфайнмента в малых системах.

В связи с планами увеличения более чем в 10 раз интенсивности пучка ионов свинца в ЦЕРН начата модернизация практически всех детекторных систем этой установки. Сотрудники ОИЯИ осуществляют модернизацию времяпролетной системы (ToF) на базе многозачорных резистивных камер (MRPC) со считывающими стрипами, созданных для эксперимента NA61 на основе разработок, проведенных в ЛФВЭ для проекта NICA.

NA62 (NA48/2). Эксперимент NA62 в ЦЕРН посвящен изучению очень редкого распада заряженного каона на заряженный пион, нейтрино и антинейтрино. В эксперименте получен новый результат в изучении распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$, основанный на данных, зарегистрированных в 2018 г. Достигнута чувствительность к одиночному событию на уровне $1,11 \cdot 10^{-11}$, что соответствует ожидаемому в рамках Стандартной модели 7,6 событиям. Экспериментально обнаружены 17 кандидатов в события сигнала при ожидаемом уровне фона 5,3 события. Вместе с тремя событиями, обнаруженными ранее коллаборацией NA62 в данных 2016 и 2017 гг., это приводит к самому точному измерению относительной вероятности распада: $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (11,0_{-3,5}^{+4,0} \pm 0,3_{\text{сист.}}) \times 10^{-11}$, что находится в согласии с ожиданиями Стандартной модели $(8,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-11}$. NA62 возобновит регистрацию данных после длительной остановки ЛHC с целью достижения первоначально планируемой точности порядка 10%.

Получены новые результаты анализа, меняющего флейвор распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$ [12]. Предварительно измеренные параметры формфактора имеют величины $a = -0,592 \pm 0,015$, $b = -0,699 \pm 0,058$, а относительная вероятность распада $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-) = (9,27 \pm 0,11) \cdot 10^{-8}$. Достигнутая точность эксперимента NA62 существенно улучшает имеющиеся мировые данные по этому распаду.

Группа ОИЯИ также активно участвует в обслуживании и развитии установки; ведется наладка производства строу-трубок малого диаметра и моделирование эффективности регистрации треков частиц.

NA64. В отчетный период в эксперименте NA64, отмеченном в 2019 г. дирекцией ЦЕРН в числе наиболее интересных и многообещающих с научной точки зрения проектов, были полностью обработаны и опубликованы данные по поиску сигнала рождения и распада темного фотона A' , набранные в сеансах 2016–2018 гг. на электронном пучке ускорителя SPS ЦЕРН. Суммарная статистика составила $\sim 4 \cdot 10^{11}$ событий. Кандидатов на сигнал, отвечающий сигнатуре темного фотона, не обнаружено.

Группа ОИЯИ отвечает, в частности, за разработку и создание координатных детекторов на основе тонкостенных дрейфовых трубок. Институтом были приняты обязательства по изготовлению, оборудованию электроникой

и введению в эксплуатацию 7 новых двуслойных камер из 6-мм строу-трубок размером 600×1200 мм. В 2020 г. изготовлены все камеры, ведутся работы по их оснастке электроникой и тестированию.

Эксперименты на коллайдере RHIC. Сотрудники ЛФВЭ принимают активное участие в эксперименте STAR в Брукхейвене по изучению соударений релятивистских тяжелых ионов. Из малости измеренной относительной разности масс гипертритона и антигипертритона, равной $(1,1 \pm 1,0 \text{ (стат.)} \pm 0,5 \text{ (сист.)}) \times 10^{-4}$, сделан вывод об отсутствии нарушений СРТ-симметрии [13]. Важнейшим научным приоритетом коллаборации STAR является программа сканирования по энергии — Beam Energy Scan II. Цель программы — поиск сигнатур фазовых переходов и критической точки в ядерной материи. Выполнены запланированные измерения при пяти значениях энергии коллайдера (7,7, 9,1, 11,5, 14,6 и 19,6 ГэВ). В 2021 г. предлагается дополнительно провести измерения при шестом значении энергии 16,7 ГэВ. Получены указания о том, что энергетическая зависимость «net-baryon» флуктуаций, возможно, претерпевает значительные изменения. Анализ данных продолжается с привлечением различных моделей. При изучении плоскости события получено ненулевое значение ν_1 для оценки величины прямого потока в Au+Au-столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 27$ ГэВ.

В рамках подготовки спиновой программы на ускорительном комплексе NICA сотрудники группы разрабатывают прототип ZDC-калориметра на основе кристаллов галлий-гадо-

линиевого граната и абсорберов на основе композиционных сплавов W/Cu. В 2021 г. планируется осуществить сборку прототипа и тестирование на пучке. Кроме того, разработаны и изготовлены 4 детектора для поляриметра на основе GaGG-кристаллов диаметром 52 мм и длиной 50 мм для установки на выходе линейного ускорителя ЛУ-20.

Эксперименты на установках в GSI. HADES. Основной целью эксперимента HADES является изучение свойств плотной адронной материи, создаваемой в соударениях тяжелых ионов. Группой ОИЯИ была выполнена работа по интерпретации полученных на HADES данных по рождению e^+e^- -пар в пион-нуклонном взаимодействии. Проводится модификация OPER-модели для моделирования процессов $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-$ и $np \rightarrow np\pi^+\pi^-$ при энергиях 3,5 и 4,5 ГэВ. Сотрудники также участвовали в техническом обслуживании многопроволочных дрейфовых камер и в работах по замене регистрирующей электроники.

СВМ. Эксперимент СВМ будет одним из основных на создаваемом коллайдере FAIR. В 2020 г. группой ОИЯИ были выполнены расчеты магнита для мюонной опции установки СВМ. Получена оценка сил, действующих на катушки сверхпроводящего магнита и на мюонный детектор. Для мюонной системы СВМ изготовлена пробная партия FEE на базе микросхемы AST1-1 для прототипа строу-детектора размером 50×50 см, проведены радиационные тесты прототипа. Изготовлена 16-канальная плата с SiPM-считыванием для адронного калориметра и выполнено ее тестирование.

СОБЫТИЯ

20–21 апреля в Дубне состоялось 5-е коллаборационное совещание VM@N. Было представлено свыше 40 докладов, обсуждались недавние результаты по взаимодействиям ядер углерода и аргона с фиксированными мишенями.

23–24 апреля в режиме видеоконференции проводилось 5-е коллаборационное совещание MPD. Было представлено 27 докладов, посвященных созданию детекторных систем MPD и результатам физических анализов.

26 августа делегация ОИЯИ приняла участие в торжественном открытии года китайско-российского научно-технического и инновационного сотрудничества, мероприятия в рамках которого будут проводиться в 2021 г.

В ходе мероприятия было подписано соглашение между Министерством науки и технологий Китайской Народной Республики и Объединенным институтом ядерных исследований об участии КНР в строительстве и эксплуатации ускорительного комплекса NICA.

15–16 сентября состоялось второе заседание комитета по анализу затрат и графика исполнения работ по проекту «Нуклотрон–NICA», сформированного по решению Комитета полномочных представителей правительств стран-участниц ОИЯИ. Комитет отметил значительный прогресс в реализации проекта NICA со времени его последнего заседания в феврале и поздравил команду и руководство с их достижениями. Комитет осо-

бенно отметил прогресс в строительстве (зал MPD почти завершен и скоро будет готов для магнитных испытаний), а также завершение монтажа бустера и начало комплексного пусконаладочного процесса.

20–23 октября в ЛФВЭ прошла международная конференция «Гранты РФФИ для NICA», на которой держатели грантов доложили о результатах исследований в течение первых двух лет своей работы по грантам. Помимо этого первый день работы был насыщен обзорными лекциями ведущих теоретиков, презентациями лидеров проекта NICA, экспериментов MPD, BM@N,

SPD, докладами участников экспериментов на комплексах FAIR, LHC и RHIC. Программа конференции доступна по ссылке <https://indico.jinr.ru/event/1469>.

26–27 октября в Дубне проходило 6-е рабочее совещание коллаборации BM@N. Часть докладов была представлена очно, часть — в режиме видеоконференции. Из 40 докладов более 25 были прочитаны молодыми сотрудниками на параллельных секциях.

28–30 октября состоялось 6-е коллаборационное совещание MPD, проходившее в режиме видеоконференции со 151 участником, было заслушано 40 докладов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Basilev S. et al.* Measurement of Neutron and Proton Analyzing Powers on C, CH, CH₂ and Cu Targets in the Momentum Region 3–4.2 GeV/c // *Eur. Phys. J. A.* 2020. V. 56. P. 26.
2. *Mikhaylov K. (on behalf of the ALICE Collab.)*. K^+K^- Correlations in Pb–Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV by ALICE at the LHC // 5th Intern. Conf. on Particle Physics and Astrophysics “ICPPA-2020”, Moscow, Oct. 5–9, 2020.
3. *Rogochaya E., Batiyuna B., Malinina L., Mikhaylov K., Romanenko G., Verner K.* Pion and Kaon Femtoscopy in Pb–Pb Collisions at 2.76 TeV in Comparison with EPOS 3 Model Prediction // 5th Intern. Conf. on Particle Physics and Astrophysics “ICPPA-2020”, Moscow, Oct. 5–9, 2020.
4. *Pozdnyakov V. (on behalf of the ALICE Collab.)*. Vector Meson Photoproduction in Ultra-Peripheral Pb–Pb Collisions at the LHC with ALICE // 40th Intern. Conf. on High Energy Physics “ICHEP 2020”, Prague, July 28 – Aug. 6; *ALICE Collab.* Coherent ρ^0 Photoproduction in Ultra-Peripheral Pb–Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // *JHEP.* 2020. V. 06. P. 035.
5. *ATLAS Collab.* Measurements of WH and ZH Production in the $H \rightarrow bb$ Decay Channel in pp Collisions at 13 TeV with the ATLAS Detector. arXiv:2007.02873v1; *Eur. Phys. J. C.* (submitted).
6. *Зарубин А. В., Ланёв А. В., Савина М. В., Шматов С. В.* Физика с тяжелыми димьюонами // *Очерки по современной физике частиц* / Под общ. ред. В. А. Матвеева, И. А. Голутвина. Дубна: ОИЯИ, 2020. С. 290–317.
7. *Савина М. В., Сеитова Д.* Программа эксперимента CMS по поиску сигналов многомерной низкоэнергетической гравитации на ускорителе LHC // *ЯФ.* 2021. Т. 84, № 2. С. 149–155.
8. *Жижин И. А., Ланёв А. В., Шматов С. В.* Поиск новой физики в дилептонном канале в эксперименте CMS на LHC // Там же. С. 143–148.
9. *Жижин И. А., Ланёв А. В., Шматов С. В.* Поиск тяжелых нейтральных калибровочных бозонов в дилептонном канале в эксперименте CMS на LHC // *Ядерная физика и инжиниринг* (в печати).
10. *COMPASS Collab.* Contribution of Exclusive Diffractive Processes to the Measured Azimuthal Asymmetries in SIDIS // *Nucl. Phys. B.* 2020. V. 956. P. 115039.
11. *COMPASS Collab.* Spin Density Matrix Elements in Exclusive ω Meson Muoproduction. CERN-EP-2020-169; *Eur. Phys. J. C.* (submitted).
12. *Madigozhin D.* New Measurement of the $K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$ Decay at NA62 // 9th Intern. Conf. on New Frontiers in Physics “ICNFP 2020”, Kolimvry, Crete, Greece, Sept. 4 – Oct. 2. 2020.
13. *STAR Collab.* Measurement of the Mass Difference and the Binding Energy of the Hypertriton and Antihypertriton // *Nature Phys.* 2020. V. 16. P. 409.



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ ИМ. В. П. ДЖЕЛЕПОВА

ФИЗИКА НЕЙТРИНО И РЕДКИХ ПРОЦЕССОВ, АСТРОФИЗИКА

В апреле 2020 г. развернуты и введены в эксплуатацию шестой и седьмой кластеры создаваемого на оз. Байкал глубоководного нейтринного телескопа кубокилометрового масштаба **Baikal-GVD** [1]. С их вводом эффективный объем телескопа достиг значения $0,35 \text{ км}^3$ в задаче регистрации ливней от нейтрино высоких энергий астрофизической природы. Установка содержит в своем составе 2016 глубоководных детекторов черенковского света на основе больших фотоэлектронных умножителей и работает в режиме постоянной регистрации и накопления данных. Получаемые данные о потоке атмосферных мюонов и нейтрино находятся в хорошем соответствии с ожидаемыми [2]. Темп счета первых событий от нейтрино высоких энергий находится в согласии с данными о потоке астрофизических нейтрино, полученными на антарктическом нейтринном телескопе IceCube. Совместная работа этих двух крупнейших телескопов Северного и Южного полушарий позволяет вести обзор всего неба в нейтринном излучении, осуществлять поиск астрофизических источников на всей небесной сфере. Детектор Baikal-GVD включен в международные системы многоканальных оповещений с целью поиска и последующего изучения транзиентных астрофизических источников методами многоволновой и многоканальной астрономии.

В эксперименте **Daya Bay** в декабре 2020 г. закончился набор данных. Анализ данных будет выполнен к 2022 г. Группе ОИЯИ поручена разработка анализа, пригодного для публикации с исходным кодом в рамках программы долгосрочного сохранения данных. В программном обеспечении GNA,

разработанном в ОИЯИ, завершена реализация эксперимента Daya Bay с учетом полного набора систематических неопределенностей, метода CLs и определения чувствительности установки Daya Bay к стерильным нейтрино. Разработан алгоритм анализа для подавления неопределенности измерения θ_{13} и Δm_{32}^2 , связанной с фоном ${}^8\text{He}/{}^9\text{Li}$, основанный на временном разделении окна сигнала.

В эксперименте **JUNO** определена конструкция поддерживающей платформы детектора Top Tracker, рабочие чертежи и документация переданы фирме-изготовителю. Производство начнется в 2021 г. Продолжается разработка программного обеспечения системы сбора данных детектора Top Tracker. После проведения серии тестов и проверок начато массовое производство разработанных группой ОИЯИ модулей высоковольтной системы для всех ФЭУ эксперимента JUNO ($\sim 25\,000$ шт.). Завершаются детальные тесты 20 000 ФЭУ большого размера для центрального детектора и вето-системы JUNO.

В рамках эксперимента **Borexino** проведены анализ событий наложения сигналов и анализ профилей вероятности сигналов по первой регистрации нейтрино из углеродно-азотного цикла на Солнце [3]. Получены пределы на магнитный момент нейтрино с низкими энергиями от астрофизических источников [4]. Предложен и успешно протестирован новый метод анализа данных, основанный на их отборе с помощью многослойного перцептрона. Показана возможность улучшения пределов на эффективный магнитный момент нейтрино при совместном использовании данных двух фаз работы детектора.

В 2020 г. в эксперименте **NOvA** состоялся анализ данных с увеличенной интегральной экспозицией, которая теперь составляет $13,6 \cdot 10^{20}$ POT (протонов на мишени) в пучке нейтрино и $12,5 \cdot 10^{20}$ POT в пучке антинейтрино. Совместная интерпретация различных каналов осцилляций позволила уточнить параметры этого явления: лучшее значение подгонки лежит в точке с нормальной иерархией, в верхнем октанте угла θ_{23} со значением $\sin^2 \theta_{23} = 0,57^{+0,03}_{-0,04}$, $\Delta m_{32}^2 = (+2,41 \pm 0,07) \cdot 10^{-3}$ эВ² и $\delta_{CP} = 0,82^{+0,24}_{-1,0}$ π . Таким образом, по данным эксперимента NOvA предпочтительнее комбинация осцилляционных параметров, приводящая к симметрии между нейтрино и антинейтрино, а противоположные комбинации («обратная иерархия, $\delta_{CP} = \pi/2$ » и «нормальная иерархия,

$\delta_{CP} = 3\pi/2$ ») предположительно отвергаются на уровнях $> 3\sigma$ и $> 2\sigma$ соответственно [5].

В рамках проекта **NEMO-3** опубликованы результаты поиска двойного бета-распада ^{82}Se на 0_1^+ возбужденный уровень ^{82}Kr [6]. Это исследование было проведено на основе данных, накопленных в течение 4,75 лет с использованием 0,93 кг обогащенного ^{82}Se , что соответствует экспозиции 4,42 кг·лет. Распад ^{82}Se на уровень 0_1^+ не был обнаружен, получено ограничение на $2\nu\beta\beta$ -распад: $T_{1/2}^{2\nu}(^{82}\text{Se}, 0_{gs}^+ \rightarrow 0_1^+) > 1,3 \cdot 10^{21}$ лет (90%-й уровень достоверности). Для $0\nu\beta\beta$ -распада на уровень 0_1^+ был получен предел на период полураспада: $T_{1/2}^{0\nu}(^{82}\text{Se}, 0_{gs}^+ \rightarrow 0_1^+) > 2,3 \cdot 10^{22}$ лет (90%-й уровень достоверности), независимо от $2\nu\beta\beta$ -распада (рис. 1).

В рамках проекта **EDELWEISS** был осуществлен прорыв в создании детекторов, ре-

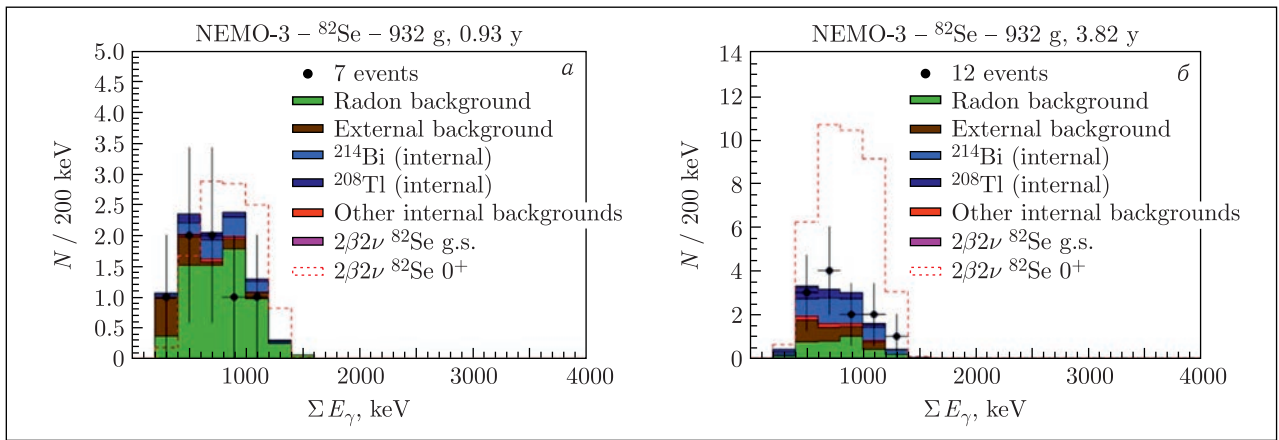


Рис. 1. Распределение суммарной кинетической энергии двух электронов в отобранном наборе событий $2e2\gamma$ для фазы 1 (а) и фазы 2 (б). Экспериментальные данные сравниваются с результатами моделирования Монте-Карло для различных источников фона. Красная пунктирная линия обозначает ожидаемый сигнал от $2\nu\beta\beta$ -распада на уровень 0_1^+ для периода полураспада $3 \cdot 10^{20}$ лет

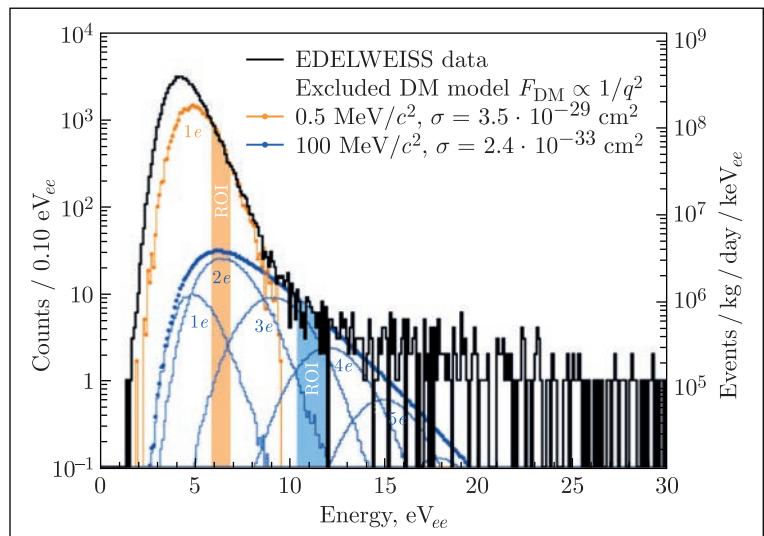


Рис. 2. Экспериментальный спектр низкоэнергетических событий и ожидаемые спектры частиц темной материи в области, впервые изучаемой с германиевыми детекторами

гистрирующих сигнал в диапазоне значений энергии ядер отдачи ниже 100 эВ, что открывает совершенно новые возможности не только поиска частиц темной материи, но и исследования нейтрино с использованием когерентного рассеяния на ядрах (CE ν NS). Из анализа накопленных данных в 2020 г. были получены ограничения на взаимодействия сверхлегких частиц темной материи на электронах и на поглощение бозонной темной материи [7] (рис. 2).

В 2019–2020 гг. совместными усилиями EDELWEISS и CUPID-Mo были получены результаты мирового уровня по поиску безнейтринного двойного β -распада изотопа ^{100}Mo . Для измерений применялись 20 сцинтилляционных кристаллов Li_2MoO_4 , находящихся в кристате EDELWEISS, что позволило одновременно со светом измерять фоновый сигнал и привело к эффективному разделению α - от β - и γ -событий и к нулевому уровню фона для области поиска $0\nu\beta\beta$. Используя данные, накопленные в течение одного года (2019–2020), CUPID-Mo установил новый лучший предел на $0\nu\beta\beta$ -распад ^{100}Mo : $1,5 \times 10^{24}$ лет [8].

В 2020 г. завершен анализ данных эксперимента **GERDA**. По результатам анализа накопленной статистики в 127,2 кг·лет (из них в фазе II — 103,7 кг·лет) сигнал от $0\nu\beta\beta$ -распада обнаружен не был. Установлен лучший в мире предел на период полураспада $T_{1/2}^{0\nu} > 1,8 \cdot 10^{26}$ лет (90%-й уровень

достоверности) при беспрецедентной чувствительности эксперимента в $1,8 \cdot 10^{26}$ лет [9] (рис. 3). Во второй фазе эксперимента GERDA удалось достичь уникально низкого уровня фона $B = 5,2^{+1,6}_{-1,3} \cdot 10^{-4}$ отсчета/(кэВ·кг·год) и таким образом обеспечить практически бесфоновый режим набора данных: средний ожидаемый фон в энергетическом интервале ($Q_{\beta\beta} \pm 2\sigma$) составил 0,3 отсчета. В результате в эксперименте продемонстрирована линейная зависимость чувствительности от экспозиции [10].

Эксперимент νGeN направлен на прецизионное изучение электрослабого сектора и поиск новой физики путем регистрации упругого когерентного рассеяния нейтрино в области полной когерентности. Также производится поиск магнитного момента нейтрино на уровне чувствительности в $(5-9) \cdot 10^{-12}$ мкВ. Было достигнуто энергетическое разрешение в 77,99(33) эВ (FWHM), что позволяет регистрировать события с энергией ниже 250 эВ. Для снижения количества фоновых событий была сооружена многослойная пассивная защита из сверхчистой меди, борированного полиэтилена, свинца и нейлона. Изготовлено и установлено мюонное вето для дальнейшего снижения космогенного фона, начаты тестовые измерения с первым детектором.

В эксперименте **DANSS** зарегистрированы 4 млн реакторных антинейтрино. После анализа большей части набранной статистики (~ 3 млн событий) значимого эффекта осцил-

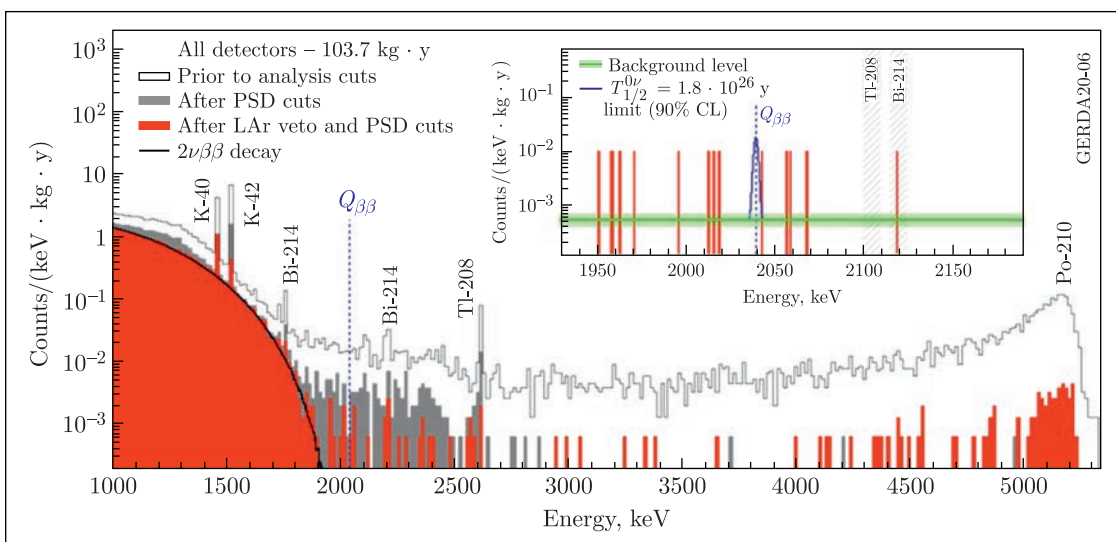
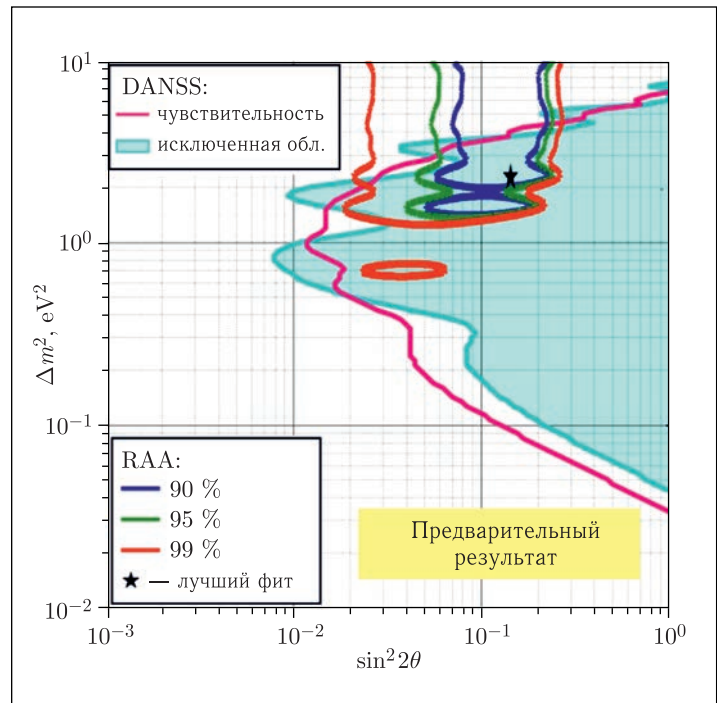


Рис. 3. Энергетический спектр GERDA (фаза II) для полной экспозиции в 103,7 кг·лет в диапазоне от 1,0 до 5,3 МэВ до и после всех отборов. На вкладке представлен энергетический спектр вблизи $Q_{\beta\beta}$. Зеленой линией показан уровень фона в данной области, голубой линией — гипотетический $0\nu\beta\beta$ -сигнал для $T_{1/2}^{0\nu} = 1,8 \cdot 10^{26}$ лет

Рис. 4. Область, исключенная в результате текущего анализа (бирюзовая заливка), и зона чувствительности (фиолетовая кривая). Модель $3 + 1$, соответствующая лучшему фиту согласно RAA-публикации (*Mention G. // J. Phys.: Conf. Ser. 2013. V. 408. P. 012025*), показана разными цветами (синий/зеленый/красный для $CL = 90/95/99\%$) в зависимости от уровня достоверности, черная звездочка — лучшее значение фита



ляций не наблюдалось [11]. Исключена наибольшая часть фазового пространства параметров ($\sin^2(2\theta_{14})$, Δm_{14}^2) возможных осцилляций, включая точку лучшего фита реакторной антинейтринной аномалии, исключенной на уровне более 5σ [12] (рис. 4). В течение четырех лет осуществляется мониторинг мощности реактора со статистической погрешностью $\sim 1,5\%$ за два дня измерений. Подтверждена применимость предложенной технологии для долгосрочного контроля реактора при помощи измерений реакторных антинейтрино спектрометром DANSS. Также в трех реакторных кампаниях была продемонстрирована чувствительность детектора DANSS к составу ядерного топлива (соотношения изотопов ^{239}Pu и урана ^{235}U).

В 2020 г. введен в эксплуатацию прототип установки **TAIGA** площадью 1 км^2 . Три атмосферных черенковских телескопа TAIGA-IACT установлены в вершинах треугольника со сторонами 300, 400 и 500 м в массиве между оптическими станциями TAIGA-NiSCORE. Телескопы имеют альт-азимутальную монтировку и камеру в фокусе сегмен-

тированного зеркала-отражателя конструкции Дэвиса–Коттона диаметром 4,3 м и фокусным расстоянием 4,75 м. Получено распределение широких атмосферных ливней от гамма-квантов за 40 ч наблюдения гамма-источника в Крабовидной туманности. Распределение строится для событий, когда телескоп направлен на источник (ON distribution), и для событий, когда телескоп направлен на фоновую область без источника (OFF distribution). По избытку событий при малых углах определяется значимость сигнала от источника. Полученное превышение событий для ON distribution указало на обнаружение гамма-лучей из Крабовидной туманности со значимостью $6,3\sigma$ [13, 14].

Завершается анализ данных эксперимента **OPERA**, а также продолжается анализ полученных в 2018 г. данных пробного сеанса эксперимента DsTau, нацеленного на исследование процессов рождения тау-нейтрино и поиск внутреннего очарования протона в p - A -взаимодействиях. Группой ОИЯИ разработан алгоритм подавления фона от адронного перерасеяния с помощью методов машинного обучения.

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

В рамках проекта **ATLAS** на LHC при активном участии сотрудников ОИЯИ проведены исследования по поиску распадов бозона Хиггса SM на bb -кварковую пару при ассоциативном рождении с W - или Z -бозонами. Про-

анализированы все данные, полученные в протон-протонных соударениях при $\sqrt{s} = 13 \text{ ТэВ}$. Измеренные сечения ассоциативного рожде-

ния бозона Хиггса с W - и Z -бозоном со статистической значимостью 4,0 (4,1) и 5,3 (5,1) σ хорошо согласуются с ожидаемыми значениями в рамках СМ [15].

В рамках эксперимента **BES-III** при 22 значениях энергии с.ц.м. в диапазоне от 2,00 до 3,08 ГэВ исследован процесс $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ [16]. Борновское сечение этого процесса оказалось в согласии с ранее измеренными значениями, однако имело гораздо более высокую точность. Выполнен парциально-волновой анализ процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0\pi^0$ с использованием наборов данных e^+e^- -столкновений с энергией с.ц.м. от 2,000 до 2,644 ГэВ [17]. Результаты находятся в согласии с измерениями эксперимента BaBar, но имеют значительно более высокую точность. При анализе сечений подпроцессов была обнаружена структура с массой $M = (2126,5 \pm 16,8 \pm 12,4)$ МэВ/ c^2 и шириной $\Gamma = (106,9 \pm 32,1 \pm 28,1)$ МэВ при общей статистической значимости $6,3\sigma$. Параметры резонанса позволяют идентифицировать его как $\varphi(2170)$, что важно для понимания внутренней природы $\varphi(2170)$.

Разработка программного обеспечения является основным техническим вкладом группы ОИЯИ в эксперимент BES-III, которая в настоящее время является одним из основных разработчиков ПО эксперимента и инструментов физического анализа. В 2020 г. продолжалась поддержка ПО, ранее созданного группой ОИЯИ, включая основанный на ROOT пакет BEAN для анализа данных эксперимента. Также осуществлялась поддержка грид-сегмента ОИЯИ в системе распределенных вычислений BES-III.

В рамках эксперимента **Mu2e** группой ЛЯП на базе производственных мощностей отделения НЕР Виргинского университета (США) согласно плану-графику работ по массовому производству сцинтилляционных детекторов системы CRV проекта Mu2e было создано 4 модуля длиной 4,5 м. Также сотрудники группы приняли участие в сборке Straw-модулей для эксперимента Mu2e в Университете Миннесоты (США). Несмотря на хорошую проработанность механической части технологии сборки, имелись принципиальные просчеты в процессе установки анодных проволочек, что, в свою очередь, приводило к ухудшению качественного состояния проволочки как анодного элемента трубки. В результате этого собранные модули не прошли высоковольтные испытания во FNAL. Благодаря большому опыту массового производства проволочных детекторов для экспериментов DELPHI, DZERO, COMPASS сотрудниками группы была принципиально решена эта проблема. После модификации операций с анодными проволочками экспресс-тесты с высоким напряжением показали хорошие результаты, что позволило успешно провести процесс сборки модулей [18, 19].

В рамках проекта **COMET** в 2020 г. созданы строу-трубки диаметром 4,8 мм и толщиной 12 мкм (рис. 5). Основным преимуществом таких трубок является малое количество вещества на пути заряженных частиц, минимальная течь газа и стабильная работа в вакууме. Эти параметры были достигнуты благодаря технологии ультразвуковой сварки, в которой используется специальный высокочастотный генератор. На сегодня создано

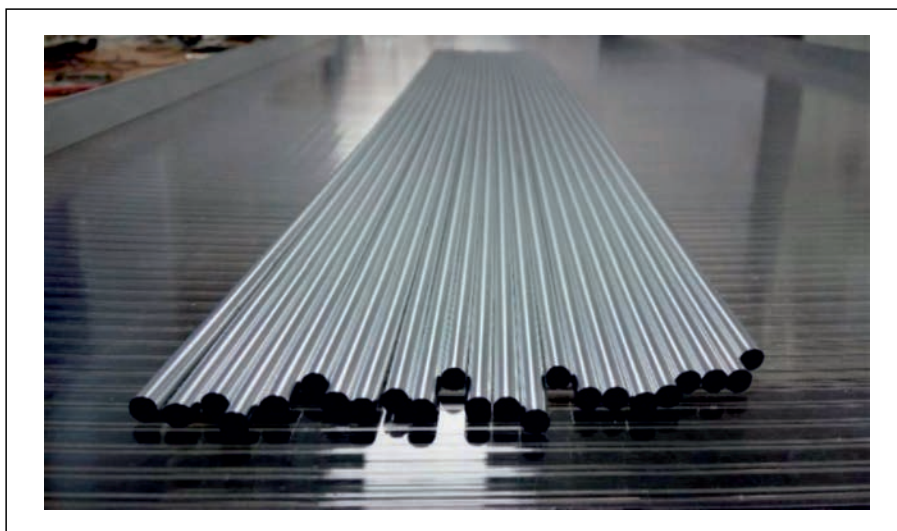


Рис. 5. Новые строу-трубки для прототипа трекового детектора

и протестировано 100 строу-трубок длиной 70 см, предназначенных для нового прототипа трекового детектора, который в данное время находится в разработке. Достигнутые параметры новых строу-трубок дают большое преимущество и возможность их применения в многочисленных современных экспериментах, в которых используются строу-трековые детекторные системы [20].

В рамках проекта **GDH&SPASCHARM** на ускорителе МАМІ (Майнц, Германия) при активном участии сотрудников ОИЯИ выполнены первые в мире прецизионные измерения

полных сечений и угловых распределений для фоторождения π^0 -мезонов на квазисвободных нуклонах, связанных в дейтроне. Установлено значительное расхождение между сечениями на свободных и связанных протонах, обусловленное взаимодействием нуклонов в конечном состоянии. Это расхождение использовано для оценки сечения фоторождения нейтральных пионов на свободных нейтронах. Данные получены с использованием созданной сотрудниками ЛЯП поляризованной протонной (дейтронной) мишени [21].

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

В НЭОМАП ЛЯП изготовлены и исследованы два прототипа модернизированных прецизионных лазерных инклинометров (**МПЛИ**). В настоящее время осуществляется суточный мониторинг угловых микросейсмов на прототипе МПЛИ на территории площадки ЛЯП ОИЯИ. Исследован микросейсмический фон индустриального происхождения с целью использования МПЛИ в работе коллайдера NICA. Результаты исследования показывают полезность использования сети МПЛИ для контроля угловых микросейсмов во время работы коллайдера [22, 23]. Завершена установка пяти ПЛИ (двух на гравитационной антенне ВИРГО и трех в транспортном тоннеле №1 ЦЕРН) и перевозка шестого ПЛИ в ЦЕРН. Получен государственный патент Российской Федерации на изобретения по прецизионному лазерному инклинометру [24].

Специалисты из ОИЯИ и ASIPP совместно разрабатывали с 2016 г. сверхпроводящий циклотрон **SC200** для адронной терапии. На сегодня пусконаладочные работы сверхпроводящего циклотрона SC200 в г. Хэфэе (Китай) близки к завершению. Все системы циклотрона изготовлены и испытаны, завершены магнитные измерения и шиммирование магнитного поля. Пучок успешно ускорен до проектной энергии 200 МэВ. Продолжаются работы с пучком, направленные на улучшение коэффициента прохождения, повышение интенсивности и организацию вывода [25]. Так как производство циклотрона для г. Хэфэя столкнулось со множеством инженерных проблем, конструктивные решения для дубненского циклотрона после тщательного анализа SC200, других проектов и действующих циклотронов для протонной терапии были пере-

осмыслены. Для нового проекта дубненского циклотрона SC230 был выбран низкий уровень магнитного поля. Ускоритель интересен как кандидат на установку, обеспечивающую интенсивным пучком новый многообещающий метод флэш-терапии, так как его центральная область позволяет разместить два внутренних источника [26].

В 2020 г. на базе **Медико-технического комплекса (МТК) ЛЯП** проводилось исследование влияния наночастиц золота (^{79}Au) на облучение культуры опухолевых клеток А 549 (карцинома легкого человека) γ -лучами ^{60}Co . Оценивалось количество микроядер (маркера хромосомных изменений в клетках). Наночастицы золота повышают генотоксическое действие γ -излучения. Изучалось также образование активных форм кислорода (АФК) в присутствии наночастиц золота под действием γ -излучения. Повышенное образование АФК может привести к оксидативному стрессу. При γ -облучении в присутствии золотых наночастиц наблюдается повышение образования АФК.

Получены новые результаты в области исследования влияния ионизирующих излучений разного качества на структуры и функции центральной нервной системы (ЦНС). Проведен анализ механизмов радиационно-индуцированного повреждения ЦНС и их связи с физическими характеристиками воздействующих излучений. Получены новые сведения о роли функциональных изменений со стороны рецепторов глутамата, а также о роли нейроглиальных взаимодействий и нейромодуляторных систем мозга при ответе на ионизирующее воздействие. В проведенных работах особое внимание уделялось сопоставле-

нию различных молекулярных механизмов во взаимосвязи с функциональными изменениями на уровне поведения, а также молекулярным механизмам, потенциально имеющим значение для разработки перспективных лекарственных мер против негативного влияния ионизирующих излучений [27].

В секторе молекулярной генетики клетки впервые в мире проведен транскриптомный анализ линии *D. melanogaster* российского происхождения и других линий различного географического происхождения, что позволило выделить ряд генов-кандидатов, важных для адаптации насекомых к условиям глобального потепления климата [28]. Выполнено RNA-seq модельных *D. melanogaster*, находившихся в условиях низкого радиационного фона DULB-4900 БНО ИЯИ РАН, для оценки влияния естественной и пониженной фоновой радиации на процессы жизнедеятельности сложного многоклеточного организма [29]. Проведено метагеномное секвенирование образцов из глубокого подземного источника БНО ИЯИ РАН, в ходе анализа полученных данных обнаружены новые роды и виды экстремальных микроорганизмов, представляющие большой интерес для фундаментальных и прикладных исследований.

В рамках **НИР новых полупроводниковых детекторов** в 2020 г. завершены работы по монтажу и запуску основных элементов действующего прототипа рентгеновского томографа с вращающимся образцом и начата его настройка и калибровка. Про-

должалось сотрудничество с международной коллаборацией Medipix4. В Федеральном научно-исследовательском центре «Кристаллография и фотоника» РАН разработан и изготовлен для ОИЯИ уникальный монохроматор рентгеновского излучения в диапазоне значений энергии 8–60 кэВ. Завершена работа по исследованию радиационного фона в шахте ATLAS с помощью пиксельных полупроводниковых детекторов с сенсорами из арсенида галлия [30–32]. Введена в эксплуатацию первая очередь линейного ускорителя электронов. Получен стабильный пучок электронов с энергией до 200 МэВ.

Основным направлением работ по проекту «**Развитие техники эксперимента и прикладные исследования на монохроматических пучках позитронов**» в 2020 г. были прикладные исследования в области физики твердого тела, а также исследование материалов и поверхностей с использованием метода позитронной аннигиляционной спектроскопии. Выполненные работы касались самовосстанавливающихся материалов, в которых радиационная деградация резко подавляется, например, в системе тонких фольг, построенных из Nb–Zr [33] и наноструктурированного титана [34], а также в материалах, предлагаемых для использования в ядерных реакторах IV поколения, которые должны выдерживать экстремальные условия облучения, а именно, карбиды, нитриды и вольфрам. В проведенных исследованиях также изучался эффект дальности действия [35].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Домогацкий Г. В.* Глубоководный нейтринный телескоп — Baikal-GVD // 36-я Всерос. конф. по космическим лучам, Москва, 28 сент. – 2 окт. 2020 г.; <https://events.sinp.msu.ru/event/3/sessions/22/#20200930>.
2. *Safronov G. B.* Status of Baikal-GVD: Results of Track Reconstruction // 40th Intern. Conf. on High Energy Physics “ICHEP2020”, July 28 – Aug. 6, 2020; <https://indico.cern.ch/event/868940/contributions/3813595/>.
3. *Agostini M. et al. (Borexino Collab.)*. Experimental Evidence of Neutrinos Produced in the CNO Fusion Cycle in the Sun // *Nature*. 2020. V. 587. P. 577–582.
4. *Agostini M. et al. (Borexino Collab.)*. Search for Low-Energy Neutrinos from Astrophysical Sources with Borexino // *Astropart. Phys.* 2021. V. 125. P. 102509.
5. *Acero M. A. et al. (NOvA Collab.)*. First Measurement of Neutrino Oscillation Parameters Using Neutrinos and Antineutrinos by NOvA // *Phys. Rev. Lett.* 2019. V. 123, No. 15. P. 151803.
6. *Arnold R. et al.* Search for the Double Beta Decay ^{82}Se to the Excited States of ^{82}Kr with NEMO-3 // *Nucl. Phys. A*. 2020. V. 996. P. 121701.
7. *Armengaud E. et al. (EDELWEISS Collab.)*. First Germanium-Based Constraints on Sub-MeV Dark Matter with the EDELWEISS Experiment // *Phys. Rev. Lett.* V. 125. P. 141301; <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.141301>.
8. *Armengaud E. et al. (CUPID-Mo Collab.)*. A New Limit for Neutrinoless Double-Beta Decay of Mo from the CUPID-Mo

- Experiment. arXiv:2011.13243; Phys. Rev. Lett. (submitted).
9. *Agostini M. et al. (GERDA Collab.)*. Final Results of GERDA on the Search for Neutrinoless Double- β Decay // Phys. Rev. Lett. 2020. V. 125. P. 252502.
 10. *Agostini M. et al. (GERDA Collab.)*. Modeling of GERDA Phase II Data // JHEP. 2020. No. 03. P. 139.
 11. *Alekseev I. (DANSS Collab.)*. Measurements of the Reactor Antineutrinos with the DANSS Experiment // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1468, No. 1. P. 012156.
 12. *Skrobova N.A. (DANSS Collab.)*. Statistical Data Analysis in the DANSS Experiment Including Antineutrino Relative Count Rate Data as a Function of Distance // Bull. Lebedev Phys. Inst. 2020. V. 47, No. 9. P. 271–275.
 13. *Budnev N. et al. (TAIGA Collab.)*. TAIGA — an Advanced Hybrid Detector Complex for Astroparticle Physics and High Energy Gamma-Ray Astronomy in the Tunka Valley // J. Instr. 2020. V. 15, No. 09. P. C09031.
 14. *Kuzmichev L. et al. (TAIGA Collab.)*. Cherenkov EAS Arrays in the Tunka Astrophysical Center: From Tunka-133 to the TAIGA Gamma and Cosmic Ray Hybrid Detector // Nucl. Instr. Meth. A. 2020. V. 952. P. 161830.
 15. *Aaboud M. et al. (ATLAS Collab.)*. Measurements of the Production Cross-Section for a Z Boson in Association with b -Jets in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS Detector // JHEP. 2020. V. 07. P. 44.
 16. *Ablikim M. et al. (BESIII Collab.)*. Measurement of Proton Electromagnetic Form Factors in $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ in the Energy Region 2.00–3.08 GeV // Phys. Rev. Lett. 2020. V. 124, No. 4. P. 042001.
 17. *Ablikim M. et al. (BESIII Collab.)*. Observation of a Resonant Structure in $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0\pi^0$ // Phys. Rev. Lett. 2020. V. 124, No. 11. P. 112001.
 18. *Atanov N. et al.* The Mu2e e.m. Calorimeter: Crystals and SiPMs Production Status // IEEE Trans. Nucl. Sci. ISSN:0018-9499, eISSN:1558-1578, 67.
 19. *Atanov N. et al.* A Photomultiplier with an AlGaIn Photocathode and Microchannel Plates for BaF₂ Scintillator Detectors in Particle Physics // IEEE Trans. Nucl. Sci. ISSN:0018-9499, eISSN:1558-1578, 67.
 20. *Nishiguchi H. et al.* Construction on Vacuum-Compatible Straw Tracker for COMET Phase-I // Nucl. Instr. Meth. A. 2020. V. 958. P. 162800.
 21. *Dieterle M. et al. (A2 Collab.)*. Helicity-Dependent Cross Sections for the Photoproduction of π^0 Pairs from Nucleons // Phys. Rev. Lett. 2020. V. 125. P. 062001.
 22. *Budagov J., Di Girolamo B., Lyablin M.* The Compact Nanoradian Precision Laser Inclinator — An Innovative Instrument for the Angular Microseismic Isolation of the Interferometric Gravitational Antennas // Phys. Part. Nucl. Lett. 2020. V. 17, No. 7. P. 916–930.
 23. *Budagov J., Di Girolamo B., Lyablin M.* The Method of Temperature Resistivity Creation of the Compact Precision Laser Inclinator // Ibid. P. 931–937.
 24. Устройство для измерения угла наклона / Будагов Ю.А. (РФ), Ляблин М.В. (РФ). Патент 2510488 РФ. Оpubл. 27.03.2014. Бюл. № 9.
 25. *Popov D. et al.* Influence of the RF Magnetic Field on Beam Dynamics in SC200 Cyclotron // Nucl. Instr. Meth. A. 2019. V. 940. P. 61–65.
 26. *Карамышев О.В. и др.* Исследования и разработка сверхпроводящего циклотрона SC230 для протонной терапии. Препринт ОИЯИ Р9-2020-17. Дубна, 2020; Письма в ЭЧАЯ. 2021. Т. 18, № 1(233). С. 73–85.
 27. *Белов О.В., Белокопытова К.В., Базян А.С.* О молекулярных и клеточных механизмах радиационно-индуцированного нарушения физиологических функций центральной нервной системы // Усп. физиол. наук. 2020. Т. 51, № 2. С. 3–26; doi: 10.31857/S0301179820020034.
 28. *Zarubin M., Yakhnenko A., Kravchenko E.* Transcriptome Analysis of *Drosophila melanogaster* Laboratory Strains of Different Geographical Origin after Long-Term Laboratory Maintenance // Ecology and Evolution. 2020. V. 10, No. 14. P. 7082–7093.
 29. *Zarubin M., Kravchenko E.* Regulation of *D. melanogaster* Gene Expression in Below-Background Radiation Laboratory DULB-4900: Transcriptome Analysis // EMBL Conf. “From Functional Genomics to Systems Biology”, Heidelberg, Germany, 2020.
 30. *Boyko I. et al.* Measurement of the Radiation Environment of the ATLAS Cavern in 2017–2018 with ATLAS-GaAsPix Detectors // J. Instr. 2021. V. 16. P. 01031.
 31. *Kruchonak U. et al.* Investigation of the Radiation Hardness of GaAs:Cr Semiconductor Detectors Irradiated with Fast Neutrons at the Reactor IBR-2 // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1690. P. 012042.
 32. *Rozhkov V. et al.* Visualization of Radiotracers for SPECT Imaging Using a Timepix Detector with a Coded Aperture // J. Instr. 2020. V. 15. P. P06028.
 33. *Laptev R. et al.* Effect of Proton Irradiation on the Defect Evolution of Zr/Nb Nanoscale

- Multilayers // Metals. 2020. V.10. P.535; <https://doi.org/10.3390/met10040535>.
34. *Demir E. et al.* Effects of High-Energetic $^3\text{He}^+$ Ion Irradiation on Tungsten-Based Composites // Vacuum. 2021. V.184. P.109934; <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109934>.
35. *Siemek K. et al.* Positron Annihilation Studies of Long Range Effect in Ar, N and C-Implanted Silicon // Nucl. Instr. Meth. B. 2020. V.456. P.73; <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2019.12.026>.



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ИМ. Г. Н. ФЛЕРОВА

РАБОТА И РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЛЯР (DRIBs-III)

На циклотронах ЛЯР (ДЦ-280, У-400, У-400М и ИЦ-100) и микротроне МТ-25 был выполнен широкий круг научных и прикладных исследований в области физики тяжелых ионов. Суммарное время работы ускорителей в 2020 г. составило 15 000 ч.

Базовая установка ускорительного комплекса «Фабрика сверхтяжелых элементов» циклотрон ДЦ-280 отработал 3700 ч, из них более 500 ч было использовано для проведения эксперимента по синтезу 115-го элемента — московия — в реакции $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$. Продолжены работы по отработке режимов ускорения ионов титана. Получены пучки ^{48}Ti с интенсивностью 1 мкА частиц на мишени.

Программа экспериментальных исследований на ускорительном комплексе У-400 ЛЯР выполнялась в соответствии с планом. Время работы циклотрона У-400 в 2020 г. составило порядка 5700 ч. При этом все контрактные обязательства ЛЯР ОИЯИ (для «Роскосмоса» и производство трековых мембран) были выполнены в срок и в полном объеме.

Циклотрон У-400М отработал за первое полугодие 2900 ч. В июле 2020 г. начата модернизация циклотрона У-400М, которая продлится около 2 лет. Были демонтированы

элементы циклотрона и каналов транспортировки. Демонтировано устаревшее вакуумное оборудование и оборудование системы водяного охлаждения. Циклотрон подготовлен к замене катушек основного магнита. Параллельно создается новая система управления, дорабатываются и изготавливаются новые узлы циклотрона. Целью модернизации является повышение надежности и стабильности работы ускорителя (замена катушек основного магнита, замена узлов вакуумной системы ускорителя, системы управления и системы радиационного контроля), а также повышение интенсивностей пучков тяжелых ионов.

В сентябре 2020 г. начались работы по созданию новой ускорительной установки ДЦ-140 для прикладных исследований. Она будет размещена на месте выведенного из эксплуатации циклотрона У-200. В настоящее время ведутся демонтаж оборудования У-200 и проектные работы по подготовке здания для размещения нового ускорительного комплекса.

Продолжалось строительство монтажного зала. Его сооружение, в частности, важно для осуществления планов ЛЯР по созданию и модернизации парка циклотронов.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЯДЕР НА ГРАНИЦАХ СТАБИЛЬНОСТИ

Завершение тестовых испытаний и первый эксперимент на газонаполненном сепараторе ГНС-2. На протяжении 2020 г. были продолжены тестовые опыты по определению оптимальных параметров газонаполнен-

ного сепаратора DGFRS-2 для транспортировки продуктов реакций ионов ^{48}Ca с мишенями из ^{nat}Yb , ^{174}Yb , ^{170}Er и ^{206}Pb , которые необходимы для подготовки к экспериментам по синтезу и изучению сверхтяжелых ядер (СТЯ).

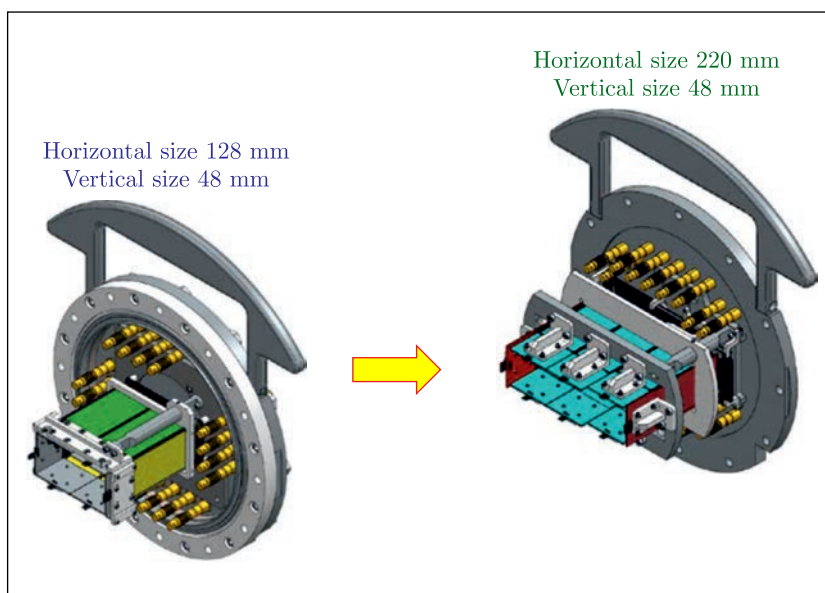


Рис. 1. Схематическое изображение первоначально использованных и новых детекторов сепаратора DGFRS-2

Опыты показали, что для более эффективного сбора ядер необходимо увеличить размер детектора в фокальной плоскости сепаратора. Создана и испытана новая система детекторов размером 48×220 мм (рис. 1), которая позволяет повысить эффективность сбора продуктов реакций в 1,5 раза, что крайне важно для проведения длительных экспериментов по синтезу СТЯ.

С новыми детекторами определены оптимальная настройка DGFRS-2, дисперсия дипольных магнитов, влияние давления газа на трансмиссию сепаратора и равновесный заряд ионов — продуктов реакций ^{174}Yb , $^{206}\text{Pb} + ^{48}\text{Ca}$.

Проведены опыты по изучению стабильности входного Ti-окна сепаратора и мишени при интенсивностях пучка ^{48}Ca до 5 мкА частиц, которые продемонстрировали необходимость увеличения диаметра мишени и перехода к работе без Ti-окна — к системе дифференциальной откачки газа. Эта система была собрана и испытана.

В конце ноября 2020 г. стартовал эксперимент по детальному изучению свойств изотопов Mc ($Z = 115$) и сечений их образования в реакции полного слияния $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca}, 2 - 5n)^{286-289}\text{Mc}$. Приблизительно за 3 недели эксперимента было получено более 30 событий распада изотопов ^{288}Mc и ^{289}Mc , что практически удвоило статистику по данным изотопам, набранную ранее на ускорительном комплексе У-400 за период 2003–2012 гг. Одним из важных предва-

рительных научных результатов стала регистрация альфа-распада ядра ^{268}Db , который не наблюдался ранее и ведет к открытию нового изотопа лоренсия — ^{264}Lr . Полученные результаты указывают на высокий потенциал ускорительного комплекса «Фабрика сверхтяжелых элементов».

Спектроскопия тяжелых и сверхтяжелых ядер. В феврале 2020 г. на сепараторе SHELS проводились эксперименты по изучению реакций полного слияния ионов $^{38,40}\text{Ar}$ с ядрами ^{208}Pb , ^{232}Th . Целью экспериментального изучения реакции $^{40}\text{Ar} + ^{208}\text{Pb} = ^{248-x}\text{Fm} + xn$ было измерение функции возбуждения, а также уточнение свойств радиоактивного распада изотопа ядра ^{246}Fm . Реакция $^{38}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$ изучалась в предположении, что в выходном канале образуются ядро ^{266}Sg и α -частица. За 10 дней облучения мишени ^{232}Th ионами ^{38}Ar было зарегистрировано одно событие, которое можно отнести к спонтанному делению изотопа ядра ^{262}Rf (дочернего ядра при альфа-распаде ^{266}Sg). Если принять во внимание эффективность регистрации такого типа событий, то полученный выход ядер ^{266}Sg в изучаемой реакции в 10–30 раз меньше ожидаемого.

Исследованы свойства радиоактивного распада изотопов $^{249,250,251}\text{No}$, образующихся в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{204}\text{Pb}$. В экспериментах использовалась комплексная детектирующая система GABRIELA (α -, β -, γ -спектрометрия). Экспериментальные данные обрабатываются,

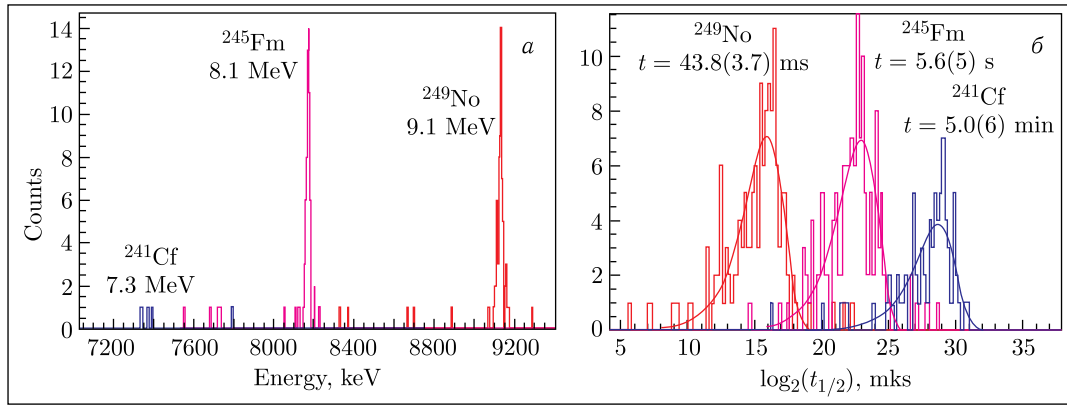


Рис. 2. а) Измеренный альфа-спектр ^{249}No и его дочерних продуктов ^{245}Fm и ^{241}Cf ; б) экспериментальные времена распада найденных ядер с оценкой периодов полураспада

в ходе изучения реакции полного слияния $^{48}\text{Ca} + ^{204}\text{Pb} = ^{252-x}\text{No} + xn$ были определены закономерности образования ядер $^{249,250,251}\text{No}$, а также дополнены данные по коэффициентам внутренней конверсии при распаде из изомерного состояния ядра ^{250m}No . Впервые синтезирован изотоп ядра ^{249}No в $3n$ -канале, для которого были определены период полураспада и энергия α -распада (рис. 2).

Современное состояние сепаратора SHELS и некоторые результаты проведенных экспериментов представлены в публикациях [1–4].

Динамика взаимодействия тяжелых ядер, деление тяжелых и сверхтяжелых ядер. Продолжены исследования влияния свойств входного канала реакции на протекание различных процессов, таких как слияние–деление, квазиделение, реакции глубококонепругих передач. Эксперименты проводились на пучках ионов, выведенных из ускорителя У-400, с помощью двухплечевого время-пролетного спектрометра CORSET.

Завершен детальный анализ массово-энергетических распределений бинарных фрагментов реакции $^{32}\text{S} + ^{232}\text{Th}$, ведущей к образованию ^{264}Sg ($Z = 106$), при энергии вблизи и выше кулоновского барьера [5]. Установлено, что значительная часть делительноподобных событий образуется в процессе квазиделения: вклад процесса деления составного ядра ^{264}Sg в симметричную область составляет порядка 72, 80 и 88 % для энергии взаимодействия 165, 181 и 200 МэВ соответственно. В энергетическом распределении фрагментов деления ^{264}Sg при энергии возбуждения 45 МэВ была обнаружена высокоэнергетическая компонента, которая может быть обусловлена проявлением моды Super Short в делении ^{264}Sg .

Также была изучена реакция $^{136}\text{Xe} + ^{198}\text{Pt}$ ($E_{\text{lab}} = 710$ МэВ), являющаяся одной из наиболее многообещающих для получения нейтроноизбыточных тяжелых ядер вблизи нейтронной оболочки $N = 126$ в реакциях многонуклонных передач. Анализ угловых распределений показал, что максимальный выход фрагментов с массой больше 200 а.е.м. наблюдается при углах, близких к углам касательных столкновений, как и в случае изученной нами ранее реакции $^{136}\text{Xe} + ^{208}\text{Pb}$. Вероятность образования тяжелых фрагментов с массой больше 200 а.е.м. по отношению ко всем образующимся фрагментам с потерями энергии больше 40 МэВ составляет $\sim 15\%$. Экспериментально полученные сечения, а также их сравнение с теоретическими расчетами подтверждают эффективность реакций многонуклонных передач как метода получения новых нейтроноизбыточных сверхтяжелых и тяжелых ядер, включая те, что расположены вблизи замкнутой нейтронной оболочки $N = 126$ и являются чрезвычайно важными для понимания r -процесса астрофизического нуклеосинтеза.

Кроме того, изучены характеристики массово-энергетических распределений бинарных фрагментов, получаемых в реакциях $^{52,54}\text{Cr} + ^{248}\text{Cm}$ и $^{68}\text{Zn} + ^{232}\text{Th}$, ведущих к образованию сверхтяжелых систем с $Z = 120$ [6, 7]. Обнаружено, что при переходе от систем с $Z_1 Z_2 \approx 2300$ ($^{52,54}\text{Cr} + ^{248}\text{Cm}$) к системам с $Z_1 Z_2 > 2500$ ($^{64}\text{Ni} + ^{238}\text{U}$, $^{68}\text{Zn} + ^{232}\text{Th}$) вклад фрагментов, образующихся в долгоживущих составных системах, сильно уменьшается, а основными каналами реакции становятся реакции малонуклонных передач и глубококонепругого рассеяния. Обнаружено, что при энергиях выше кулоновского барьера вероят-

ность слияния падает примерно на три порядка при переходе от реакции $^{48}\text{Ca} + ^{238}\text{U}$ к реакции $^{54}\text{Cr} + ^{248}\text{Cm}$ и более чем на пять порядков при переходе к реакции $^{68}\text{Zn} + ^{232}\text{Th}$. На основании полученного значения вероятности слияния для реакции $^{54}\text{Cr} + ^{248}\text{Cm}$ ожидается, что сечение образования сверхтяжелого элемента с $Z = 120$ составит около нескольких фемтобарн, а в реакциях $^{64}\text{Ni} + ^{238}\text{U}$ и $^{68}\text{Zn} + ^{232}\text{Th}$ — на один и два порядка меньше соответственно.

Структура экзотических ядер. В 2020 г. продолжались исследования на новом фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2 ускорителя тяжелых ионов У-400М с использованием радиоактивных пучков высокого качества и современных детектирующих систем [8–10]. Эксперименты проводились как с нейтроноизбыточными (^6He , ^8He , ^9Li , ^{10}Be и др.), так и с нейтронодефицитными (^{24}Al , ^{25}Si , ^{26}P , ^{27}S и др.) пучками изотопов, полученными в реакциях фрагментации тяжелых ионов ^{15}N (49,7 МэВ/нуклон) и ^{32}S (51,5 МэВ/нуклон) на бериллиевой мишени. Проведен эксперимент по поиску резонансных состояний ^7H в реакции $^8\text{He}(d, ^3\text{He})^7\text{H} \rightarrow t + 4n$ [9]. Ключевым индикатором наблюдения событий ^7H являлся факт совпадений между низкоэнергетическими частицами ^3He ($E \sim 9\text{--}30$ МэВ, $\theta \sim 8\text{--}26^\circ$ в лабораторной системе) с тритонами ($E \sim (70 \pm 30)$ МэВ), вылетающими под передними углами в узком конусе

($\theta \leq 6^\circ$). Для улучшения точности определения удельных потерь энергии продуктов реакций, измеряемых с помощью 20-мкм кремниевых детекторов, потребовалось определение толщин этих детекторов с точностью порядка 0,2 мкм [9]. В результате, используя метод $\Delta E - E$, удалось разделить все изотопы водорода, гелия и лития, образующиеся в реакции $^8\text{He} + d$, и измерить их энергию с порогом регистрации около 1 МэВ/нуклон. Было получено 380 событий совпадений $^3\text{He} - t$, отвечающих кинематике реакции $^8\text{He}(d, ^3\text{He})^7\text{H}$ и хорошо отделяющихся от фоновых событий. Анализ экспериментальных данных проводится в настоящее время, и ожидается получение новой информации об основном и первых возбужденных состояниях системы ^7H .

Также проведен эксперимент, направленный на изучение низколежащих состояний изотопа ^9He в реакции $^8\text{He}(d, p)^9\text{He} \rightarrow n + ^8\text{He}$. Для регистрации протонов, испущенных под задними углами в лабораторной системе, в совпадении с продуктами распада ^9He , а именно с ядром ^8He и нейтроном, вылетающими под передними углами, использовалась ранее разработанная методика [10]. Для определения экспериментального разрешения всей детектирующей системы и нормировки спектра недостающей массы ^9He проведено дополнительное измерение тройных совпадений $p - ^6\text{He} - n$ в реакции $^6\text{He}(d, p)^7\text{He}$ на радиоактивном пучке ядер ^6He . Анализ экспериментальных данных проводится в настоящее

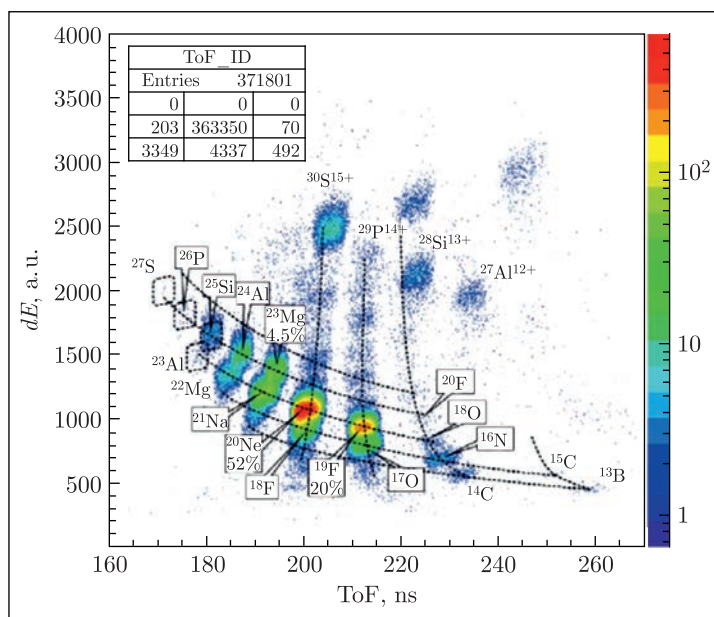


Рис. 3. Идентификация изотопов при настройке сепаратора ACCULINNA-2 на максимальный выход изотопов ^{26}P и ^{27}S из реакции ^{32}S (51,5 МэВ/нуклон) на Ве-мишени (1 мм)

время, и ожидается получение спектра низколежащих состояний ядра ${}^9\text{He}$ при $E^* < 4$ МэВ с экспериментальным разрешением $\Delta E \sim 250$ кэВ (ПШПВ).

Совместно с группой Варшавского университета проведен эксперимент по изучению редких каналов распада нейтронодефицитных ядер ${}^{26}\text{P}$ и ${}^{27}\text{S}$ (бета-задержанная эмиссия нескольких протонов) при помощи оптической времяпроекционной камеры. Высокое качество идентификации радиоактивного пучка по времени пролета, достигнутое на сепараторе ACCULINNA-2 (рис. 3), обеспечило высокую статистику, необходимую для получения новой информации о распаде этих ядер по каналам βp , $\beta 2p$, $\beta 3p$. Данные находятся в стадии обработки.

Реакции с пучками легких стабильных и радиоактивных ядер. В 2020 г. были начаты эксперименты на новом магнитном анализаторе высокого разрешения (установке МАВР). Эксперименты по измерению спектров альфа-частиц в широком диапазоне значений энергии были выполнены на ускорителе тяжелых ионов У-400.

Изучены реакции взаимодействия ионов ${}^{48}\text{Ca}$ и ${}^{56}\text{Fe}$ с энергией 6 МэВ/нуклон на мишенях ${}^{238}\text{U}$ и ${}^{181}\text{Ta}$. Измерены дифференциальные сечения вылета альфа-частиц под углом 0° в зависимости от их энергии (рис. 4). В спектрах наблюдались быстрые альфа-частицы с энергиями, соответствующими двухтельному и трехтельному выходным каналам реакций, в том числе с энергией, близкой к двухтельному кинематическому пределу.

Анализ полученных экспериментальных данных, проведенный с помощью модели движущихся источников, показал наличие нескольких источников эмиссии быстрых альфа-частиц. Показано, что характер энергетических спектров альфа-частиц определяется в основном свойствами тяжелых ядер-мишеней

и в меньшей степени — свойствами ядер налетающего пучка.

Продолжены исследования полных сечений реакций взаимодействия ядер ${}^6\text{He}$, ${}^8\text{He}$, ${}^9\text{Li}$ с мишенями ${}^{28}\text{Si}$, ${}^{59}\text{Co}$, ${}^{181}\text{Ta}$. Для этих реакций измерена энергетическая зависимость полных сечений реакций $\sigma_R(E)$ в диапазоне значений энергии 20–40 МэВ/нуклон. Впервые получены значения сечений реакций взаимодействия ядер ${}^6\text{He}$, ${}^8\text{He}$, ${}^9\text{Li}$ с ядрами мишеней ${}^{59}\text{Co}$ и ${}^{181}\text{Ta}$. Измерения проводились на 4π -спектрометре MULTI, состоящем из 12 сцинтилляционных детекторов CsI(Tl) и 9 CeBr₃, обладающих высокой эффективностью регистрации γ -квантов в широком диапазоне значений энергии. На основе разработанного нового метода анализа экспериментальных данных получены величины полных сечений σ_R и их распределение по множественности γ -излучения [11].

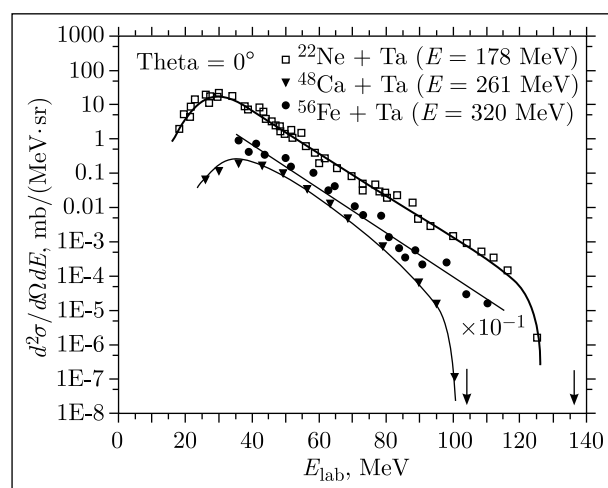


Рис. 4. Энергетические спектры альфа-частиц, измеренные под углом 0° в реакциях на мишени ${}^{181}\text{Ta}$. Стрелками показаны значения энергии альфа-частиц, соответствующие кинематическим пределам двухтельных каналов реакций с ядрами ${}^{48}\text{Ca}$ (левая стрелка) и ${}^{22}\text{Ne}$ (правая стрелка)

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

Проведено детальное исследование механизмов превращения латентных треков в систему сквозных пор субнанометрового диапазона после облучения ПЭТФ-пленки ускоренными ионами Хе и Вi с потерями энергии в полимере 11 и 18 кэВ/нм соответствен-

но. С использованием методов гравиметрии, ИК- и УФ-спектроскопии, кондуктометрии и электронной микроскопии исследован процесс эволюции свободного объема и накопления карбоксильных групп в облученных пленках на разных стадиях обработки. Установлено,

что проницаемость и селективность мембран зависят от нескольких критических параметров — потеря энергии бомбардирующего иона, температуры и рН раствора при экстракции и флюенса ионов [12].

Изучены взаимосвязи между электрическими, осмотическими, гидравлическими и структурными характеристиками нанопоры, получаемой асимметричным травлением ионного трека. Несколько последовательных стадий эволюции поры идентифицированы. Временные зависимости двух встречных потоков — диффузионного потока травителя и объемного потока стоппинг-раствора — измерены и проанализированы в свете их влияния на конфигурацию поры. Получены оценки осмотического коэффициента отражения высокоасимметричной поры в условиях травления и в разбавленных растворах электролитов. Полученные результаты открывают новый уровень понимания эффектов, лежащих в основе формирования асимметричных трековых нанопор для применения в сенсорике и других областях [13].

Изучено воздействие тяжелых ионов высоких энергий в непроводящей матрице оксида графена и фторграфена. Установлено, что оно приводит к образованию графеновых квантовых точек (КТ). Плотность и диаметр КТ могут регулироваться выбором соответствующих условий облучения (типа иона, флюенса и энергии) [14].

Методами высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии и молекулярной динамики изучены параметры латентных треков в поликристаллическом и аморфном нитриде кремния. Определены пороговые уровни электронного торможения образования треков, их размеры и профили плотности материала в единичных трековых областях [15].

Методами электронной микроскопии установлены закономерности развития газовой пористости при отжиге в трех экспериментальных ферритных сплавах, равномерно легированных ионами гелия: неизменность удель-

ной площади поверхности пузырьков при их термическом росте, механизм укрупнения пузырьков, зависимость давления газа от размера пузырька при постоянной температуре [16].

Исследованы способы формирования покрытий на поверхности трековой мембраны из полиэтилентерефталата с помощью метода электронно-лучевого диспергирования сверхвысокомолекулярного полиэтилена и политетрафторэтилена в вакууме. Показано, что использование в качестве мишени для диспергирования политетрафторэтилена позволяет получать на поверхности мембраны супергидрофобные покрытия с морфологически развитой структурой. Полученные композиционные мембраны могут быть применены в процессах мембранной дистилляции для опреснения морской воды [17].

На опытно-промышленной установке электроформования разработана методика получения нановолокна хитозана, осажденного на поверхность металлизированных трековых мембран. Нановолокна были охарактеризованы с применением методов растровой электронной микроскопии. Исследованы эксплуатационные характеристики, электроповерхностные и адсорбционные свойства композитных мембран [18]. Полученные материалы могут быть использованы для мембранно-сорбционного извлечения ионов тяжелых металлов из воды, включая катионы ^{137}Cs .

Расширен парк оборудования, а также внедрены в лабораторную практику новые физико-химические методы исследования (спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния, динамического рассеяния света, измерения термостабилизированных токов в диэлектриках) и синтеза (электроспиннинг) наноструктур.

С использованием ядерно-физических методов, применяемых в ЛЯР ОИЯИ, выполнены аналитические работы по сертификации урановой руды в рамках проекта CGL503, проводимого Центральной геологической лабораторией Монголии.

СОЗДАНИЕ НОВЫХ И РАЗВИТИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Создание сепаратора на основе резонансной лазерной ионизации (установка ГАЛС). Продолжается создание установки ГАЛС, в основе работы которой лежит принцип селективной лазерной ионизации продуктов ядерных реакций, предназначенной для се-

парации тяжелых нуклидов, образующихся в реакциях многонуклонных передач. В 2020 г. получены следующие основные результаты.

1. Проведены тестирование и оптимизация работы канала ионизации на основе трех твердотельных перестраиваемых лазеров на ти-

танате сапфира. Выполнено тестирование во всех диапазонах волн с использованием измерителей длины волны лазерного излучения в видимой и УФ-области.

2. Полностью разработана, спроектирована, изготовлена и доставлена в ЛЯР механическая часть ионного гида, в которую входят сегментированный S-образный RFQ в низковакуумном объеме, микро-RFQ на переходе низкий/высокий вакуум и сегментированный линейный RFQ в высоковакуумном объеме. Начались работы по ее оснащению электронными составляющими. Расчетное время и эффективность транспортировки 487,2 мкс и 97,7 % соответственно.

3. Проведены подготовительные работы по размещению масс-сепараторной части установки на У-400М. Выполнено FLUKA-моделирование радиационной обстановки в физкабине, и выработаны требования к модернизации радиационной защиты. Разработана и запущена в производство высоковольтная платформа.

Ионная газовая ловушка. Начат монтаж криогенной газовой ионной ловушки — новой установки для «Фабрики сверхтяжелых элементов». В настоящее время собрана теплая часть камеры и откачана до давления 10^{-3} мбар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yeremin A., Lopes-Martens A., Hauschild K., Popeko A., Malyshev O., Chepigin V., Svirikhin A., Isaev A., Popova Yu., Chelnokov M., Kuznetsova A., Dorvaux O., Gall B., Asfarid Z., Tezekbaeva M. et al. Velocity Filter SHELS: Performance and Experimental Results // Nucl. Instr. Meth. B. 2020. V. 463. P. 219–220.
2. Kuznetsova A. A., Yeremin A. V., Lopez-Martens A., Hauschild K., Popeko A. G., Malyshev O. N., Chepigin V. I., Svirikhin A. I., Isaev A. V., Popov Yu. A., Chelnokov M. L., Dorva O. et al. Detailed Study of the Radioactive Decay Properties of No, Rf, and Db Isotopes // Bull. Russ. Acad. Sci. Physics. 2020. V. 84, No. 8. P. 932–937.
3. Еремин А. В., Попеко А. Г., Малышев О. Н., Исаев А. В., Кузнецова А. А., Попов Ю. А., Свирихин А. И., Сокол Е. А., Тезекбаева М. С., Челноков М. Л., Чепигин В. И., Лопез-Мартенс А., Хошильд К., Дорво О., Галл Б., Пио Ж., Анталици С., Мошат П., Тонев Д., Стефанова Е. и др. Спектроскопия изотопов трансфермиевых элементов в Дубне: современное состояние и перспективы // ЯФ. 2020. Т. 83, № 4. С. 278–287.
4. Chakma R., Hauschild K., Lopez-Martens A., Yeremin A. V., Malyshev O. N., Popeko A. G., Popov Yu. A., Svirikhin A. I., Dorvaux O., Gall B., Kessaci K. Gamma and Conversion Electron Spectroscopy using GABRIELA // Eur. Phys. J. A. 2020. V. 56. P. 245.
5. Галкина Е. И., Козулин Э. М., Княжева Г. Н., Иткис Ю. М., Богачев А. А., Дятлов И. Н., Чералу М., Кумар Д., Козулина Н. И., Новиков К. В., Пан А. Н., Пчелинцев И. В., Воробьев И. В., Трзаска В. Х., Хайнц С., Ломмель Б., Вардачи Э., Спиноза С., Ди Нитто А., Пульчини А., Хлебников С. В., Борча К., Харка Ю. Изучение массово-энергетических распределений фрагментов, образованных в реакции $^{32}\text{S} + ^{232}\text{Th} \rightarrow ^{264}\text{Sg}$ при энергиях вблизи кулоновского барьера // Изв. РАН. Сер. физ. (в печати).
6. Novikov K. V. et al. Investigation of Fusion Probabilities in the Reactions with $^{52,54}\text{Cr}$, ^{64}Ni and ^{68}Zn Ions Leading to the Formation of $Z = 120$ Superheavy Composite Systems // Phys. Rev. C. 2020. V. 120. P. 044605.
7. Novikov K. V. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Physics. 2020. V. 84, No. 4. P. 495–499.
8. Kaminski G., Zalewski B., Belogurov S. G., Bezbakh A. A., Biare D., Chudoba V., Fomichev A. S., Gazeeva E. M., Golovkov M. S., Gorshkov A. V., Grigorenko L. V., Kostyleva D. A., Krupko S. A., Muzalevsky I. A., Nikolskii E. Yu., Parfenova Yu. L., Plucinski P., Quynh A. M., Serikov A., Sidorchuk S. I., Slepnev R. S., Sharov P. G., Szymkiewicz P., Swiercz A., Stepanov S. V., Ter-Akopian G. M., Wolski R. Status of the New Fragment Separator ACCULINNA-2 and First Experiments // Nucl. Instr. Meth. B. 2020. V. 463. P. 504–507.
9. Muzalevskii I. A., Chudoba V., Belogurov S. G., Bezbakh A. A., Biare D., Fomichev A. S., Krupko S. A., Gazeeva E. M., Golovkov M. S., Gorshkov A. V., Grigorenko L. V., Kaminski G., Kiselev O., Kostyleva D. A., Kozlov M. Yu., Mauryey B., Mukha I., Nikolskii E. Yu., Parfenova Yu. L., Piatek W., Quynh A. M., Schetin V. N., Serikov A., Sidorchuk S. I., Sharov P. G., Slepnev R. S., Stepanov S. V., Swiercz A., Szymkiewicz P., Ter-Akopian G. M., Wolski R., Zalewski B. Detection of the Low Energy Recoil ^3He in the Reaction $^2\text{H}(^8\text{He}, ^3\text{He})^7\text{H}$ // Bull. Russ. Acad. Sci. Physics. 2020. V. 84. P. 500–504.
10. Bezbakh A. A., Belogurov S. G., Biare D., Chudoba V., Fomichev A. S., Gazeeva E. M.,

- Golovkov M. S., Gorshkov A. V., Kaminski G., Krupko S. A., Mauey B., Muzalevskii I. A., Nikolskii E. Yu., Parfenova Yu. L., Piatek W., Quynh A. M., Serikov A., Sidorchuk S. I., Sharov P. G., Slepnev R. S., Stepantsov S. V., Swiercz A., Szymkiewicz P., Ter-Akopian G. M., Wolski R., Zalewski B.* Study of ^{10}Li Low Energy Spectrum in the $^2\text{H}(^9\text{Li}, p)$ Reaction // *Bull. Russ. Acad. Sci. Physics*. 2020. V. 84. P. 491–494.
11. *Siváček I., Penionzhkevich Yu. E., Sobolev Yu. G., Stukalov S. S.* MULTI-2, a 4π Spectrometer for Total Reaction Cross Section Measurements // *Nucl. Instr. Meth. A*. 2020. V. 976. P. 164255.
 12. *Апель П. Ю., Блонская И. В., Иванов О. М., Криставчук О. В., Лизунов Н. Е., Нечаев А. Н., Орелович О. Л., Полежаева О. А., Дмитриев С. Н.* Получение ионоселективных мембран из облученных тяжелыми ионами ПЭТФ-пленок: критические параметры процесса // *Мембр. технологии*. 2020. Т. 10, № 2. С. 113–124; doi.10.1134/S2218117220020029.
 13. *Blonskaya I. V., Lizunov N. E., Olejniczak K., Orelovich O. L., Yamauchi Y., Toimil-Molarés M. E., Trautmann C., Apel P. Y.* Elucidating the Roles of Diffusion and Osmotic Flow in Controlling the Geometry of Nanochannels in Asymmetric Track-Etched Membranes // *J. Membr. Sci.* 2021. V. 618. P. 118657.
 14. *Nebogatikova N., Antonova I., Ivanov A., Demin V., Kvashnin D., Olejniczak A., Gutakovskii A. K., Kornieieva K. A., Renault P. L. J., Skuratov V. A., Chernozatonskii L.* Fluorinated Graphene Nanoparticles with 1–3 nm Electrically Active Graphene Quantum Dots // *Nanotechnology*. 2020. V. 31, No. 29. P. 295602; <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ab83b8>.
 15. *van Vuuren A. J., Ibrayeva A. D., O'Connell J. H., Skuratov V. A., Mutali A., Zdorovets M. V.* Latent Ion Tracks in Amorphous and Radiation Amorphized Silicon Nitride // *Nucl. Instr. Meth. B*. 2020. V. 473. P. 16–23; <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2020.04.009>.
 16. *Sohatsky A. S., Nguyen T. V., Skuratov V. A., Bobrikov I. A., O'Connell J. H., Neethling J., Zdorovets M.* To a Question of Temperature Driven Gas Swelling in Helium Doped Ferritic Alloys // *J. Nucl. Materials*. 2020. V. 533. P. 152089; <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2020.152089>.
 17. *Kravets L. I., Yarmolenko M. A., Rogachev A. A., Gainutdinov R. V., Gilman A. B., Altynov V. A., Lizunov N. E.* Formation of Superhydrophobic Coatings on the Track-Etched Membrane Surface by the Method of Electron-Beam Deposition of Polymers in Vacuum // *Inorganic Materials: Appl. Res.* 2020. V. 11, No. 2. P. 476–487.
 18. *Pereao O., Laatikainen K., Bode-Aluko Ch., Kochnev Iu., Fatoba O., Nechaev A. N., Petrik L.* Adsorption of Ce^{3+} and Nd^{3+} by Diglycolic Acid Functionalized Electrospun Polystyrene Nanofiber from Aqueous Solution // *Separation and Purification Technol.* 2020. V. 233. P. 116059; <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116059>.



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ ИМ. И. М. ФРАНКА

Научная программа Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка в 2020 г. была направлена на получение новых результатов в рамках семи тем Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного научно-технического сотрудничества ОИЯИ: по физике конденсированных сред («Исследования конденсированного состояния вещества с использованием современных методов нейтронографии», 04-4-1121-2015/2020, руководители Д. П. Козленко, В. Л. Аксенов и А. М. Балагуров; «Современные тенденции и разработки в области рамановской микроспектроскопии и фото-люминесценции для исследований конденсированных сред» 04-4-1133-2018/2020, руководители Г. М. Арзуманян и Н. Кучерка); по нейтронной ядерной физике («Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона», 03-4-1128-2017/2022, руководитель Е. В. Лычагин); по развитию базовых установок лаборатории («Развитие ис-

следовательской ядерной установки ИБР-2 с комплексом криогенных замедлителей нейтронов», 04-4-1105-2011/2022, руководители А. В. Белушкин, А. В. Виноградов и А. В. Долгих); по развитию комплекса спектрометров ИБР-2 («Развитие экспериментальной базы для проведения исследований конденсированных сред на пучках ИЯУ ИБР-2», 04-4-1122-2015/2020, руководители С. А. Куликов, В. И. Приходько и В. И. Боднарчук); по развитию проекта нового источника нейтронов («Разработка концептуального проекта нового перспективного источника нейтронов в ОИЯИ», 04-4-1140-2020/2022, руководители В. Н. Швецов, С. А. Куликов); по созданию лаборатории структурных исследований SOLCRYС в Польше («Создание лаборатории структурных исследований SOLCRYС в Национальном центре синхротронного излучения SOLARIS», 04-4-1141-2020/2022, руководитель Н. Кучерка).

НЕЙТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

В 2020 г. реактор ИБР-2 работал на физические эксперименты в рамках пользовательской программы 92 дня. С ноября по конец года программа была реализована полностью без непосредственного участия пользователей. Получено 86 заявок на проведение экспериментов: 23 % заявок были направлены на решение задач материаловедения, 31 % — посвящены физическим проблемам, а остальные 46 % заявок охватывали исследования в области химии, геологических наук, биологии и

прикладные задачи. 80 поданных заявок были приняты к реализации.

Структурные исследования новых оксидных, интерметаллических и наноструктурированных материалов. Проведено исследование влияния высокого давления на атомную и магнитную структуры квазидвумерного ван-дер-ваальсовского антиферромагнетика FePS_3 в широком диапазоне температур [1]. Геометрия магнитной решетки подобных соединений подобна решетке графена, и

недавно в слоистых наноструктурах подобных соединений было обнаружено существование магнитного упорядочения при достаточно высоких температурах в пределе единичного атомного слоя. В данных соединениях при изменении термодинамических параметров (температуры и давления) также было обнаружено большое разнообразие новых физических явлений, включая переход диэлектрик–металл, спиновый кроссовер, сверхпроводимость. В результате проведенных исследований обнаружен изоструктурный фазовый переход в новую моноклинную модификацию при $P = 1$ ГПа, сопровождающийся значительным изменением параметров решетки и изменением характера АФМ-упорядочения с квазидвумерного (вектор распространения $k = (0\ 1\ 1/2)$) на трехмерный ($k = (0\ 1\ 0)$).

Продолжены структурные исследования Fe–Ga магнитострикционных сплавов с относительно малым содержанием галлия (17,5–19,5 ат.% Ga) с помощью дифракции нейтронов, электронов и рентгеновских лучей. Показано, что в отличие от опубликованных диаграмм в составе с 17,5% Ga при длительном изотермическом отжиге при температуре 450–500 °С возникает двухфазное состояние с двумя разными ферромагнитными фазами объемно-центрированной А2

(или ее упорядоченной модификации DO_3) в качестве матрицы и гранецентрированной $A1$ (или ее упорядоченной модификации $L1_2$) с игловидной формой включений. Для этих составов определены ТТТ-диаграммы (ТТТ — Time–Temperature–Transformation) [2], которые определяют критические скорости охлаждения по отношению к переходу между метастабильными и равновесными фазами.

Исследования магнитных жидкостей и наночастиц. Продолжены исследования влияния внешнего электрического поля на адсорбцию магнитных наночастиц на планарных границах раздела из диэлектрических магнитных жидкостей [3]. Последние используются в качестве термализующих добавок в высоковольтных трансформаторах. Исследована магнитная жидкость на основе трансформаторного масла с наночастицами магнетита, покрытыми одиночным слоем поверхностно-активного вещества (олеиновой кислоты). Магнитная жидкость находилась в контакте с медным тонкопленочным электродом, напыленным на монокристаллический кремний. С помощью нейтронной рефлектометрии (рефлектометр ГРЭИНС) на поверхности электрода обнаруживается формирование нескольких слоев из магнитных наночастиц (рис. 1).

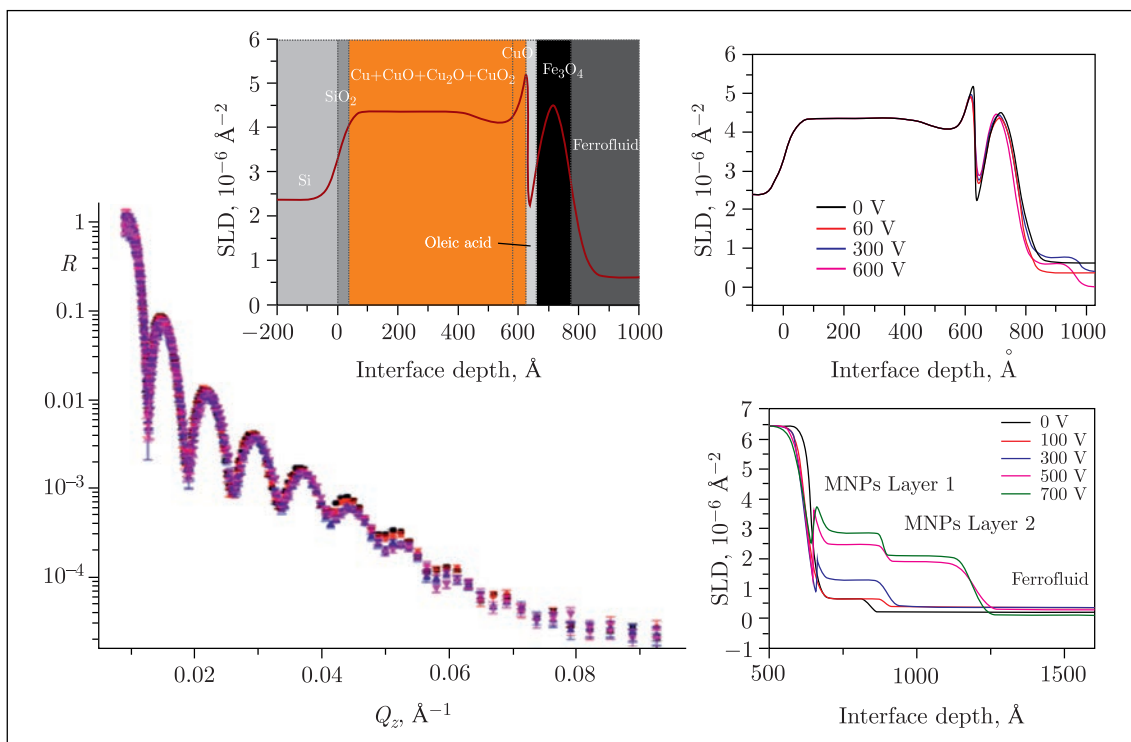


Рис. 1. Послойный анализ распределения наночастиц из диэлектрической магнитной жидкости на планарной поверхности медного электрода при воздействии внешнего электрического поля (перпендикулярно поверхности) по данным нейтронной рефлектометрии

С ростом напряженности поля приповерхностная структура испытывает нетривиальные изменения в послойном распределении плотности, что качественно согласуется с обнаруженными ранее неоднородностями, возникающими в объеме диэлектрических магнитных жидкостей под действием внешнего электрического поля.

Исследование углеродных наноматериалов. Продемонстрирована (рис. 2) противоамилоидная активность дисперсий фуллеренов C_{60} и C_{70} в 1-метил-2-пирролидоне (NMP) [4]. Исследования проведены в модельных водных растворах амилоидных фибрилл, полученных из лизоцима и инсулина. Использован комбинированный подход с привлечением различных экспериментальных методов. Для мониторинга деагрегационной активности фуллеренов применялся флуоресцентный анализ тиофлавина Т и атомно-силовая микроскопия (АСМ). Было показано, что оба типа комплексов на основе фуллерена очень эффективны в разрушении предварительно сформированных фибрилл и характеризуются низкой концентрацией деагрегации (DC50), $\sim 22\text{--}30$ мкг/мл. Малоугловое рассеяние нейтронов (МУРН) использовалось для контроля различных стадий процесса разрушения фибрилл, включая определения размера

и морфологии агрегатов. На основании полученных результатов был предложен возможный механизм разрушения амилоидных фибрилл, взаимодействующих с комплексами фуллерен/NMP. Эти исследования являются важным шагом в понимании механизма разрушения фуллеренами белковых амилоидов в живых организмах, а также дают ценную информацию о том, каким образом могут быть сконструированы макромолекулы для разрушения нежелательных амилоидных агрегатов с привлечением различных механизмов.

Исследование слоистых наноструктур и электрохимических границ раздела. С помощью МУРН на установке ЮМО продолжено изучение влияния проводящих углеродных добавок (сажи, графена и углеродных нанотрубок (УНТ)) на пористую структуру положительных электродов на основе фосфата лития-железа ($LiFePO_4$, или LFP) (рис. 3) [5]. Чтобы отделить рассеяние на закрытых порах от рассеяния на открытых порах, электроды смачивали дейтерированным электролитом, что позволяло компенсировать рассеяние на открытых порах. Установлено, что используемые добавки в разной степени изменяют пористость электродов и влияют на смачиваемость материала как за счет разной эффективности внедрения исходного материала

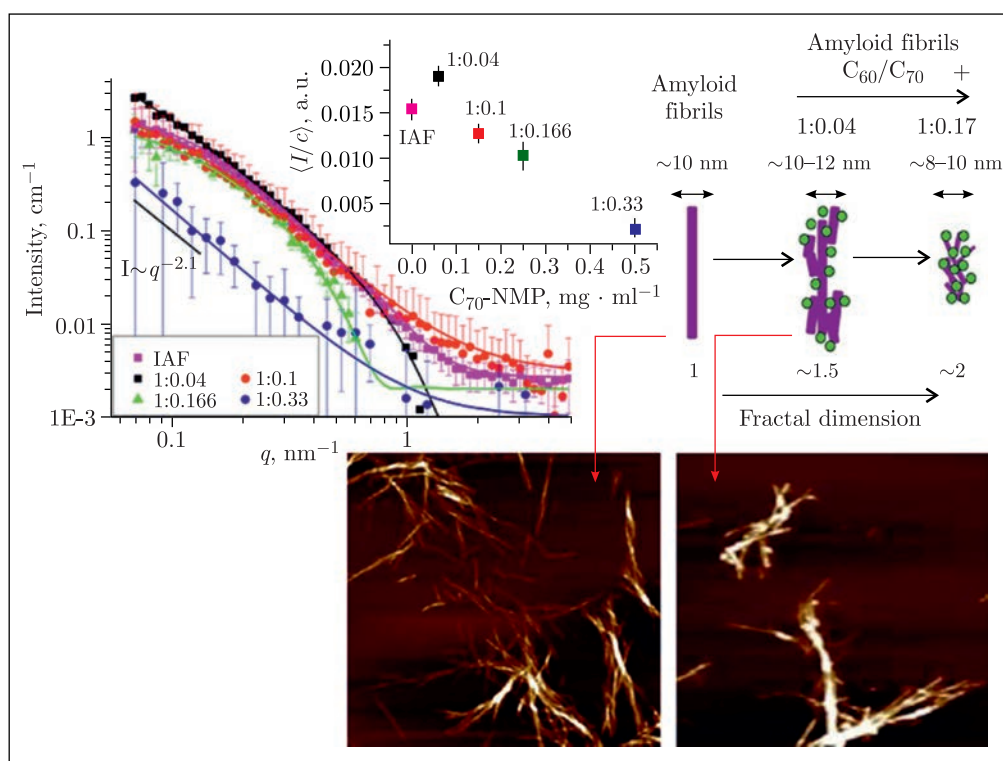


Рис. 2. Разрушение амилоидных фибрилл при взаимодействии с фуллеренами из дисперсии в NMP. Данные МУРН (установка ЮМО, ИБР-2) и АСМ

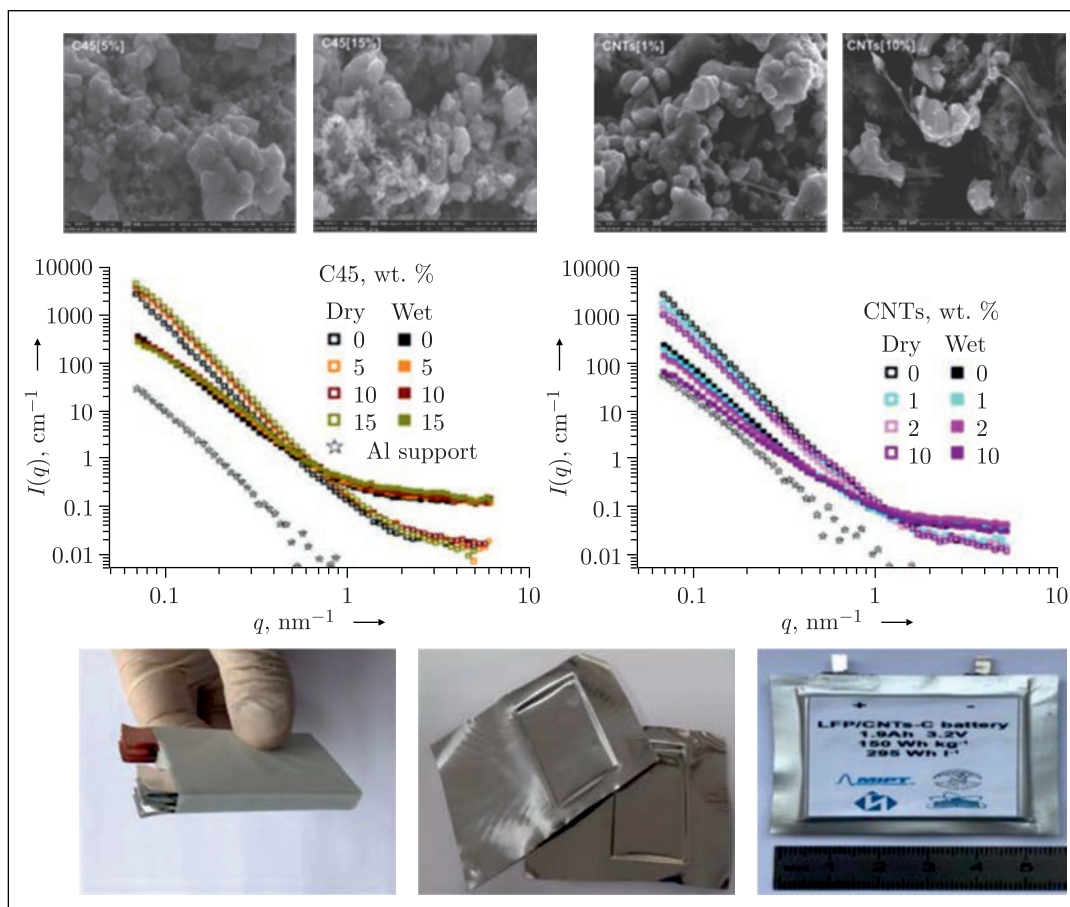


Рис. 3. Структурные исследования катодных материалов на основе LFP с углеродными добавками с помощью электронной микроскопии и МУРН (ЮМО, ИБР-2) и примеры использования улучшенных материалов в производстве опытных образцов литий-ионных источников питания

в поры, так и за счет изменения LFP-матрицы. Таким образом, сетка УНТ, встроенная в электродный слой, обеспечивает его большую смачиваемость электролитом по сравнению с широко используемой углеродной сажей. Это приводит к более высокому быстродействию электрода. Структурный анализ позволил усовершенствовать и оптимизировать технологию изготовления электродов на основе LFP большой площади. Показано, что использование УНТ в качестве проводящих добавок открывает перспективы для производства электродов с площадью емкости более 5 мАч/см². Практическая применимость рассматриваемой электродной технологии была подтверждена на прототипе пакетного элемента с удельной энергоемкостью 150 Вт·ч·кг⁻¹/295 Вт·ч/л.

На рефлектометре РЕМУР проведены исследования, направленные на обнаружение нового электромагнитного эффекта близости, обусловленного током \mathbf{j} , связанным с намагниченностью \mathbf{M} ($\text{rot rot } \mathbf{A} \approx 4\pi \times \mathbf{j} = c \times \text{rot } \mathbf{M}/c$), который должен существовать для любого типа ферромагнетика.

Протяженность изменения намагниченности в сверхпроводнике в этом случае значительно больше по сравнению с обычным прямым эффектом близости в ферромагнетиках переходных элементов, имеющих электроны проводимости, и составляет порядка глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Исследовалась структура Nb (15 нм) / V (70 нм) / Gd (3 нм) / Nb (100 нм) / Al₂O₃, в которой использовался ферромагнетик гадолиний и сверхпроводники ниобий и ванадий. Результаты предварительной обработки данных указывают на 2–5%-ю величину индуцированной в сверхпроводящих слоях намагниченности от ее значения в ферромагнитном слое. Протяженность индуцированной области является длинноразмерной и составляет порядка 20 нм. Полученные значения этих параметров указывают, что действительно реализуется электромагнитный проксимити-эффект. Дальнейшие усилия будут направлены на детальную обработку экспериментальных данных, а также проведение измерений со структурами с другими

значениями толщины слоя гадолиния, для которых изменение намагниченности должно быть другого знака.

Исследование биологических наносистем, липидных мембран и липидных комплексов. Одним из ключевых объектов многочисленных исследований в области биологии и биофизики, имеющих большое значение для медицины, являются биомембраны. В частности, необычные свойства демонстрируют тонкие квазидвумерные жидкокристаллические мембраны с жесткостью на изгиб в несколько k_B . Плавление цепей липидных мембран наблюдается как квазикритическое поведение физико-химических свойств мембран. Исследования природы аномального набухания стопки липидных мембран в окрестности перехода различными группами привели к противоречивым выводам об уровне критических флуктуаций плотности, их влиянии на размягчение мембран, а также о вкладе ондуляций Хельфриха. Для изучения эффекта аномального набухания мембран проведены исследования с использованием методов малоуглового рассеяния нейтронов и спинового эха [6]. По данным МУРН наблюдалось аномальное поведение периода повторяемости между липидными бислоями мембран (DMPC в D_2O) вблизи основного фазового перехода, связанное с увеличением межмембранного расстояния. Эксперименты NSE с униламелярными липидами продемонстрировали, что жесткость изгиба липидов мембраны уменьшается в области аномального набухания мембраны. Установлено наличие значительных критических колебаний вблизи перехода, вызывающих размягчение мембраны. Однако вопреки существующей парадигме полученные результаты показывают, что увеличение ондуляционных сил не может объяснить аномальное распухание стопки мембран. Предложено объяснение наблюдаемого эффекта за счет доминирующего усиления ближнего энтропийного отталкивания. Согласно теории увеличение амплитуды внеплоскостных колебаний липидов молекулы приводит к увеличению длины затухания короткодействующих сил и, следовательно, к набуханию мембраны.

Проведены исследования механизма формирования липидных доменов (рафтов) в липидных мембранах, содержащих холестерин [7]. Образование таких доменов в мембране является важным механизмом регуляции процессов жизнедеятельности клетки. Для исследования коллективной динамики липидных молекул был применен метод неупру-

гого рассеяния рентгеновского излучения с высоким разрешением по переданной энергии. Полученные дисперсионные кривые многокомпонентных мембран помимо известных акустических фононных мод содержат также новую оптическую фононную моду, связанную с существованием стабильных липидных пар, состоящих из двух разных типов липидных молекул. Наблюдаемый разрыв оптической фононной моды свидетельствует о конечном размере области существования оптических фононов. Такие области являются стабильными на пикосекундном масштабе времени, поскольку их размеры не зависят от компонентного состава мембраны. Это означает, что любой липидный рафт состоит из набора одинаковых липидных областей, число которых определяется термодинамическими параметрами мембраны. Данный результат является уникальным, поскольку дает представление о коллективной динамике липидных молекул на нанометровых масштабах длины и пикосекундных масштабах времени одновременно.

Исследование полимерных материалов. Представлен обобщенный некинетический нерешеточный алгоритм построения стохастических фрактальных кластеров полидисперсных частиц с заданными параметрами кластера, включая размерность [8]. Модель, основанная на иерархической процедуре, расширяет предыдущие исследования в этой области на общий случай кластер-кластерной агрегации и, в отличие от предыдущих кинетических моделей, позволяет генерировать кластеры с непрерывным изменением структуры, в частности, охватить весь естественный диапазон массовых фрактальных размерностей от 1 до 3. Приведен пример морфологического исследования численно сгенерированных кластеров на основе корреляционного анализа как в прямом, так и в обратном пространствах. В последнем случае показано, что использование разработанного быстрого алгоритма дает точное и самосогласованное описание данных малоуглового рассеяния. Показано, что полидисперсность первичных частиц является ключевым аспектом для расширения диапазона фрактальной размерности, охватываемого моделированием. Рассмотрены частные случаи, чтобы показать, что предыдущие алгоритмы, работающие с монодисперсными первичными частицами, являются частными случаями представленного нами подхода. Таким образом, разработанная иерархическая процедура позволяет получить полное самоподобие в произвольно широком масштабе.

Полидисперсность частиц/структуры является обычным случаем в практических приложениях, поэтому введение полидисперсности частиц в моделирование фрактальных кластеров расширяет возможности изучения корреляций в естественных фрактальных системах и моделирования физических свойств различных наноматериалов.

Атомная и молекулярная динамика.

Проведено исследование физико-химических свойств и колебательной динамики изомеров метилгексанола экспериментальными и теоретическими методами в широком диапазоне значений температуры с использованием методов инфракрасной спектроскопии поглощения и неупругого некогерентного рассеяния нейтронов. Спектры неупругого рассеяния трех спиртов с одним фенильным кольцом измеряли на спектрометре обратной геометрии HERA реактора ИБР-2 (ЛНФ ОИЯИ). Измерения охватывали широкий диапазон значений температуры (5–260 К) в нескольких циклах охлаждения/нагрева. Существования кристаллического состояния для этих систем не было обнаружено. Колебательные движения протонных групп, измеренные при температуре жидкого гелия, были связаны с результатами, полученными при DFT-моделировании. Анализ данных показал, что для 3methylhexan-1-ol и 3methylhexan-2-ol не обнаружено существенных различий спектра $G(v)$. Отличия можно наблюдать только для 3methylhexan-3-ol. Торсионные движения функциональных групп наблюдаются на спектрах $G(v)$ в области колебаний решетки из-за низкого энергетического барьера. Таким образом, было показано, что движение протона, описываемое положениями колебательных полос, практически не зависит от группы соседних атомов.

Прикладные работы. Сварка является одной из ключевых технологий, используемых в большинстве крупных отраслей промышленности. Качество и целостность сварных соединений имеют решающее значение с точки зрения безопасности в широком спектре изделий и конструкций, в том числе в автомобильной промышленности. В рамках сотрудничества с Национальным научно-исследовательским институтом сварки и испытаний материалов (Тимишоара, Румыния) предполагается разработать компьютерную систему, которая с помощью имеющейся базы данных позволит планировать сварочный процесс и выбирать конечным пользователям наиболее подходящую комбинацию сварочных материалов, техноло-

гии сварки и параметры сварки для получения сварной конструкции с заданными свойствами. Целью совместных исследований является создание базы данных остаточных напряжений в сварных соединениях по результатам дифракции нейтронов и определение корреляции между параметрами сварочных процессов и состоянием остаточных напряжений полученных сварных соединений. Тщательный подбор параметров сварки и оптимизация подвода тепловой энергии позволят получать механические характеристики соединений, подходящие для конкретного применения.

С целью изучения влияния различных режимов сварки на распределение остаточных напряжений и микродеформаций в сварных швах на дифрактометре ФСД была исследована серия из 20 образцов толщиной 2 мм из легированной мелкозернистой стали S460MC, которая имеет широкий спектр конструктивных применений. Стыковые сварные соединения GMAW (дуговая сварка в защитных газах) в исследуемых образцах выполнены в соответствии со стандартом EN 10149-2. Сканирование поперек сварного шва образца выполнялось в широком диапазоне по координате X с небольшим рассеивающим объемом размером $2 \times 2 \times 10$ мм, который выделялся радиальными коллиматорами. Измеренные дифракционные спектры высокого разрешения были обработаны с использованием полнопрофильного анализа по методу Ритвельда. В результате обработки получены значения параметров решетки и коэффициенты ширины дифракционных пиков в зависимости от межплоскостного расстояния d_{hkl} . Из полученных значений определены компоненты тензоров остаточных деформаций и напряжений, а также микродеформации в исследуемых образцах в области сварного шва.

Уровень остаточных напряжений в изученных образцах довольно умеренный и варьируется в пределах от 100 до 300 МПа, достигая максимальных значений в области сварного шва и окружающей зоны термического влияния. Следует отметить, что профиль распределения остаточных напряжений вдоль координаты скана довольно сильно различается для образцов с различными параметрами сварки. Дополнительно по уширению дифракционных пиков по сравнению с функцией разрешения прибора была получена информация о распределении остаточных микродеформаций в материале. Амплитуды микродеформаций примерно равны по величине для всех образцов и достигают $1,13 \cdot 10^{-3}$, при этом положение максимума в распределении микродеформации

совпадает с положением центра сварного шва. В дальнейшем планируется сопоставить полученные нейтронные данные с результатами классических неразрушающих и разрушающих испытаний (испытания на растяжение, измерения твердости, визуальные испытания,

испытания проникающей жидкостью и т. д.) для установления математических (статистических) зависимостей между применяемыми параметрами сварки и состоянием внутренних напряжений в сварных соединениях.

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

Основной целью темы является разработка современных методов нелинейной рамановской микроспектроскопии для высокочувствительной регистрации спектров на уровне единиц молекул, а также химически селективной и контрастной визуализации органических молекул. Метод основан на спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС) на молекулах, адсорбированных на плазмонных наноструктурированных подложках. Такой метод обеспечит гигантское комбинационное рассеяние (ГКР) с использованием ультракоротких (пикосекундных) импульсов лазерного излучения в ИК-диапазоне. Это явление мало изучено и известно как поверхностно-усиленное или гигантское когерентное антистоксово рассеяние света — ГКАРС (SECARS).

Другая важная часть темы — изучение фото- и апконверсионной люминесценции на основе перспективных наноструктур ядро-оболочка. В последние годы благодаря ряду своих привлекательных свойств, таких как полифункциональность, регулируемость и стабильность, подобные структуры эффективно применяются в современных исследованиях, связанных с биомедициной, оптикой, экологией, материаловедением, энергетикой и т. д.

Систематические эксперименты по спектроскопии и картированию интенсивности ГКАРС-сигнала с пикосекундным возбуждением. Настоящая работа нацелена на изучение возможности обнаружения воспроизводимых сигналов ГКР и ГКАРС от молекул TNB на ГКР-активной поверхности Au-NP/CeO₂ без разрушения самой поверхности или конъюгатов. Это станет основой систематических экспериментов и измерений ГКАРС. Пороги оптического повреждения оценены для различных длин волн возбуждения при уровнях интенсивности лазера, приемлемых для рамановской диагностики молекул-репортеров как в непрерывном, так и в пикосекундном импульсном режимах ра-

боты лазера с высокой частотой повторения. Данные, полученные с помощью линейных и нелинейных модальностей рамановской спектроскопии, сравниваются в наших систематических исследованиях.

ГКАРС при возбуждении лазером с частотой повторения импульсов 85 МГц и длительностью 6 пс. Экспериментально определены пределы интенсивности для непрерывных или квазинепрерывных лазерных пучков с пикосекундными импульсами, используемых в детектировании ГКР или ГКАРС молекул-репортеров TNB, связанных с Au-NP. Для лазера с частотой следования импульсов 85 МГц и длительностью импульса 6 пс в диапазоне 785–1064 нм средняя пороговая интенсивность оценена как менее 0,5 мВт/мкм², что соответствует пиковой интенсивности 1000 мВт/мкм². Результаты экспериментов показывают, что при использовании ГКР-активных структур для аналитических целей в линейных или нелинейных рамановских экспериментах следует проявлять особую осторожность в отношении мощности используемого лазера. Эти исследования легли в основу и позволили в дальнейшем проводить регулярные ГКАРС-измерения.

Измерения и регистрация предельно низких концентраций органических молекул с помощью ГКР — отработка методики микроспектроскопии одиночных молекул. Целью настоящей работы было достижение надежной визуализации одиночных молекул с использованием твердых ГКР-активных субстратов на основе объемных дендритов серебра, обогащенных большим количеством горячих точек. Росту трехмерного плотноупакованного слоя дендритов серебра способствовало использование подложки из макропористого кремния. Кислота DTNB была выбрана в качестве аналита для обнаружения, поскольку она является важным реагентом в химическом и биомедицинском анализе, включая, помимо прочего, обнаружение бактерий и количе-

ственную оценку протеазной активности. Уникальной особенностью молекулы DTNB является расщепление до двух ионов TNB в присутствии атомов переходных металлов. Эти ионы, как известно, адсорбируются на металлической поверхности в виде мономолекулярного слоя TNB. Следовательно, информативный ГКР-спектр, полученный из области, перекрытой лазерным пятном субмикромиллиметрового диаметра, несет в себе отпечаток продуктов TNB в количестве, отнесенном к концентрации одиночной молекулы.

ГКР-измерения. Впервые экспериментально продемонстрировано, что молекулы

НЕЙТРОННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Изучение процесса деления. В коллаборации ЛНФ ОИЯИ – ИТЭФ – ПИЯФ – FRM II продолжена деятельность по изучению T -нечетных эффектов в излучении мгновенных γ -квантов и нейтронов при бинарном делении ядер ^{235}U и ^{233}U поляризованными нейтронами. Работы ведутся на установке POLI на реакторе FRM II (Гархинг, Германия) [9]. Проведена обработка экспериментальных данных по ROT-эффекту в делении ядер ^{235}U под действием «теплых» поляризованных нейтронов с энергией 0,06 эВ. Из угловой зависимости T -нечетной асимметрии мгновенных γ -квантов (рис. 4) получено значение угла поворота компаунд-ядра $^{236}\text{U}^*$, который составил $\delta = 0,09(2)^\circ$. Угол поворота имеет тот же знак, что и угол поворота оси для тройного деления.

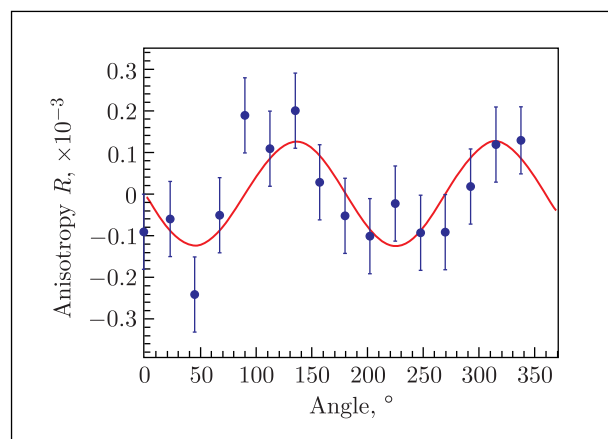


Рис. 4. Экспериментальная угловая зависимость коэффициента T -нечетной асимметрии для мгновенных γ -квантов при бинарном делении $^{236}\text{U}^*$

аналита DTNB имеют тенденцию к объединению в нанокластеры, а не к образованию мономолекулярного слоя TNB на поверхности ГКР-активных подложек при концентрациях более 10^{-12} М. Нанокластеры DTNB формировались из растворов 10^{-6} – 10^{-12} М, в то время как дальнейшее уменьшение количества молекул анализита до аттомолярной концентрации оказалось благоприятным для адсорбции монослоя молекул TNB. ГКР-визуализация одиночной молекулы TNB была продемонстрирована с ГКР-активными серебряными дендридами, погруженными в аттомолярный раствор DTNB.

Исследования реакций на быстрых нейтронах. Проведены экспериментальные и теоретические исследования реакций (нейтрон, заряженная частица) на быстрых нейтронах. Измерения проводились на ускорителях Ван де Граафа ЭГ-5 в ЛНФ ОИЯИ и ЭГ-4.5 в Институте физики тяжелых ионов Пекинского университета. Данные о реакциях с вылетом заряженных частиц, вызванных быстрыми нейтронами, представляют значительный интерес для изучения механизмов ядерных реакций, структуры атомных ядер, выбора конструкционных материалов и проведения расчетов при создании новых установок для ядерной энергетики. Проведены измерения сечений реакций $^{14}\text{N}(n, \alpha)^{11}\text{B}$, $^{35}\text{Cl}(n, \alpha)^{32}\text{P}$ в диапазоне значений энергии нейтронов 3–5,5 МэВ и на изотопах никеля

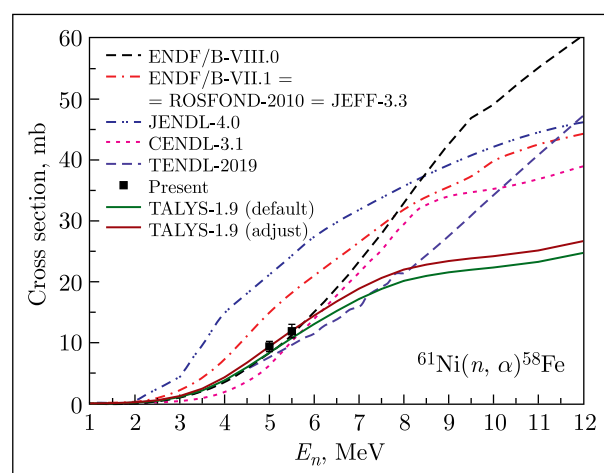


Рис. 5. Новые данные по сечению реакции $^{61}\text{Ni}(n, \alpha)^{58}\text{Fe}$ в сравнении с существующими оценками

($^{58,60,61}\text{Ni}(n, \alpha)^{55,57,58}\text{Fe}$) для нейтронов с энергией 4,50–5,50 МэВ. В качестве детектора служила модернизированная ионизационная камера. Данные по реакции $^{61}\text{Ni}(n, \alpha)^{58}\text{Fe}$ МэВ-ной области энергий получены впервые (рис. 5) [10].

Работы в рамках проекта TANGRA. На установке TANGRA на основе нейтронного генератора ИНГ-27 с использованием метода меченых нейтронов проведено исследование реакции неупругого рассеяния нейтронов с энергией 14,1 МэВ на ядрах углерода, магния и хрома. Определены энергии видимых γ -переходов, образующихся в различных реакциях нейтронов с ядрами С, Mg и Cr, и их парциальные сечения [11, 12]. Проведены анализ результатов измерения углового распределения γ -квантов для ^{52}Cr и ^{24}Mg и сравнение с результатами других опубликованных экспериментальных работ. Пример для ^{24}Mg показан на рис. 6. Проведено также сравнение результатов измерений для ^{12}C , ^{24}Mg и ^{52}Cr с модельными расчетами, выполненными с помощью кода TALYS 1.9, чтобы оценить динамику расхождения между расчетом и экспериментом и проверить применимость данной программы для интерпретации данных. В связи с тем, что TALYS 1.9 является достаточно универсальной программой, которая включает ряд теоретических моделей (оптиче-

скую модель, DWBA, модель связанных каналов, несколько моделей плотности уровней), использование этой программы с учетом планируемых модификаций кода может быть перспективным для будущих расчетов величин, измеряемых в наших экспериментах.

Ультрахолодные нейтроны. В Институте им. Лауэ–Ланжевена (Франция) осуществлен эксперимент по поиску нагрева ультрахолодных нейтронов (УХН) на поверхностных акустических волнах (ПАВ), возбуждаемых на поверхности монокристалла ниобата лития (LiNbO_3). Частота возбужденной волны составляла 35 МГц, а энергия, передаваемая нейтрону за счет неупругого рассеяния на ПАВ, — около 140 нэВ. Изменение энергии происходило в основном за счет изменения составляющей скорости, нормальной к поверхности кристалла. Нейтроны регистрировались детектором, расположенным над образцом. Входное окно детектора было закрыто медной фольгой, поэтому детектор был чувствителен только к нейтронам с энергией, превышающей граничную энергию меди, $E > 170$ нэВ. При средней скорости счета детектора примерно 25 отс./с разность скорости счета детектора при возбуждении ПАВ в образце и в отсутствие волны составила $(0,139 \pm 0,022)$ отс./с. Таким образом, эффект

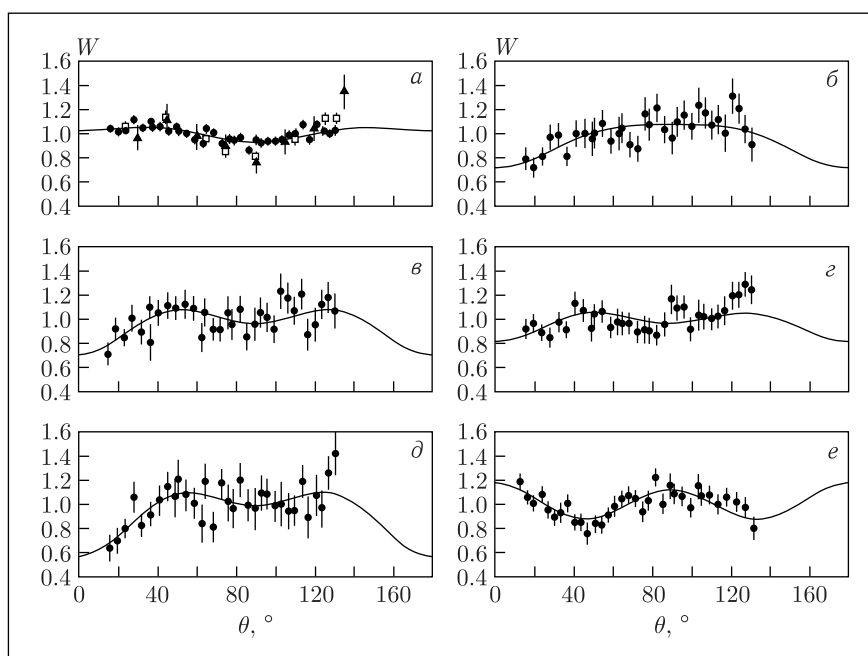


Рис. 6. Угловые распределения γ -квантов для переходов в реакции $^{24}\text{Mg}(n, n'\gamma)^{24}\text{Mg}$, $E_\gamma = 1368,6$ (а), 3866,1 (б), 4237,9 (в), 2754,0 (г) и 4642,2 кэВ (д), а также γ -квантов ($E_\gamma = 350,5$ кэВ) из реакции $^{24}\text{Mg}(n, \alpha)^{21}\text{Ne}$ (е). На рис. а прямоугольники и треугольники — данные из других работ. Сплошная линия соответствует аппроксимации данных полиномами Лежандра

нагрева УХН на ПАВ надежно зарегистрирован.

Аналитические исследования на реакторе ИБР-2 и установке ИРЕН. В 2020 г. на установке РЕГАТА ИБР-2 проведен многоэлементный инструментальный нейтронный активационный анализ около 2000 образцов: растительности, почвы, воздушных фильтров, технологических, биологических, а также образцов взеземного происхождения в рамках программ и грантов стран-участниц ОИЯИ и протоколов о научно-техническом сотрудничестве со странами-неучастницами ОИЯИ. Проведен ряд исследований для других лабораторий ОИЯИ. Выполнен элементный анализ ~ 1500 образцов на атомно-абсорбционном спектрометре iCE3400 фирмы Thermo Scientific.

Для массового анализа элементного и молекулярного составов различных археологических образцов керамики, останков средневековой русской знати и древних людей, кладочных растворов, средневековой настенной

живописи, металлов, сплавов и др. применялись нейтронные и связанные с ними аналитические методы (рентгенофлуоресцентный анализ, инфракрасная спектрометрия с фурье-преобразованием) [13, 14]. Облучения образцов проводились на реакторе ИБР-2 и установке ИРЕН.

Продолжается разработка и применение методики нейтронного резонансного анализа с целью определения элементного состава образцов. Метод является абсолютно неразрушающим и основан на регистрации нейтронных резонансов при радиационном захвате, измерении выхода продуктов реакции в этих резонансах. В 2020 г. на установке ИРЕН были исследованы древнегреческий сосуд для разливания вина (VI–IV вв. до н.э.) из античного могильника «Волна 1» на Таманском полуострове, медальон древнерусского времени (XII — первая половина XIII в.), который был найден при раскопках вблизи Тверского кремля [15], а также проведен ряд методических измерений.

БАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ ЛНФ

Импульсный реактор ИБР-2. В 2020 г. эксплуатация ИЯУ ИБР-2 в штатном режиме работы на мощности осуществлялась на основании лицензии Ростехнадзора, действующей до 30 сентября 2022 г. Статистические данные о работе ИЯУ ИБР-2 приведены в таблице.

В рамках темы 04-4-1122-2015/2020 с помощью программного пакета VITESS методом моделирования Монте-Карло проведена оценка влияния фона запаздывающих нейтронов на данные рефлектометрических экспериментов на импульсном реакторе ИБР-2. В основу модели была положена зависимость потока быстрых нейтронов из активной зоны реак-

тора от времени, измеренная в работе [16]. В этой зависимости основной импульс мощности реактора спадает не до нуля, а до некоторого квазипостоянного уровня, обусловленного излучением запаздывающих нейтронов, на которые приходится в среднем по времени около 8% энерговыделения реактора. Приведенная в этой работе зависимость была заложена в модель источника с одним отличием, которое состояло в том, что основной импульс мощности шириной примерно 320 мкс генерировался одним виртуальным замедлителем, а оставшаяся (фоновая) часть генерировалась другим (фоновым) замедлителем. Работа

Номер цикла	Период	Режим работы замедлителя	Время работы реактора на физический эксперимент, ч
1	16.01–29.01	Водяной	312
2	10.02–19.02	Водяной	207
3	18.03–30.03	Водяной	267
4	13.04–24.04	—	Отменен в связи с карантинными мероприятиями
5	14.05–25.05	—	Отменен в связи с карантинными мероприятиями
6	09.09–23.09	Водяной	337
7	01.10–12.10	Водяной	242
8	19.10–31.10	Водяной	289
9	10.11–22.11	Криогенный	257
10	07.12–22.12	Водяной	312
<i>Всего:</i>			2223

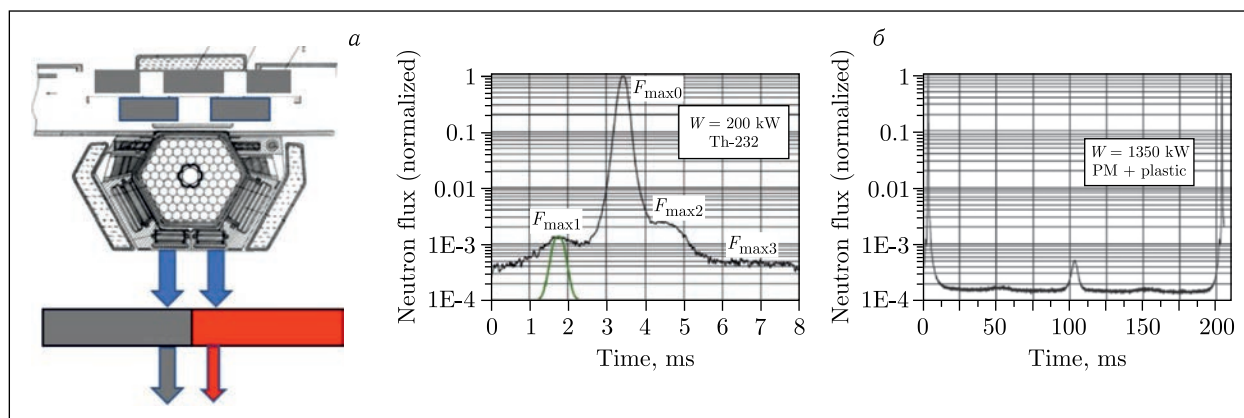


Рис. 7. а) Схема источника с двумя замедлителями, использованная в моделировании. Один замедлитель (красный) формирует только основной импульс реактора, другой (серый) — только фоновую составляющую; б) экспериментально измеренные зависимости потока быстрых нейтронов из активной зоны реактора ИБР-2 от времени. Между основными импульсами реактора находится фоновая квазипостоянная подложка, на которую приходится примерно 8 % среднего по времени энерговыделения реактора ИБР-2

одновременно, оба замедлителя формировали в модели точно такой же поток нейтронов, который генерирует активная зона реактора ИБР-2 в течение его периода повторения 200 мс. Таким образом, включая и выключая фоновый замедлитель, можно выявить влияние фоновых нейтронов на результаты измерений. При моделировании предполагалось, что интенсивность тепловых нейтронов в определенный момент времени соответствует интенсивности быстрых нейтронов в этот же момент времени. На сформированном таким образом пучке нейтронов был создан модельный рефлектометр, в состав которого входил фоновый прерыватель, подобный тем, что используются на установках реактора ИБР-2. На рис. 7 показана модель источника с двумя замедлителями и экспериментально измеренные зависимости потока быстрых нейтронов от вре-

мени. Результаты моделирования однозначно продемонстрировали, что при использовании фонового прерывателя фоновые нейтроны из временной области за пределами основного импульса реактора не влияют на времяпролетные зависимости коэффициентов отражения.

Установка ИРЕН. Несмотря на сложную эпидемиологическую обстановку, вызвавшую ограничения в режиме работы как установок, так и целых коллективов, установка ИРЕН в 2020 г. отработала суммарно 1160 ч, причем 1010 ч — на эксперимент. После достаточно длительной «тренировки» ускоряющих и радиочастотных систем ускорителя ЛУЭ-200, начатой в декабре 2019 г., было достигнуто увеличение средней энергии электронов почти в 1,5 раза при токе в импульсе 2 А. При низких значениях тока в импульсе энергия части электронов превышает 100 МэВ [17].

ПРОЕКТ НОВОГО ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ

В 2019 г. ОИЯИ выступил с предложением создать на своей площадке новый перспективный источник нейтронов ДИН-IV (дубненский источник нейтронов IV поколения). В сочетании с новейшими замедлителями, нейтронводами и нейтронными установками ДИН-IV обещает стать одним из лучших источников нейтронов в мире и открыть беспрецедентные возможности для ученых из стран-участниц ОИЯИ и всего мира для исследований в области физики конденсированных сред, фундаментальной физики, химии, новых материалов и наук о жизни.

ДИН-IV будет обеспечивать получение более коротких нейтронных импульсов, сохраняя при этом такую же плотность потока, как и у европейского испарительного источника ESS, который будет введен в эксплуатацию в 2024 г. Он действительно будет не хуже ESS для экспериментов с низким разрешением и значительно превзойдет его в отношении экспериментов с высоким разрешением.

По результатам анализа различных концепций нового источника в качестве рабочей для ДИН-IV был выбран импульсный нейтронный реактор ИБР-3 с активной зоной

из ^{237}Np (предполагаемое начало эксплуатации 2036–2037 гг.). Приблизительная смета затрат на сегодняшний день составляет около 440 млн евро. Более точные цифры будут получены к концу 2022 г. на стадии предварительного проектирования.

В 2020 г. в рамках темы 04-4-1140-2020/2022 продолжались работы по проектированию импульсного реактора с топливом на основе нептуния, который был выбран ранее в качестве перспективного варианта нового источника нейтронов ОИЯИ. В рамках контрактов, заключенных с Научно-исследовательским и конструкторским институтом энерготехники им. Н. А. Доллежала (НИКИЭТ) и Высокотехнологическим научно-исследовательским институтом неорганических материалов им. акад. А. А. Бочвара

(ВНИИНМ), были разработаны два варианта компоновки активной зоны нового реактора, подготовлено техническое задание на изготовление твэлов нового источника. Сотрудниками ЛНФ был проведен ряд детальных расчетов в поддержку идеи об изменении топливной композиции периферийных твэлов реактора с целью радикального улучшения параметров установки, связанных с надежностью и безопасностью. Результаты этих исследований легли в основу конструктивных изменений, выполненных специалистами НИКИЭТ. В лаборатории завершена работа по формированию структурного подразделения, которое будет заниматься разработкой проекта и созданием нового источника нейтронов, необходимые кадровые изменения будут проведены в 2021 г.

ЛАБОРАТОРИЯ СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ SOLCRY S В НАЦИОНАЛЬНОМ ЦЕНТРЕ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ SOLARIS

В рамках двухстороннего соглашения в польском Национальном центре синхротронного излучения начата реализация совместного проекта ОИЯИ–SOLARIS по созданию лаборатории SOLCRY S для исследований конденсированных сред с использованием синхротронного излучения. В настоящее время завершается этап планирования и начинают заключаться контракты. В середине 2020 г. был заключен контракт на изготовление сверхпроводящего вигглера, являющегося одной из основных частей проекта.

Еще одна важная составляющая проекта — расширение экспериментального зала для раз-

мещения лаборатории. Подготовлен технический проект, который вскоре выйдет на стадию объявления тендера. В рамках концептуального проекта экспериментальных каналов планируется создание станции малоуглового рассеяния рентгеновского излучения, работающей в режиме высокой интенсивности и низкого разрешения, а также станции молекулярной кристаллографии, работающей в режиме высокого разрешения. Последняя будет предназначена для молекулярной кристаллографии и порошковой дифракции, в том числе для экспериментов с образцами при высоком давлении.

МЕРОПРИЯТИЯ

23 июня в Лаборатории нейтронной физики состоялся общелaborаторный мемориальный семинар «60 лет пуска реактора ИБР», который проводился в конференц-зале лаборатории и в формате видеоконференции.

Международная видеоконференция «Исследования конденсированных сред на реакторе ИБР-2» прошла с 12 по 16 октября и собрала более 200 ученых из 27 стран практически со всех континентов, от Австралии до Южной Америки.

В онлайн-формате с 30 ноября по 2 декабря состоялась конференция молодых ученых и специалистов Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка. Участники представляли отчеты по грантам Объединения молодых ученых и специалистов ОИЯИ, а также подавали заявки на соискание стипендий им. И. М. Франка и Ф. Л. Шапиро и грантов ОМУС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Coak M.J., Jarvis D.M., Hamidov H., Wildes A.R., Paddison J.A.M., Liu C., Haines C.R.S., Dang N.T., Kichanov S.E., Savenko B.N., Lee S., Kratochvilova M., Klotz S., Hansen T., Kozlenko D.P., Park J.-G., Saxena S.S. Evolution of Magnetic Order in van-der-Waals Antiferromagnet FePS₃ through Insulator-Metal Transition // *Phys. Rev. X*. 2021. V. 11. P. 011024.
2. Mohamed A.K., Cheverikin V.V., Medvedeva S.V., Bobrikov I.A., Balagurov A.M., Golovin I.S. First- and Second-Order Phase Transitions in Fe-(17–19)at.% Ga Alloys // *Materials Lett.* 2020. V. 279. P. 128508.
3. Karpets M., Rajnak M., Petrenko V., Gapon I., Avdeev M., Mitroova Z., Bulavin L., Timko M., Kopčanský P. Electric Field-Induced Assembly of Magnetic Nanoparticles from Dielectric Ferrofluids on Planar Interface // *ACS Appl. Mater. Interfaces* (submitted).
4. Siposova K., Petrenko V.I., Ivankov O.I., Musatov A., Bulavin L.A., Avdeev M.V., Kyzyma O.A. Fullerenes as an Effective Amyloid Fibrils Disaggregating Nanomaterial // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2020. V. 12, No. 29. P. 32410–32419; doi: 10.1021/acsmami.0c07964.
5. Napol'skiy F., Avdeev M., Yerdauletov M., Ivankov O., Bocharova S., Ryzhenkova S., Kaparova B., Mironovich K., Burlyayev D., Krivchenko V. On the Use of Carbon Nanotubes in Prototyping the High Energy Density Li-Ion Batteries // *Energy Technol.* 2020. V. 8. P. 2000146.
6. Kuklin A., Zabelskii D., Gordeliy I., Teixeira J., Brûlet A., Chupin V., Cherezov V., Gordeliy V. On the Origin of the Anomalous Behavior of Lipid Membrane Properties in the Vicinity of the Chain-Melting Phase Transition // *Sci. Rep.* 2020. V. 10. P. 5749.
7. Soloviov D., Cai Y.Q., Bolmatov D., Suvorov A., Zhernenkov K., Zav'yalov D., Bosak A., Uchiyama H., Zhernenkov M. Functional Lipid Pairs as Building Blocks of Phase-Separated Membranes // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 2020. V. 117, No. 9. P. 4749–4757.
8. Tomchuk O.V., Avdeev M.V., Bulavin L.A. Modeling Fractal Aggregates of Polydisperse Particles with Tunable Dimension // *Coll. Surf. A*. 2020. V. 605. P. 125331.
9. Berikov D., Hutanu V., Kopatch Yu., Ahmadov G., Gagarski A., Novitsky V., Danilyan G., Masalovich S., Klenke J., Deng H. An Instrument for Measuring T-Odd Asymmetries in the Fission of Heavy Nuclei // *J. Instr.* 2020. V. 15. P. P01014.
10. Jiang Haoyu, Cui Zengqi, Hu Yiwei, Liu Jie, Chen Jinxiang, Zhang Guohui, Glede-nov Yu.M., Chuprakov I., Sansarbayar E., Khuukhenkhuu G., Krupa L. Cross-Section Measurements for $^{58,60,61}\text{Ni}(n,\alpha)^{55,57,58}\text{Fe}$ Reactions in the 4.50–5.50 MeV Neutron Energy Region // *Chin. Phys. C*. 2020. V. 44, No. 11. P. 114102.
11. Grozdanov D.N., Fedorov N.A., Kopatch Yu.N., Bystritsky V.M., Tretyakova T.Yu., Ruskov I.N., Skoy V.R., Dabylova S., Aliev F.A., Hramco K., Gundorin N.A., Dashkov I.D., Bogolyubov E.P., Yurkov D.I., Zverev V.I., Gandhi A., Kumar A. Measurement of the Yield and Angular Distributions of Gamma Rays Originating from the Interaction of 14.1-MeV Neutrons with Chromium Nuclei // *Phys. Atom. Nucl.* 2020. V. 83.
12. Fedorov N.A., Grozdanov D.N., Kopatch Yu.N., Bystritsky V.M., Tretyakova T.Yu., Ruskov I.N., Skoy V.R., Dabylova S., Aliev F.A., Hramco K., Gundorin N.A., Dashkov I.D., Bogolyubov E.P., Yurkov D.I., Gandhi A., Kumar A. Measuring the Yields and Angular Distributions of γ Quanta from the Interaction between 14.1 MeV Neutrons and Magnesium Nuclei // *Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys.* 2020. V. 84. P. 367–372; doi: <https://doi.org/10.3103/S1062873820040085>.
13. Koval V. Yu., Dmitriev A. Yu., Borzakov S.B., Chepurchenko O.E., Filina Yu.G., Smirnova V.S., Lobachev V.V., Chepurchenko N.N., Zhomartova A. Zh., Lennik S.G. Elemental Analysis of the Molding Paste of Medieval Oriental Faïences // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2020. V. 17, No. 6. P. 893–899.
14. Panova T.D., Dmitrieva S.O., Dmitriev A. Yu., Chepurchenko O.E., Smirnova V.S., Filina Yu.G. Events of Russian History of the Late Middle Ages in the Light of Neutron Activation Analysis Data // *Archeologia e Calcolatori*. 2020. V. 31, No. 2. P. 281–290.
15. Simbirtseva N.V., Sedyshev P.V., Mazhen S.T., Mareev Yu.D., Shvetsov V.N., Yergashov A.M., Dmitriev A. Yu., Saprykina I.A., Khokhlov A.N., Kozlova O., Artemicheva T. Investigation of the Element Composition of Barmas Medallion (the 12th–First Half of the 13th Centuries) by Method of Neutron Resonance Capture Analysis // *Proc. of XXVII Intern. Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei (ISINN-27)*, Dubna, June 10–14, 2019. Dubna, 2020. P. 187–191.
16. Ананьев В.Д. и др. Препринт ОИЯИ P13-2004-156. Дубна, 2004.
17. Sumbaev A., Kobets V., Shvetsov V., Dikansky N., Logatchov P. (on behalf of the Pulsed Neutron Source “IREN” Collab.). LUE-200 Accelerator — a Photo-Neutron Generator for the Pulsed Neutron Source “IREN” // *J. Instr.* 2020. V. 15. P. T11006.



ЛАБОРАТОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В 2020 г. Лабораторией информационных технологий (ЛИТ) в рамках направления «Сети, компьютеринг, вычислительная физика» проводились исследования по двум темам первого приоритета: «Информационно-вычислительная инфраструктура ОИЯИ» и «Методы, алгоритмы и программное обеспечение для моделирования физических систем, математической обработки и анализа экспериментальных данных». В кооперации с другими лабораториями ОИЯИ сотрудники ЛИТ принимали участие в исследованиях по 26 темам Проблемно-тематического плана научно-

исследовательских работ. Деятельность ЛИТ направлена на развитие сетевой, информационно-вычислительной инфраструктуры, математического и программного обеспечения научно-производственной деятельности Института и стран-участниц ОИЯИ на базе Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК) ОИЯИ.

В 2020 г. сотрудниками Лаборатории информационных технологий опубликовано свыше 170 научных работ, представлено более 120 докладов на международных и российских конференциях.

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ОИЯИ

Основные направления деятельности ЛИТ в 2020 г. — развитие МИВК ОИЯИ [1] и обеспечение надежного функционирования сетевой инфраструктуры ОИЯИ, на которую в период пандемии легли дополнительные требования по обеспечению дистанционной работы сотрудников ОИЯИ. Развитие МИВК включало продолжение начатой в 2019 г. обширной модернизации систем охлаждения и энергообеспечения МИВК, модернизацию и развитие вычислительных ресурсов и систем хранения данных МИВК, развитие ИТ-инфраструктуры мегасайенс-проекта NISA, наращивание производительности грид-компонентов Tier-1 и Tier-2, наращивание облачного компонента и создание интегрированной облачной среды для экспериментов ОИЯИ, расширение гетерогенной вычислительной платформы HubyLIT, включающей суперкомпьютер (СК) «Говорун».

Телекоммуникационные каналы связи ОИЯИ. В 2020 г. обеспечивалось надежное функционирование телекоммуникационных каналов связи ОИЯИ: резервированного канала Москва–ОИЯИ с пропускной способностью 3×100 Гбит/с, прямого канала связи ОИЯИ–ЦЕРН с пропускной способностью 100 Гбит/с и резервного канала 100 Гбит/с, проходящего через ММТС-9 в Москве и Амстердаме, обеспечивающих функционирование сети LHCOPN для связи центров Tier-0 (ЦЕРН) и Tier-1 (ОИЯИ), и внешней наложенной сети LHCONe, предназначенной для центра Tier-2 ОИЯИ; прямых каналов до 100 Гбит/с для связи по технологии RU-VRF с коллаборацией научных центров RUHEP и сетями Runnet, ReTN [2].

Распределение входящего и исходящего трафика по подразделениям ОИЯИ в 2020 г. (превышающее по входящему трафику 25 ТБ) приведено в таблице.

Подразделение	Входящий трафик, ТБ	Исходящий трафик, ТБ
Лаборатория ядерных проблем	425,84	271,81
Лаборатория физики высоких энергий	208,03	130,76
Лаборатория нейтронной физики	97,7	130,15
Лаборатория информационных технологий	93,26	87,99
Гостинично-ресторанный комплекс	87,04	27,71
Университет «Дубна»	86,97	51,16
Лаборатория ядерных реакций	81,98	70,52
Узел удаленного доступа	63,91	10,89
Управление	56,09	90,55
Учебно-научный центр	31,4	10,59
Лаборатория теоретической физики	24,39	27,85

Общий входящий трафик ОИЯИ, включая серверы общего назначения, Tier-1, Tier-2 и вычислительный комплекс, СК «Говорун» и облачные вычисления, составил в 2020 г. 29,91 ПБ, общий исходящий — 36,94 ПБ. Основным является трафик с научно-образовательными сетями, составляющий 97% от общего.

Локальная вычислительная сеть ОИЯИ (ЛВС). В 2020 г. обеспечивалось отказоустойчивое функционирование опорной магистрали локальной вычислительной сети Института с пропускной способностью 2×100 Гбит/с и распределенной вычислительной кластерной сети между площадками ЛЯП и ЛФВЭ емкостью 400 Гбит/с. Обеспечено двойное резервирование сети для повышения надежности оптической транспортной магистрали.

Продолжены работы по развитию и совершенствованию сетевых компонентов ИТ-инфраструктуры ОИЯИ. Сеть распределенного хранения EOS и сеть «Облачные вычисления» подключены к внешней сети RU-VRF/LHCONE. Ввод в эксплуатацию 4-го модуля в зале МИВК и его наполнение вычислительными ресурсами сопровождалось работами по настройке и подключению центральных и стоечных коммутаторов.

Для работы в режиме видеоконференций было протестировано несколько систем (Cisco Meeting Server, BigBlueButton, Videomost, Zoom и т.д.). Для массового использования была выбрана система Cisco Webex, на базе которой в 2020 г. было проведено 816 совещаний.

Продолжена модернизация кластера виртуальных сервисов сетевой службы ОИЯИ. Сетевой кластер NОС работает с виртуальными машинами, которые обеспечивают ключевые сервисы для всей сетевой инфраструктуры

ОИЯИ: DNS, DHCP, relays — промежуточные почтовые серверы, серверы сетевых баз данных, сервер Web-хостинга NОС, а также ряд сторонних сервисов для ЛИТ и УНЦ ОИЯИ.

Кластер состоит из 6 вычислительных узлов и 2 систем хранения данных. Системы хранения данных функционируют под управлением файловой системы ZFS. Кластер работает в режиме 24×365 . Архитектурное решение обеспечивает организацию безостановочной работы при обновлениях как программного, так и аппаратного компонентов сетевого кластера.

Расширена функциональность системы анализа сетевого трафика с помощью написанных новых скриптов, помогающих выявлять зараженные и взломанные пользовательские компьютеры. Осуществляется поддержка WiFi-сети eduoam в ЛИТ, гостинице «Дубна», ДМС, ДУ, общежитии УНЦ. В системе мониторинга сети отслеживается состояние 560 хостов, более 150 сервисов и состояний. Применяется несколько видов уведомлений: сообщения по электронной почте и аварийные SMS-рассылки.

ЛВС ОИЯИ содержит 8895 сетевых элементов и 16 884 IP-адреса, 7388 пользователей сети, 3192 пользователя сервиса mail.jinr.ru, 1419 пользователей электронных библиотек и 445 пользователей сервиса удаленного доступа.

Инженерная инфраструктура МИВК.

В 2020 г. продолжены работы по замене и совершенствованию инженерной инфраструктуры МИВК, предназначенной для обеспечения надежной, бесперебойной и отказоустойчивой работы информационно-вычислительных систем и ресурсов хранения данных. Введена в эксплуатацию система центрального бесперебойного и резервированного электропитания

для вычислительного зала МИВК на базе аккумуляторных источников и дизель-генераторных установок. Частично модернизирована система климат-контроля — комплекса взаимосвязанного оборудования различных схем воздушного и жидкостного охлаждения, создающего температурный режим для работы МИВК в режиме 24×365 .

Грид-среда ОИЯИ. Грид-инфраструктура ОИЯИ представлена центром уровня Tier-1 для эксперимента CMS на LHC и центром уровня Tier-2 для обработки данных экспериментов ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, BES, BIOMED, MPD, NOvA, STAR, ILC и др. Оба грид-сайта ОИЯИ обеспечивают 100%-ю доступность и надежность сервисов.

В 2020 г. система обработки данных Tier-1 была увеличена до 13 376 ядер, что обеспечи-

вает производительность 203,569 kHS06. Расширена система хранения, состоящая из дисковых массивов и долговременного хранилища данных на лентах. Общая полезная емкость дисковых серверов увеличена до 13,7 ПБ. В апреле завершилась работа по вводу в строй новой ленточной библиотеки IBM TS4500 общим объемом 40 ПБ. К настоящему времени система долговременного хранения данных состоит из библиотек IBM TS3500 и IBM TS4500 и ориентирована на обслуживание экспериментов NICA и CMS.

По производительности Tier-1 (T1_RU_JINR) занимает второе место среди других центров Tier-1 для эксперимента CMS в мире (рис. 1, а). В 2020 г. обработано более 294 млн событий, что составляет 25% от их общего числа (рис. 1, б) и 23% от общей загрузки

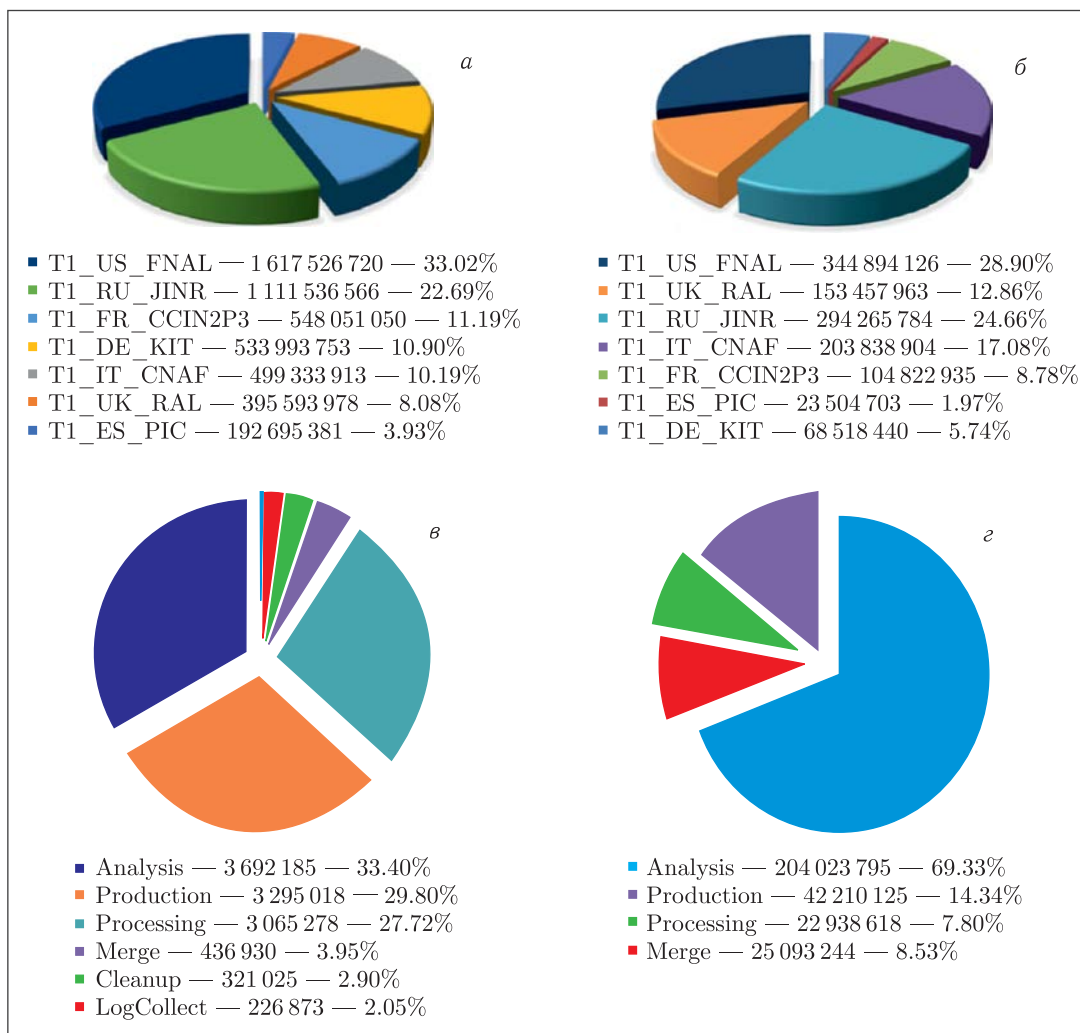


Рис. 1. Вклад мировых центров Tier-1 в обработку экспериментальных данных CMS за 2020 г.: а) распределение по нормированному времени ЦПУ в часах HS06; б) количество обработанных событий. Статистика использования центра Tier-1 ОИЯИ в эксперименте CMS по разным типам потоковой обработки данных за 2020 г.: в) распределение задач; г) распределение событий по типам обработки

ЦПУ всех центров Tier-1 для эксперимента CMS.

На рис. 1, в, г показано число задач и количество событий, обработанных в ОИЯИ в центре уровня Tier-1 CMS в 2020 г. по разным типам потоковой обработки данных (реконструкция, моделирование, повторная обработка, анализ и т. д.).

В 2020 г. на Tier-1 был осуществлен переход, связанный, с одной стороны, с окончанием поддержки программного обеспечения (ПО), используемого для вычислительных элементов (CREAM-CE), системы пакетной обработки заданий (Torque) и планировщика (Maui), и, с другой стороны, с тем, что старое ПО и системы не справлялись с повышенной нагрузкой и большим количеством счетных машин. Для замены CREAM-CE был выбран ARC-CE (Advanced Resource Connector-Computing Element), который широко используется в WLCG (Worldwide LHC Computing Grid). В качестве менеджера ресурсов выбран SLURM — высокомасштабируемый отказоустойчивый менеджер кластеров и планировщик заданий для больших кластеров с открытым кодом. Он позволяет осуществлять гибкое планирование с приоритетами, справедливое распределение ресурсов между разными пользователями и оптимизацию использования счетных ресурсов. SLURM также применяется на СК «Говорун».

Основными функциями Tier-1 являются обеспечение обмена данными со всеми мировыми сайтами, работающими на экспе-

римент CMS, и хранение необработанных экспериментальных и моделированных данных. В 2020 г. общий объем обмена данными с системой хранения на базе dCache с учетом локальных обменов составил 106 ПБ, из них записано 22 ПБ новых файлов. На рис. 2 приведена статистика обмена данными Tier-1 CMS ОИЯИ с другими грид-центрами с объемом больше 100 ТБ по исходящему трафику. 192 центра глобальной сети WLCG обработки данных экспериментов на LHC скачали 26 154,5 ТБ с системы хранения Tier-1, 130 из них передали 10 655,7 ТБ данных для записи.

Вычислительные ресурсы центра Tier-2 в 2020 г. были расширены до 7060 ядер, что в настоящее время обеспечивает производительность порядка 100 kH506. Общая полезная емкость дисковых серверов составляет 4763 ТБ для ATLAS, CMS и ALICE и 140 ТБ для других виртуальных организаций. Сайт ОИЯИ Tier-2 является лучшим в российском консорциуме «Российский грид для интенсивных операций с данными» (Russian Data Intensive Grid — RDIG). В 2020 г. 55% от общего суммарного времени ЦПУ, затраченного на обработку и анализ данных на ресурсах консорциума RDIG, было выполнено на сайте Tier-2 ОИЯИ (рис. 3, а). На рис. 3, б приведены данные по использованию сайта Tier-2 ОИЯИ виртуальными организациями в рамках грид-проектов в 2020 г.

МИВК обеспечивает проведение пользователями вычислений вне рамок грид-среды. Это необходимо как для некоторых экспериментов, так и для локальных пользователей из лабо-

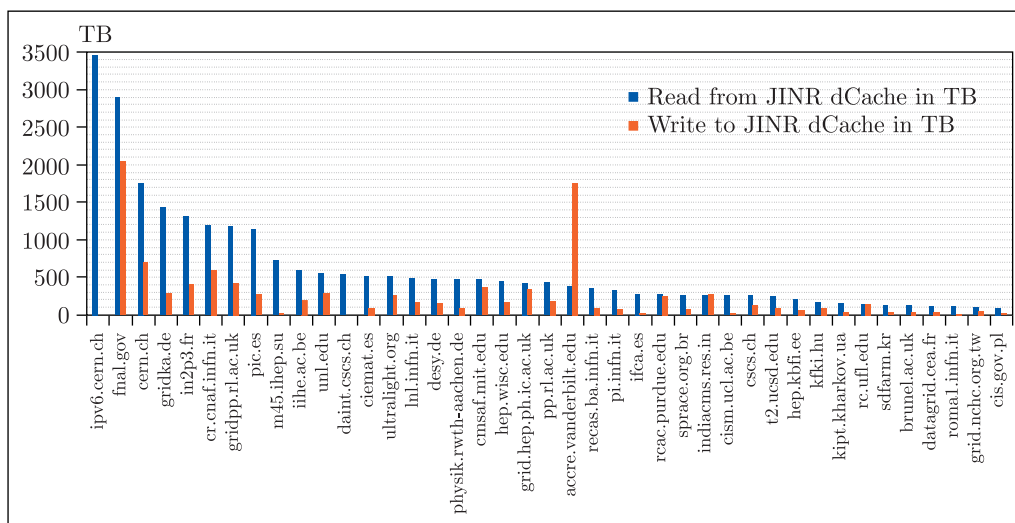


Рис. 2. Статистика обмена данными Tier-1 ОИЯИ с мировыми центрами обработки данных инфраструктуры WLCG через систему хранения данных на базе dCache: синий цвет — объем переданных данных с Tier-1 ОИЯИ в другие мировые центры Tier-1 и Tier-2; красный цвет — объем переданных данных с мировых центров Tier-1 и Tier-2 на Tier-1 ОИЯИ для записи и обработки

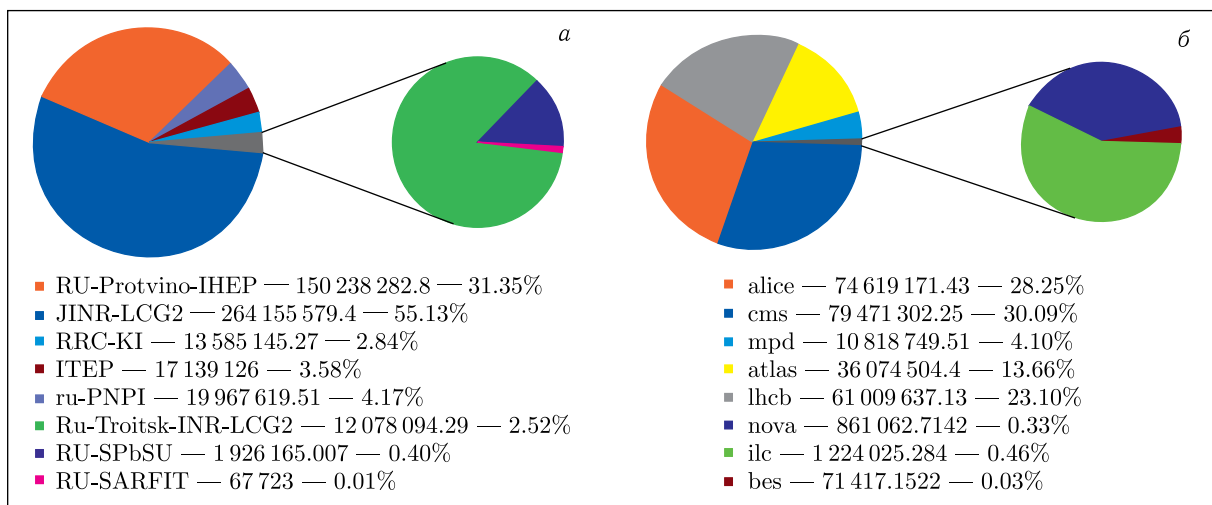


Рис. 3. Статистика работы Tier-2 ОИЯИ: а) распределение по времени ЦПУ по сайтам организаций, входящих в российский консорциум RDIG; б) использование сайта Tier-2 ОИЯИ виртуальными организациями глобальной грид-инфраструктуры (по нормированному времени ЦПУ в HS06 часах)

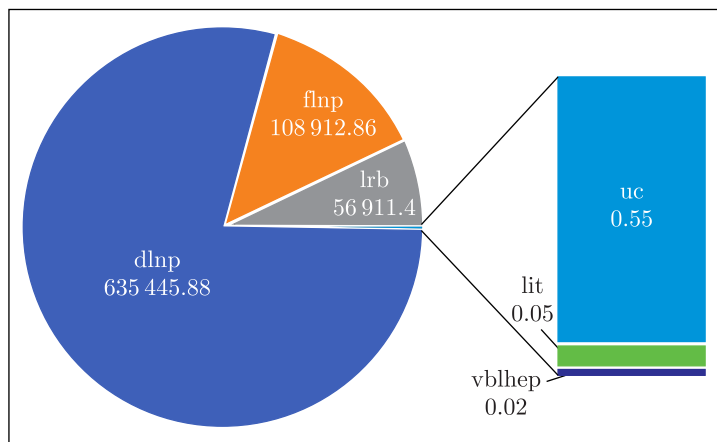


Рис. 4. Статистика использования вычислительного кластера: распределение по времени ЦПУ в часах, нормированных на 1000 Specint2000, по задачам, выполненным на локальном (не грид) вычислительном кластере подразделениями Института и группами пользователей

раторий ОИЯИ. Все вычислительные мощности доступны пользователям ОИЯИ и пользователям грид-среды через единую систему пакетной обработки заданий. На рис. 4 приведено распределение по времени заданий, выполненных на вычислительном кластере МИВК подразделениями Института и группами пользователей.

В 2020 г. была расширена система хранения данных на базе ПО EOS. В настоящее время для пользователей EOS доступно 7,12 ПБ дискового пространства. Основными пользователями являются Baikal-GVD, DANSS, FOBOS, JUNO, VM@N, MPD, SPD, PANDA.

Стабильная и эффективная работа Tier-1, Tier-2, систем хранения и необходимый уро-

вень кибербезопасности кластеров обеспечивались систематическим обновлением микропрограммного обеспечения компонентов серверов, версии ядра операционной системы, микропрограммного обеспечения сервисных модулей серверов IDRAC/IPMI.

Облачная среда. В 2020 г. ресурсы облачной инфраструктуры были расширены за счет вклада эксперимента NOvA (480 ядер ЦПУ, 2,88 ТБ ОЗУ, 1,728 ПБ дискового пространства для хранилища на базе serph) и ввода в эксплуатацию 2880 ядер ЦПУ с 46,08 ТБ ОЗУ, приобретенных для эксперимента JUNO. Общее количество ресурсов, размещенных в облачной инфраструктуре ОИЯИ, составляет 5000 ядер ЦПУ, 60 ТБ ОЗУ и 3,1 ПБ сырого дискового пространства в serph-хранилище.

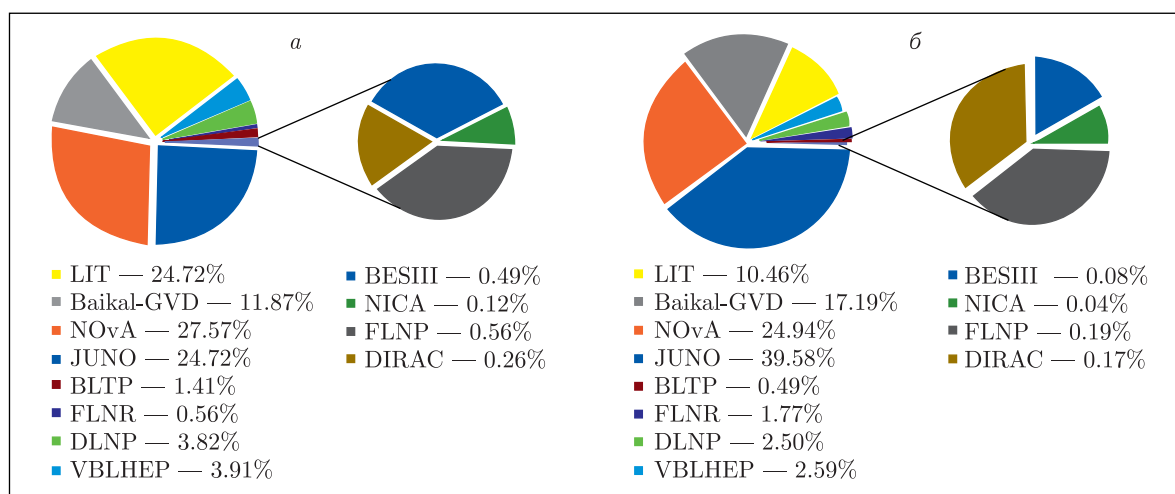


Рис. 5. Потребление ресурсов облачной инфраструктуры ОИЯИ за 2020 г.: а) время ЦПУ; б) использование ОЗУ

На рис. 5 представлена информация по потреблению ресурсов облачной инфраструктуры за 2020 г.

Облако ОИЯИ является одним из участников распределенной информационно-вычислительной среды (РИВС) на базе ресурсов ОИЯИ и организаций из стран-участниц Института. В 2020 г. в Северо-Осетинском государственном университете им. К. Л. Хетагурова, в Софийском университете им. Св. Климента Охридского и Институте ядерных исследований и ядерной энергии Болгарской АН были развернуты и подключены к РИВС облачные инфраструктуры. Начаты работы по разворачиванию облачных

инфраструктур в Грузинском техническом университете и Египетской национальной сети научно-технической информации Академии научных исследований и технологий.

В 2020 г. к использованию вычислительных мощностей РИВС подключился эксперимент Baikal-GVD. Круговая диаграмма с количеством успешно выполненных в 2020 г. задач на ресурсах всех участников РИВС пользователями всех виртуальных организаций представлена на рис. 6.

Свободные от основной деятельности ресурсы РИВС в 2020 г. были задействованы для проведения исследований по изучению вируса SARS-CoV-2 в рамках платформы

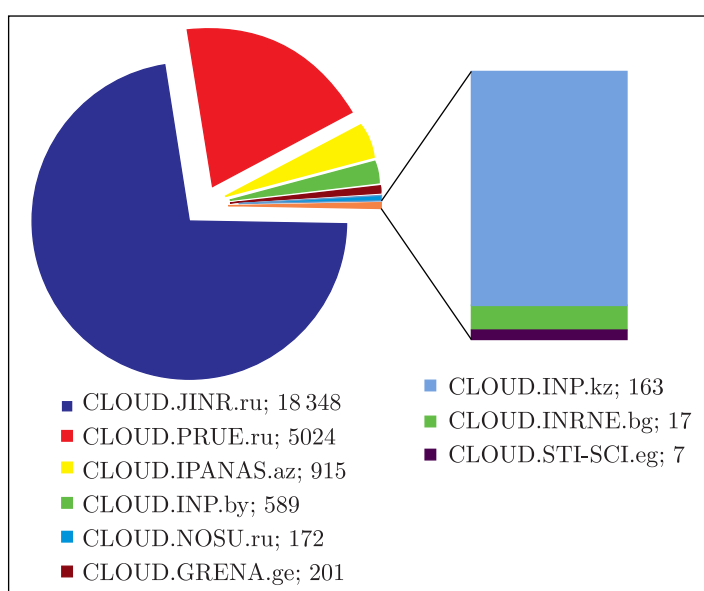


Рис. 6. Распределение количества задач, успешно выполненных в 2020 г. пользователями всех виртуальных организаций на облачных ресурсах организаций стран-участниц ОИЯИ

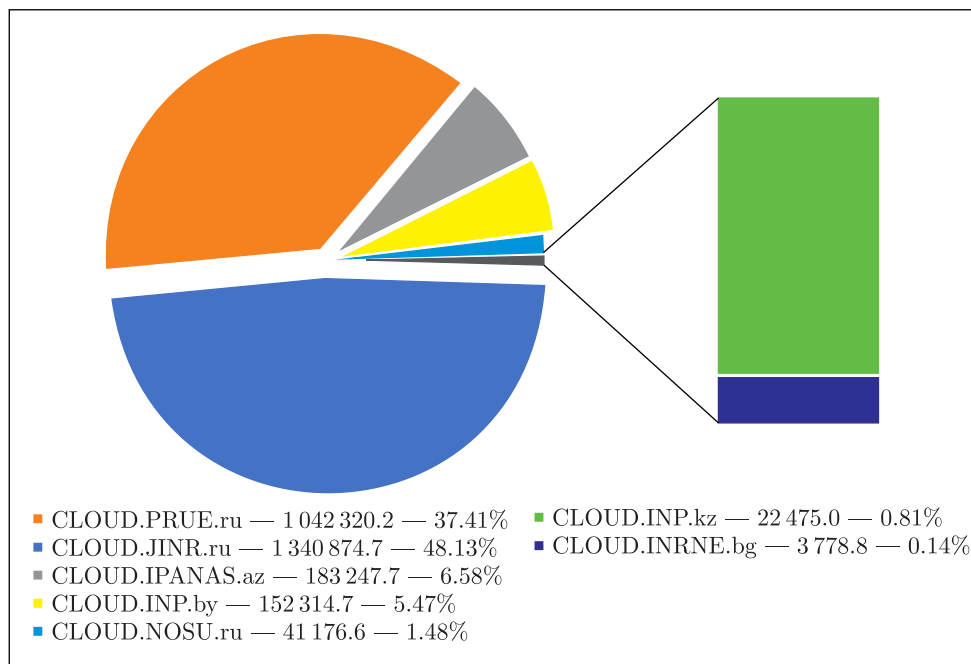


Рис. 7. Распределение вкладов участников РИВС в исследование вируса SARS-CoV-2 посредством платформы Folding@Home в ЦПУ HS06 часах

Folding@Home. На рис. 7 представлена круговая диаграмма, отображающая вклад каждого из ресурсных центров РИВС.

Гетерогенная инфраструктура. Гетерогенная инфраструктура МИВК ОИЯИ представлена компонентом HybriLIT, состоящим из учебно-тестового полигона и СК «Говорун», объединенных единой программно-информационной средой. В 2020 г. были завершены разработка и внедрение в эту среду экосистемы для машинного/глубокого обучения и высокопроизводительных вычислений (экосистемы ML/DL/HPC), которая активно используется для создания алгоритмов на базе нейросетевых подходов для решения прикладных задач.

За 2020 г. в среду HybriLIT были внедрены и поддерживались по требованию групп пользователей актуальные версии свыше 20 программных пакетов, в частности: GSL (ЛТФ); FairSoft, FairRoot, PyROOT с надстройками для BmnRoot и MpdRoot, SMASH, Valgrind (NICA); ABINIT, Wien2k, Amber, AmberTools (ЛНФ); DIRAC, ELPA, FLUKA, LAMMPS (ЛЯР); FreeSurfer, FSL, MRIConvert, GROMACS (ЛРБ); expect, FORM, SMILEI (ЛИТ) и др.

С целью повышения эффективности решения задач пользователей, использования вычислительных ресурсов и ресурсов хранения данных на СК «Говорун» в 2020 г. разработан и реализован подход к управлению вычисли-

тельными ресурсами и ресурсами хранения данных — «оркестрация ресурсов» [3]. Под этим термином подразумевается программная дезинтеграция вычислительного узла, т. е. отделение вычислительных ядер и элементов хранения данных (SSD-дисков) с последующим их объединением в соответствии с требованиями задачи пользователя. Таким образом, вычислительные элементы (CPU-ядра и графические ускорители) и элементы хранения данных (SSD-диски) образуют независимые поля. Благодаря оркестрации пользователь может под свою задачу аллоцировать необходимое число и тип вычислительных узлов (в том числе необходимое число графических ускорителей), необходимый объем и тип систем хранения данных. После завершения задачи вычислительные ядра и элементы хранения возвращаются в соответствующие поля и готовы к следующему использованию. Это свойство позволяет эффективно решать пользовательские задачи разных типов, повысить уровень конфиденциальности работы с данными, избежать системных ошибок, возникающих при пересечении ресурсов для различных пользовательских задач.

В течение 2020 г. всеми группами пользователей, применяющих ресурсы СК «Говорун» для решения задач в рамках 25 тем Проблемно-тематического плана ОИЯИ, было выполнено 491 609 задач на всех вычислительных компонентах, при этом большая часть из

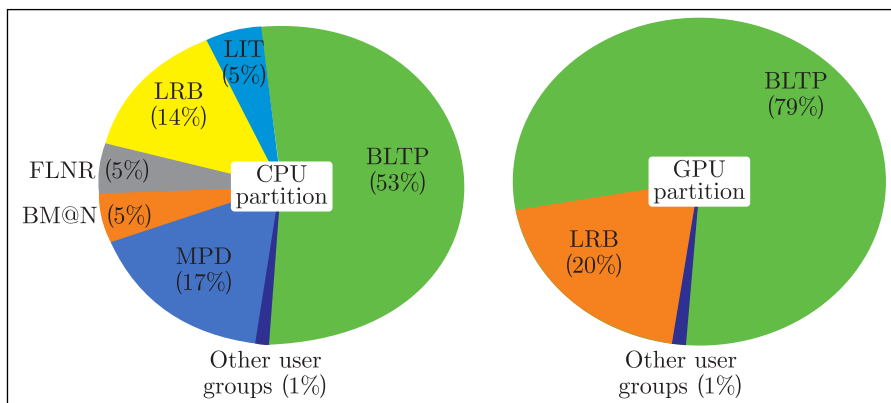


Рис. 8. Распределение ресурсов СК «Говорун» по группам пользователей

них, 440 813, — на компоненте Cascade. На компонентах KNL и DGX — 45 411 и 5385 соответственно. В целом за 2020 г. на компоненте Cascade было наработано свыше 35 млн ядро-часов (core-hours). Средняя загрузка по вычислительным компонентам в 2020 г. составила: Cascade — 95,7%, KNL — 89,3%, DGX — 94,1%.

Общее количество пользователей СК «Говорун» в настоящее время составляет 157, из них 118 — из лабораторий ОИЯИ, 39 — из других организаций стран-участниц ОИЯИ. При этом за 2020 г. были зарегистрированы 75 новых пользователей. Распределение вычислительных ресурсов между группами пользователей показано на рис. 8.

Основными пользователями CPU-компонента суперкомпьютера являются пользователи из ЛТФ и мегапроекта NICA, суммарно 75%. Пользовательские группы из других лабораторий задействуют четверть ресурсов. Наряду с этим для GPU-компонента порядка 80% ресурсов СК «Говорун» потребляется пользователями из ЛТФ, 20% — из ЛРБ, что связано с внедрением нейросетевых подходов для задач радиобиологии.

Пользователями платформы за 2020 г. было опубликовано 65 статей. Сводный отчет сформирован и размещен на сайте http://hlit.jinr.ru/users_publications/.

В 2020 г. продолжены работы по развитию off-line компьютерного комплекса для моделирования, обработки, анализа и хранения данных проекта NICA, развернутого на базе МИВК ОИЯИ как распределенный масштабируемый гибридный кластер, что позволяет эффективно и без дополнительных трудозатрат организовать компьютинг для проекта NICA по требованию различного класса задач и пользователей. Важным моментом в создании такой инфраструктуры является интегра-

ция распределенных вычислительных ресурсов. Одним из вариантов связующего промежуточного ПО является DIRAC Interware — продукт для интеграции гетерогенных вычислительных ресурсов и ресурсов хранения данных в единую платформу, основанный на использовании стандартных протоколов доступа к данным (xRootD, GridFTP и др.) и пилотных задач. На конец 2020 г. в DIRAC были интегрированы все компоненты МИВК, облака стран-участниц ОИЯИ, а также кластер Национального автономного университета Мексики (НАУМ) в рамках сотрудничества по проекту MPD.

С использованием интеграции через DIRAC удалось задействовать наибольшее количество вычислительных ресурсов для централизованной генерации данных методом Монте-Карло для эксперимента MPD. В вычислениях участвовали СК «Говорун», кластеры Tier-1/Tier-2, кластер NICA и кластер НАУМ. Успешно выполнены более 500 000 задач. Объем сгенерированных данных превысил 130 ТБ. Все данные зарегистрированы в файловом каталоге DIRAC и сохранены в системе хранения EOS. На рис. 9 приведена статистика по нормированному времени ЦПУ в HS06 часах, использованному на задачи моделирования для MPD на вычислительных ресурсах, интегрированных в рамках DIRAC.

Разработан программный комплекс, позволяющий моделировать распределенную вычислительную систему для сбора, хранения и обработки данных эксперимента BM@N проекта NICA при разных сценариях запуска задач для следующего сеанса, планируемого к проведению в 2021 г. Целью моделирования стало оптимальное распределение потоков задач первичной обработки данных эксперимента BM@N на вычислительные узлы для минимизации простоев оборудования в процессе

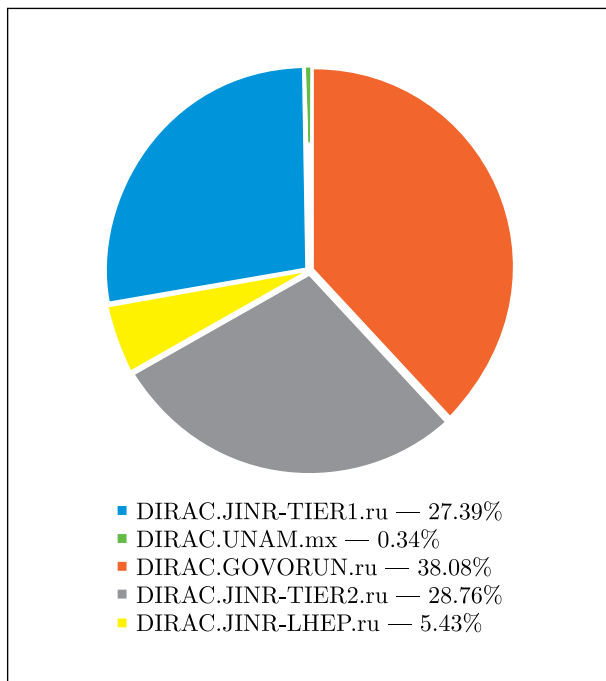


Рис. 9. Статистика по нормированному времени ЦПУ в HS06 часах, использованному на задачи моделирования для MPD на вычислительных ресурсах, интегрированных в рамках DIRAC

выполнения заданий. На основании результатов моделирования можно предсказать загрузку вычислительных узлов и каналов связи.

Система мониторинга. Разработанная комплексная система мониторинга МИВК позволяет получать информацию от различных компонентов вычислительного комплекса: инженерной инфраструктуры, сети, вычислительных узлов, систем запуска задач, элементов хранения данных, грид-сервисов, что гарантирует высокий уровень надежности МИВК. В 2020 г. к общей системе мониторинга была подключена облачная инфраструктура. Система мониторинга Litmon является модульной и распределенной, поэтому добавление новых узлов требует установки нового узла распределения нагрузки системы мониторинга. На сегодня в систему мониторинга включены 4 сервера [4]: управляющий сервер litmon-01, а также 3 сервера распределения нагрузки (рис. 10).

Выполнен ряд работ по развитию и текущему сопровождению системы электронного документооборота (СЭД) «Дубна». В частности, разработаны модуль ведения плана закупок, подсистема автоматизированного формирования договоров поставки на основе типовых форм, модуль мониторинга и архивного электронного хранения и поиска договоров поставки, реализована возможность подписания

счетов на оплату с использованием усиленной электронной подписи.

Осуществлялось текущее сопровождение и развитие системы управления проектом АРТ EVM для NICA. В частности, реализована интеграция данных Cost Book с планом закупок в СЭД «Дубна».

Разработана и запущена в эксплуатацию новая версия информационной системы CERN DB для регистрации командировок в ЦЕРН, размещения командированных по местам проживания и учета финансовых расходов.

Осуществлялось текущее сопровождение и развитие по запросам пользователей информационных систем HR LHEP, ADB2, PIN, ИСС, базы документов, электронного фотоархива.

В 2020 г. был разработан и запущен в эксплуатацию личный кабинет с возможностью онлайн-оплаты для нанимателей жилищного фонда Института. Совместно с системой электронного документооборота создана система обработки счетов в электронном виде, для подписания которых внедрен внутренний удостоверяющий центр. В кадровой системе создана подсистема учета электронных трудовых книжек, полностью переработана система специальной оценки рабочих мест.

Усовершенствована управленческая отчетность Института, в рамках развития проектного управления разработан соответствующий модуль в программе 1С, позволяющий отслеживать ход исполнения работ, рисовать диаграмму Ганта, назначать финансовые ресурсы.

Продолжались работы по текущему обучению и поддержке пользователей, сопровождению и модернизации программ 1С. Начаты работы по созданию системы учета путевок в пансионат «Дубна», совместно с другими службами была протестирована и отработана новая методика бухгалтерского учета в пансионате.

В 2020 г. осуществлялось сопровождение информационной системы научной аттестации ОИЯИ (<https://dissertations.jinr.ru>), портала «Визит-центра» (<https://visitcentre.jinr.ru/>), продолжились работы по модернизации и сопровождению веб-сайта журналов «ЭЧАЯ» и «Письма в ЭЧАЯ» (<http://peran.jinr.ru>). Продолжены традиционные разработка, создание и поддержка веб-сайтов конференций, симпозиумов по заявкам лабораторий и других подразделений ОИЯИ.

Традиционно осуществлялось сопровождение серверов и систем общего использования: инфраструктуры хостинга сайтов (www.jinr.ru, flnph.jinr.ru, flerovlab.jinr.ru, micc.jinr.ru, mpdroot.jinr.ru и т. д.), инфра-

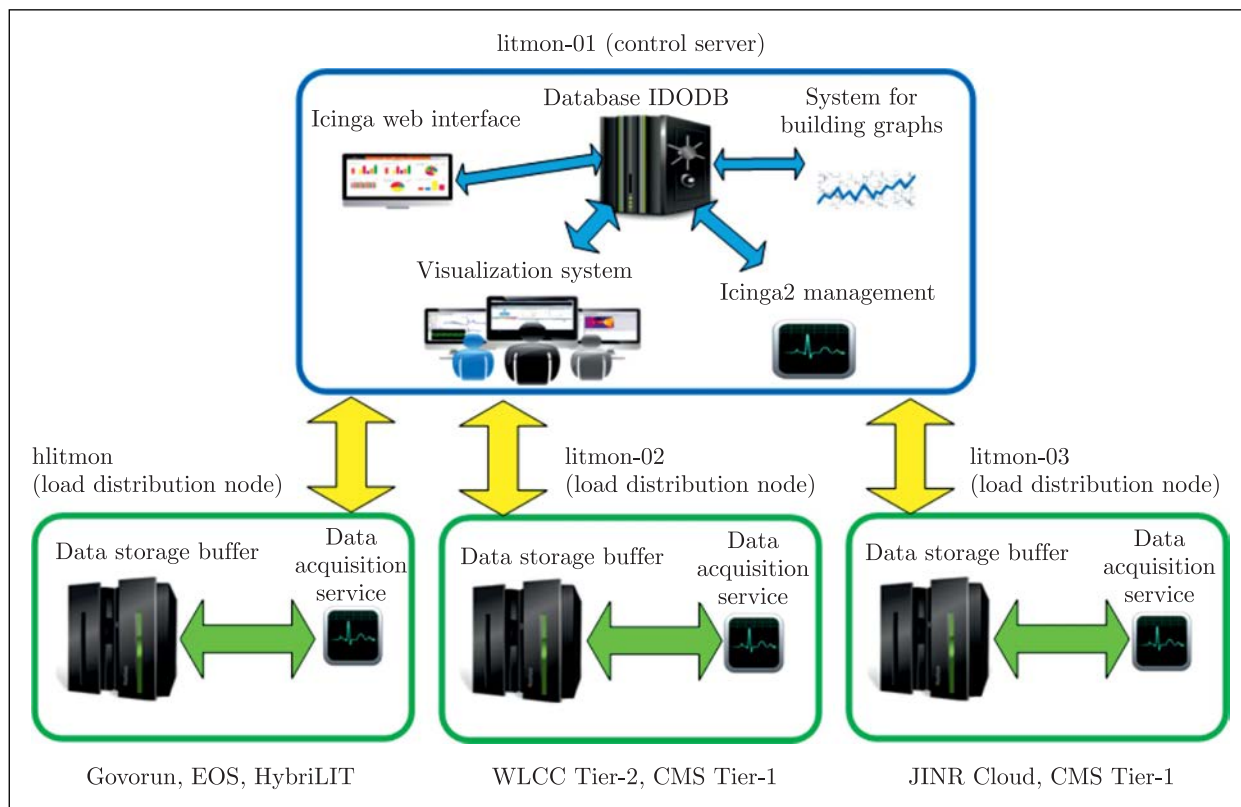


Рис. 10. Структурная схема системы мониторинга Litmon

структуры серверов административного назначения (ресурсы pin.jinr.ru, adb2.jinr.ru, sed.jinr.ru и т. п.), сервисов pm.jinr.ru (система

автоматизированного управления проектами) и disk.jinr.ru (сервис облачного хранилища для сотрудников ОИЯИ).

МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ, МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Одним из направлений деятельности ЛИТ является обеспечение математической, алгоритмической и программной поддержки экспериментальных и теоретических исследований, проводимых в ОИЯИ. Ниже приведена краткая информация о полученных результатах.

Развернут прототип платформы для аналитики потоковых данных с использованием технологий больших данных [5]. Платформа протестирована на примере исследования сетевого трафика в распределенной сети.

Разработаны геометрическая и программная модели для различных конфигураций внутренней трековой системы эксперимента $BM@N$, состоящей из координатных детекторов GEM, Forward Silicon и STS-детекторов. Реализованы алгоритмы реалистичного моделирования прохождения заряженных частиц через чувствительные плоскости детекторов трековой системы. Произведен рас-

чет необходимых характеристик газовой смеси, планируемой к использованию в качестве рабочей среды в газонаполненных камерах GEM-детектора для будущих конфигураций в 2021–2022 гг.

Разработан программный модуль для моделирования реконструкции данных в дрейфовых камерах (ДК) эксперимента $BM@N$. Получено необходимое сходство работы реконструкции модельных и экспериментальных данных. Программное обеспечение имплементировано в пакет программ $BMNROOT$. Цепочка реконструкции ДК была унифицирована и автоматизирована для обработки всех типов данных эксперимента $BM@N$.

Нейросетевые модели $RDGraphNet$ и $TrackNETv2$, разработанные для эксперимента $BM@N$ с фиксированной мишенью, успешно адаптированы для цилиндрического детектора $CGEM$ коллайдерного эксперимента

BESIII (ИФВЭ, Пекин). Обучение на модельных данных и последующее тестирование модели RDGraphNet показали обнадеживающие результаты — полнота 98% и точность 86%, для TrackNETv2 — полнота 99% и точность 77% [6].

Проведено дальнейшее расширение генератора Монте-Карло столкновений тяжелых ионов DCM-SMM, используемого для моделирования десятков миллионов событий для VM@N и MPD (NICA) на кластере HybriLIT [7].

Проведено исследование влияния изменения параметров в трех адронных моделях GEANT4 на согласование с наборами данных для тонких мишеней; с использованием фреймворка Professor для настройки моделей описано соответствие этим наборам данных [8]. Обнаружено, что при изменении параметров наборы данных согласуются значительно лучше, но для полного согласования требуется больше степеней свободы.

Создан тест-сервер для разрабатываемой новой версии системы EventIndex в рамках развития проекта для подготовки к Run 3 эксперимента ATLAS. Реализованы сервисы подсчета матрицы пересечений триггерных цепочек. Начаты работы по созданию нового сервиса Event Picking Service в рамках проекта ATLAS EventIndex. Произведена адаптация системы операционного мониторинга системы TDAQ под новые версии продукта Grafana. Проведена модернизация сервиса визуализации данных для системы мониторинга сетевого трафика в ATLAS (NETIS).

Моделирование магнитных полей включало интенсивные исследования, касающиеся трехмерного компьютерного моделирования магнитных систем в рамках проекта NICA по проверке однородности магнитного поля в рабочих областях новых физических магнитов, а также совершенствование средств проектирования новых циклотронов медицинского назначения, рассчитанных на суперкомпьютере «Говорун».

В 2020 г. библиотека JINRLIB дополнена программами, разработанными сотрудниками ЛИТ для общего пользования: EORP 2020 — программа расчета замкнутых равновесных орбит (<http://wwwinfo.jinr.ru/programs/jinrlib/eorp/index.html>), Split — параллельная реализация численного решения системы алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей с использованием алгоритма разбиений и технологии MPI (<http://wwwinfo.jinr.ru/programs/jinrlib/split/index.html>), SIR-model — простейшая модель

эпидемического процесса (<http://wwwinfo.jinr.ru/programs/jinrlib/sir-model/index.html>). Обновлено программа SAS — программа для первичной обработки спектров малоуглового рассеяния (<http://wwwinfo.jinr.ru/programs/jinrlib/sas/index.html>).

В сотрудничестве с ОИВТ РАН сформулирована модель, описывающая прохождение многокомпонентной газоконденсатной смеси через пористую среду в режиме истощения [9]. Получено количественное согласие численных результатов с экспериментальными данными по динамике извлекаемости углеродородов в зависимости от давления. Параллельная реализация алгоритма обеспечивает шестикратное ускорение вычислений при расчетах на кластере HybriLIT.

Исследовано влияние неупругого канала и выбора модели плотности распределения нуклонов в ядрах $^{12,14}\text{Be}$ на согласие с экспериментальными данными [10]. Для плотности ядер $^{12,14}\text{Be}$ в форме симметризованной ферми-функции получены параметры, улучшающие согласие дифференциальных сечений рассеяния $^{12,14}\text{Be} + ^{12}\text{C}$ с экспериментальными данными. Расчеты выполнены на кластере HybriLIT.

Предложена, реализована и протестирована гибридная модель MPI + OpenMP для распараллеливания метода рядов Тейлора множественной точности [11]. С помощью данной модели рассчитана траектория аттрактора Лоренца на достаточно большом временном интервале [0, 7000].

С целью изучения сильно взаимодействующей ядерной материи, в частности в ядрах нейтронных звезд, методом байесовского анализа исследована расширенная модель сигма-омега. Найдены наиболее вероятные значения физических параметров модели по современным астрофизическим данным многоканальной астрономии [12].

Сформулирована задача Лагранжа о нахождении всех приближенных решений задачи трех тел на плоскости, при которых расстояния между телами остаются постоянными. Доказаны две теоремы, сводящие эту проблему к изучению свойств схемы средней точки для системы связанных осцилляторов [13]. Показано, что в случае, когда тела образуют правильный треугольник, приближенное решение наследует свойство периодичности точного решения Лагранжа.

Проанализирована проблема квантовомеханического описания околосварьерного слияния тяжелых ядер, происходящего в условиях сильной связи их относительного дви-

жения с поверхностными колебаниями [14]. С этой целью предложен эффективный метод конечных элементов для численного решения системы связанных уравнений Шредингера с граничными условиями, соответствующими полному поглощению. Установлено, что можно воспроизвести экспериментальные данные с помощью потенциала Вудса–Саксона без введения отталкивающих ядер. Показано, что сечения слияния при глубоких суббарьерных энергиях чувствительны к профилю потенциального кармана.

Выполнено моделирование процессов взаимодействия импульсных пучков ионов с металлическими мишенями с помощью метода молекулярной динамики [15]. При использовании усредненных значений параметров ионных пучков выполнено численное исследование зависимости от них динамики тепловых и структурных процессов в облучаемых мишенях при изменении размеров и неоднородностей структуры.

Получены основные параметры и волновые функции, определяющие структуру и свойства легких ядер с $A = 6$ (${}^6\text{Li}$ и ${}^6\text{He}$) в кластерной модели ядра $\alpha + NN$, учитывающей дибарионные резонансы в нуклон-нуклонном взаимодействии [16].

С помощью неприводимых представлений точечной группы D_{3h} , которая характеризует симметрию плоской равносторонней треугольной молекулы H_3^+ , построена исходная трехцентровая волновая функция [17]. Результаты этой работы и реализация вычислительных методов открывают путь к дальнейшим исследованиям сложных трехцентровых систем.

Проведено численное моделирование лазерной абляции материала под действием ультракоротких лазерных импульсов. Получены зависимости максимума температуры на поверхности образца и толщины слоя абляции от дозы излучения падающего лазерного импульса. Численные расчеты проведены с применением метода конечных разностей [18].

Предложен и численно исследован метод сверхбыстрого переключения поляризации в сегнетоэлектриках с использованием эффекта самоускорения динамики поляризации через поле обратной связи [19].

Предложен новый алгоритм для представления полиномов в задачах вычисления инволютивных базисов и базисов Грёбнера систем нелинейных полиномиальных уравнений [20]. Новый подход позволяет передать часть этой вычислительной задачи на GPU, что открывает перспективы решения более сложных проблем.

Найдены параметры на классе сопряженности в группе Ли $SL(n)$ и параметры на коприсоединенной орбите в пространстве $sl^*(n)$, двойственном к алгебре Ли. Таким образом, были решены задачи тривиализации слоений группы $SL(n)$ и пространства $sl^*(n)$ [21].

Проведены трехпетлевые расчеты ренормгрупповой функции γ_m , определяющей поведение эффективной массы фермионов в калибровочных теориях [22]. Использованы размерная регуляризация и схема минимальных вычитаний 't Хофта. Получены значения аномальных размерностей фермионов для квантовой хромодинамики и электродинамики.

Разработан новый универсальный символьно-численный алгоритм, который реализован как первая версия кода $O(5) \times SU(1,1)$ в Wolfram Mathematica для вычисления ортонормированного базиса коллективной модели Бора–Моттельсона и который может быть реализован в любой системе компьютерной алгебры [23]. Такой базис широко используется для расчета спектров и электромагнитных переходов в твердой, молекулярной и ядерной физике.

Разработаны алгоритмы для проверки линейризуемости нелинейных (обыкновенных) дифференциальных уравнений. Первый алгоритм основан на построении алгебры точечной симметрии Ли и вычислении производной алгебры, во втором алгоритме используется дифференциальное разложение Томаса, что позволяет не только проверять линейризуемость, но и генерировать систему нелинейных частных дифференциальных уравнений, определяющих точечное преобразование, и коэффициенты линейризованного уравнения [24].

В рамках конструктивной квантовой механики исследована задача возникновения геометрии из запутанности в сложных квантовых системах. Показано, что вторая энтропия запутанности Реньи может быть полезна при применении полиномиальной компьютерной алгебры для моделирования метрических структур в квантовых системах с геометрией [25].

С использованием свойства отрицательности функции Вигнера введена глобальная мера неклассичности пространства состояний N -уровневой системы в распределении Гильберта–Шмидта, и дается ее оценка для $N \rightarrow \infty$ [26].

Изучена зависимость глобального индикатора классичности от геометрии пространства квантовых состояний для полного семейства представлений вигнеровских квазиве-

роятностных распределений на примере ансамблей Гильберта–Шмидта, Буреша и Боголюбова–Кубо–Мори для кубитов и кутритов [27].

В рамках каналов квантовой декогеренции исследована устойчивость сцепления в двух кубитах с максимально запутанными смешанными состояниями [28].

Реализован алгоритм квантовой телепортации двухкубитных максимально запутанных

состояний Белла на разных пятикубитных квантовых процессорах. С целью уменьшения возникающих ошибок предложены несколько модификаций исходного протокола телепортации. Сравнение динамики результатов измерения выходных вероятностей, выполненных на процессоре IBM Q Yorktown, показывает прогресс в улучшении характеристик квантового оборудования IBM [29].

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

Рассмотрены две задачи распознавания изображений: определение болезней по 25 классам пяти различных культур (винограда, хлопка, пшеницы, огурцов и кукурузы — всего 935 изображений) и определение типов мхов (5 типов, 599 изображений). Предложена нейросетевая архитектура, основанная на сиамской сети с трехчленной функцией потерь, в которой используется MobileNetV2 в качестве базовой сети. Данная модель показала выдающиеся результаты по точности для обеих задач. Средняя точность при определении болезни растений составила 97,8%, при классификации мхов — 97,6% [30]. Полученные результаты демонстрируют отличный потенциал подобного подхода при решении задач распознавания изображений в условиях малой обучающей выборки.

В рамках совместного проекта ЛИТ и ЛРБ в 2020 г. на базе экосистемы ML/DL/HPC платформы HybridLIT была разработана информационная система (ИС) для задач радиацион-

ной биологии, предназначенная для хранения экспериментальных данных и анализа изменений в центральной нервной системе млекопитающих на основе молекулярных, патоморфологических и поведенческих изменений в головном мозге млекопитающих при воздействии ионизирующих излучений и других факторов (рис. 11). В разработанную систему внедрены алгоритмы обработки экспериментальных данных на основе методов машинного и глубокого обучения. В ИС входят надежные современные средства аутентификации и иерархического разграничения доступа к данным, система хранения данных, а также компоненты удобной работы и визуализации результатов анализа данных [31].

Разработана геометрическая информационная система с возможностью конфигурирования при развертывании для использования во всех экспериментах проекта NICA. Спроектированы общая объектная модель и архитектура геометрической базы данных (БД).

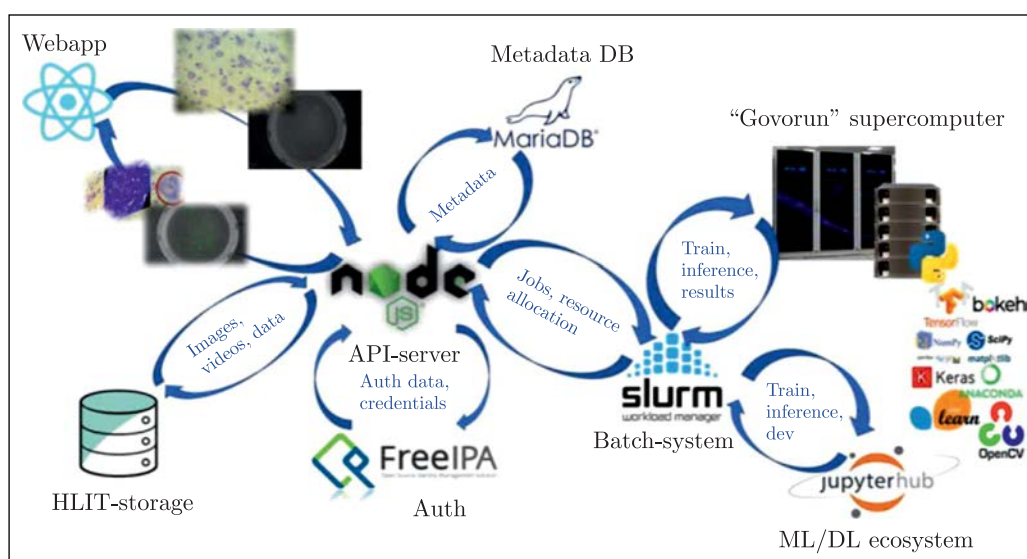


Рис. 11. Архитектура информационной системы для задач радиационной биологии

ИС включает в себя центральную (на основе СУБД PostgreSQL) и локальную (реплику на СУБД SQLite) геометрические базы данных. Центральная БД доступна на веб-сервере Apache и обеспечивает все функции, необходимые для управления геометрией детекторов. Локальная база данных, являясь частью программного обеспечения экспери-

ментов проекта NICA на базе среды ROOT, используется преимущественно для загрузки геометрии детекторов в задачах моделирования, реконструкции и физического анализа данных. Разработаны общие для всех экспериментов на NICA прикладной программный и веб-интерфейсы.

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

В рамках соглашения о сотрудничестве между ОИЯИ и DESY, совместно с партнерами проекта JOIN² (Just anOther INvenio Instance, <https://join2-wiki.gsi.de/cgi-bin/view>) в 2020 г. продолжены работы по развитию информационной системы JINR Document Server на базе программной платформы JOIN² (<https://lt-jds-join2.jinr.ru/>), в том числе загрузка и верификация библиографических записей, загрузка и обновление следующих справочников: «Проблемно-тематический план», «Персоналии», «Подразделения», «Эксперименты», «Гранты». Это позволяет связывать публикации с соответствующими источниками финансирования, экспериментами с участием ОИЯИ и т. д. Реализована авторизация пользователей на базе технологии единого входа (Single Sign-On) для сотрудников ОИЯИ [32].

В рамках международного сотрудничества исследовательской группой, в которой участвовали представители ЛИТ (О. Чулуунбаатар) и ЛТФ (Ю. В. Попов), проведено кинематически полное экспериментальное измере-

ние характеристик комптоновского рассеяния на свободных атомах с помощью высокоэффективного метода ионной импульсной спектроскопии с холодной мишенью (Cold Target Recoil Ion Momentum Spectroscopy, COLTRIMS). Теоретическое описание данного явления базируется на расчетах, проведенных на СК «Говорун» [33].

Совместно с коллегами из Польши проведено исследование пика в отношении K^+/π^+ при энергиях столкновения ~ 8 ГэВ в рамках $2 + 1$ модели Намбу–Иона–Лазинио с петлей Полякова. Параллельно рассматривались приближение среднего поля (Брейта–Вигнера) и подход Бета–Уленбека для описания взаимодействия связанных состояний в плотной и горячей среде [34]. Показано, что наилучшее соответствие с экспериментальными данными получается в случае, когда при расчетах берется неравновесный химический потенциал пионов, а отсутствие критической конечной точки на фазовой диаграмме не имеет критического влияния на положение и величину пика.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА НА УЧЕБНО-ТЕСТОВОМ ПОЛИГОНЕ

Не менее важным аспектом деятельности, в которой задействованы ресурсы платформы HUBriLIT, является образовательное направление, связанное с проведением учебных курсов для сотрудников ОИЯИ и практических занятий для студентов государственного университета «Дубна», Тверского государственного университета и др. В 2020 г. проведены в удаленном формате учебные курсы и мастер-классы для студентов из Чехии и Армении.

В 2020 г. для более чем 1000 студентов проводились практические занятия на платформе HUBriLIT по курсам «Архитектуры вычислительных систем», «Технологии высокопроизводительных вычислений», «Современные методы анализа сложных систем», «Машинное обучение и интеллектуальный

анализ данных», «Языки и технологии анализа данных», «Математический аппарат и инструментарий анализа данных» с использованием экосистемы для ML/DL/HPC, что позволяет студентам осваивать самые современные технологии разработки параллельных алгоритмов на новейших вычислительных гибридных архитектурах и инструментарий (библиотеки и фреймворки) для задач машинного и глубокого обучения [35]. Помимо этого ресурсы платформы активно использовались для подготовки ИТ-специалистов в рамках Международной школы по информационным технологиям «Аналитика больших данных» [36], студенты которой задействованы в реальных научных проектах ОИЯИ (результаты представлены в сборнике отчет-

тов научно-проектной деятельности школы: http://itschool.jinr.ru/other/Reports_ITSchool_russian.pdf). С использованием ресурсов плат-

формы HybriLIT за 2020 г. подготовлены три кандидатских диссертации и 15 магистерских диссертаций и бакалаврских работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кореньков В.В. // ЯФ. 2020. Т. 83, № 6. С. 534–538;
Korenkov V. // 2020 Intern. Sci. and Techn. Conf. “Modern Computer Network Technologies” (MoNeTeC), Moscow, 2020. P. 1–4; doi: 10.1109/MoNeTeC49726.2020.9258311.
2. Baginyan A. et al. // 2020 Intern. Sci. and Techn. Conf. “Modern Computer Network Technologies” (MoNeTeC), Moscow, 2020. P. 1–5; doi: 10.1109/MoNeTeC49726.2020.9258004.
3. Belyakov D. et al. // CEUR Workshop Proc. 2020. V. 2772. P. 1–12.
4. Кашунин И.А. и др. // Письма в ЭЧАЯ. 2020. Т. 17, № 3(228). С. 345–352.
5. Belov S.D. et al. // CEUR Workshop Proc. 2020. V. 2772. P. 52–57.
6. Ososkov G. et al. // Comp. Res. Modeling. 2020. V. 12, No. 6. P. 1361–1381.
7. Baznat M. et al. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2020. V. 17, No. 3. P. 303–324.
8. Elvira V. et al. // J. Instrum. 2020. V. 15. P. 02025.
9. Волохова А.В., Земляная Е.В., Качалов В.В., Рихвицкий В.С. // Компьютерные исслед. и моделирование. 2020. Т. 12, № 5. С. 1081–1095.
10. Zemlyanaya E.V. et al. // J. Phys.: Conf. Seri. 2020. V. 1555. P. 012017.
11. Hristov I. et al. // Discrete and Continuous Models and Appl. Comp. Science. 2020 (submitted); <https://arxiv.org/abs/2010.14993>.
12. Alvarez-Castillo D., Ayriyan A., Barnafoldi G.G., Grigorian H., Posfay P. // Eur. Phys. J. Special Topics. 2020. V. 229. P. 3615–3628; <https://doi.org/10.1140/epjst/e2020-000106-4>.
13. Ayryan E.A. et al. // Lecture Notes Comp. Science. 2020. V. 12291. P. 77–90.
14. Wen P.W. et al. // Phys. Rev. C. 2020. V. 101, No. 1. P. 014618(1)–014618(10).
15. Пузынин И.В. и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исслед. 2020. № 12. С. 78–82.
16. Kakenov M., Kukulkin V.I., Pomerantsev V.N., Bayakhmetov O. // Eur. Phys. J. A. 2020. V. 56. P. 266.
17. Chuluunbaatar O. et al. // Chem. Phys. Lett. 2020. V. 746. P. 137304.
18. Amirkhanov I.V., Sarker N.R., Sarkhadov I. // Discrete and Continuous Models and Appl. Comp. Science. 2020. V. 28, No. 4. P. 398–405.
19. Yukalov V.I., Yukalova E.P. // Phys. Rev. Res. 2020. V. 2. P. 028002-3.
20. Yanovich V.A. // Programming Comp. Software. 2020. V. 46, No. 2. P. 162–166.
21. Palii Yu. // J. Math. Sci. 2020. V. 251, No. 3. P. 405–418.
22. Tarasov O.V. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2020. V. 17. P. 109–115.
23. Deveikis A., Gusev A.A. et al. // Lecture Notes Comp. Science. 2020. V. 12291. P. 206–227.
24. Lyakhov D.A., Gerdt V.P., Michels D. // J. Symbol Comp. 2020. V. 98. P. 3–22.
25. Корняк В.В. // Программирование. 2021. Т. 47, № 2. С. 124–132.
26. Abgaryan V., Khvedelidze A., Rogojin I. // Lecture Notes Comp. Science. 2021. V. 12563. P. 244.
27. Abgaryan V., Khvedelidze A., Torosyan A. // J. Math. Sci. 2020. V. 251, No. 3. P. 301.
28. Sharma K.K., Gerdt V.P. // Intern. J. Theor. Phys. 2020. V. 59. P. 403–414.
29. Gerdt V.P., Kotkova E.A. // Commun. Comp. Information Science. 2021. V. 1337. P. 129–143.
30. Uzhinskiy A. et al. <http://arxiv.org/abs/2012.07403>. 2020.
31. CEUR Workshop Proc. 2020. V. 2743.
32. Filozova I. et al. // CEUR Workshop Proc. 2020. V. 2790. P. 142–155.
33. Kircher M. et al. // Nature Phys. 2020. V. 16. P. 756–760.
34. Blaschke D., Friesen A. et al. // Eur. Phys. J. Special Topics. 2020. V. 229. P. 3517–3536.
35. Башашин М.В., Земляная Е.В., Стрельцова О.И. Основы технологии OpenMP на кластере HybriLIT: Учеб. пособие. Дубна, 2020.
36. Кореньков В.В. и др. // Системный анализ в науке и образовании. Сетевое науч. изд. 2020. № 3. С. 1–7.



ЛАБОРАТОРИЯ РАДИАЦИОННОЙ БИОЛОГИИ

В 2020 г. в лаборатории продолжены работы по темам 04-9-1077-2009/2023 «Исследования биологического действия тяжелых заряженных частиц различных энергий» и 04-9-1112-2013/2022 «Исследование космического вещества на Земле и в ближайшем космосе, исследование биологических и геохимических особенностей ранней Земли». По результатам обсуждения на заседании исполни-

тельного комитета Международной биофизической коллаборации (Рим, INFN, 20–21 февраля 2020 г.) опубликованы [1] программы биомедицинских исследований в крупнейших мировых ускорительных центрах. В список программ коллаборации включены исследования ЛРБ по изучению механизмов воздействия радиации на центральную нервную систему.

РАДИАЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ

**Изучение структуры кластерных двуни-
тевых разрывов ДНК при действии иони-
зирующих излучений разного качества.**
В сотрудничестве с чешскими и немецкими коллегами разработан новый метод анализа тонкой структуры кластерных повреждений ДНК со сверхвысоким разрешением. Он основан на микроскопии локализации одиночных

молекул (single molecule localization microscopy). С применением данного метода изучена структура кластерных двуни-
тевых разрывов ДНК, а также проведено сравнительное исследование кинетики их репарации в нормальных (фибробласты) и опухолевых (глиобластома U87) клетках человека при действии ускоренных ионов азота ^{15}N (У-400М, ЛЯР) (рис. 1).

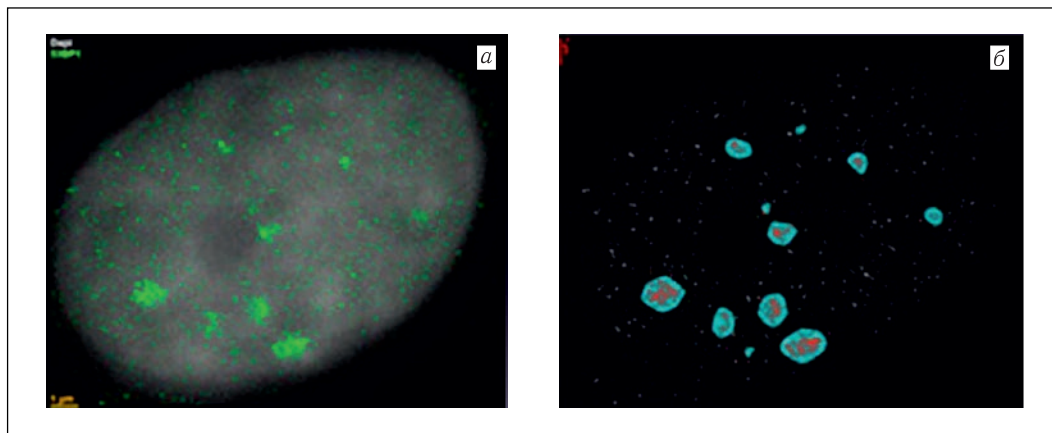


Рис. 1. Визуализация структуры кластеров репарационных белков 53BP1 в ядрах клеток глиобластомы человека U87 через 24 ч после облучения ускоренными ионами ^{15}N (энергия 13 МэВ/нуклон, доза 1,3 Гр): а) изображения в микроскопе; б) программная постобработка

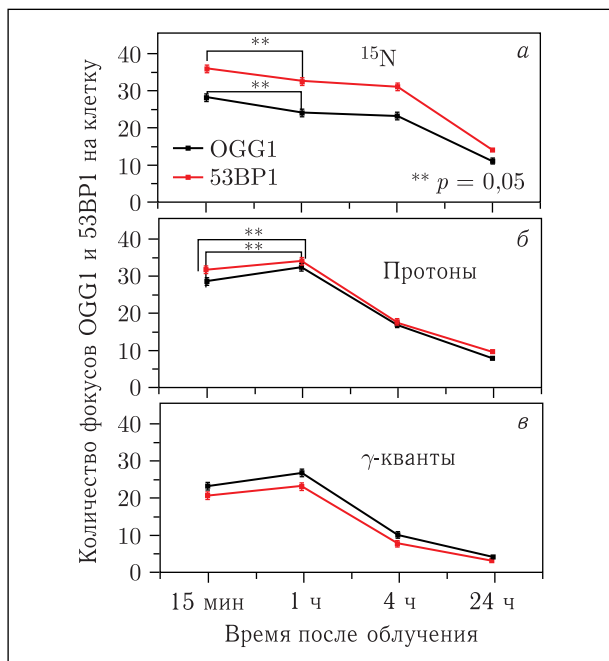


Рис. 2. Кинетика формирования и элиминации фокусов OGG1 и 53BP1 в ядрах нормальных фибробластов кожи человека при действии ускоренных ионов ^{15}N с энергией 13 МэВ/нуклон, протонов в расширенном пике Брэгга и γ -квантов ^{60}Co в дозе 1,25 Гр

Предложенный подход позволяет получить новые сведения о природе радиорезистентности ряда опухолей [2]. Впервые проведен анализ кинетики формирования, элиминации и структуры фокусов 53BP1/OGG1 в кластерах при действии ускоренных ионов азота (ЛПЭ 181 кэВ/мкм), протонов (расширенный пик Брэгга) и γ -квантов ^{60}Co (рис. 2). Использование специфичных флуоресцентных анти-

тел позволило визуализировать белки-маркеры репарации ДР ДНК (53BP1) и поврежденных оснований (OGG1). Места колокализации белков-маркеров представляют собой сайты формирования кластерных ДР ДНК, содержащих модифицированные основания. Полученные данные свидетельствуют о том, что репарация кластерного повреждения ДНК происходит комплексно, т.е. репарационные системы устраняют кластерное повреждение как единый сложносоставной комплекс, а не репарируют различные типы повреждений по отдельности, что подтверждается сходной формой кинетических кривых формирования и элиминации для фокусов 53BP1 и OGG1 [3].

Изучение закономерностей формирования и элиминации ДР ДНК в клетках первичных культур гиппокампа и мозжечка крыс при действии γ -квантов ^{60}Co , протонов и ионов ^{15}N . Выявлены и проанализированы закономерности формирования кластерных ДР ДНК в клетках головного мозга крыс на первичных культурах гиппокампа и мозжечка при действии ионизирующих излучений разного качества с использованием маркеров репарации ДР ДНК γH2AX и 53BP1 (рис. 3). Установлено, что количество радиационно-индуцированных фокусов $\gamma\text{H2AX}/53\text{BP1}$ в пострadiационный период возрастает и достигает максимальных значений через 1 ч после облучения [4].

Цитогенетический анализ повреждений хромосом в клетках млекопитающих и человека. В коллаборации с сотрудниками Щецинского университета (Польша) проведено исследование индукции и репарации разрывов

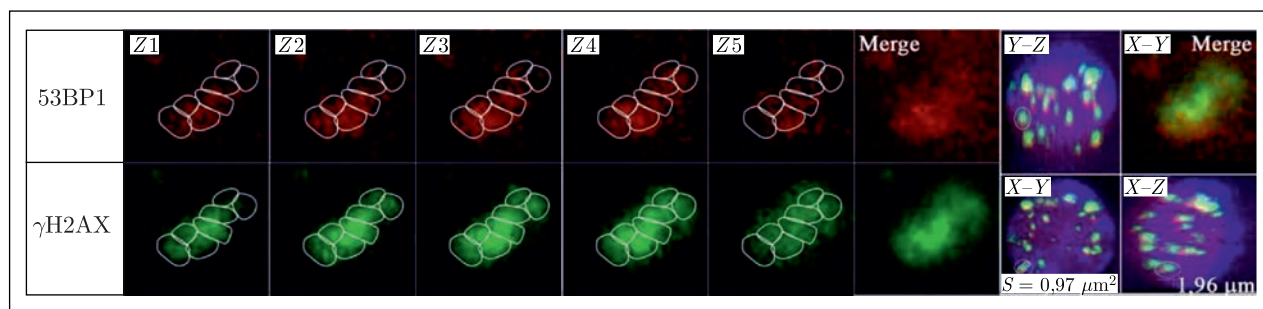


Рис. 3. Кластеризация фокусов $\gamma\text{H2AX}/53\text{BP1}$ в ядре клетки нейрональной культуры гиппокампа крыс через 1 ч после облучения протонами. На изображениях Z1–Z5 показаны индивидуальные оптические срезы в плоскостях X–Y, полученные вдоль оси Z с шагом 0,3 мкм, иллюстрирующие изменения количества индивидуальных фокусов γH2AX и 53BP1, входящих в кластер. Сложноорганизованный $\gamma\text{H2AX}/53\text{BP1}$ -кластер состоит из 7 индивидуальных фокусов γH2AX и 53BP1. На слайдах Merge продемонстрировано результирующее изображение фокусов γH2AX и 53BP1 кластера, полученное наложением фокальных плоскостей Z1–Z5. Площадь $\gamma\text{H2AX}/53\text{BP1}$ -фокуса в проекции X–Y составляет 0,97 мкм², протяженность фокуса вдоль оси Z – 1,96 мкм

хроматина методом химически индуцированной преждевременной конденсации хроматина (ПКХ) в нормальных и опухолевых клетках человека [5]. Ранее моделировали индукцию хромосомных aberrаций излучениями с разной ЛПЭ [6, 7]. Проанализированы хроматидные (ХР) и изохроматидные разрывы (ИХР) в лимфоцитах человека, находящихся в G₂-фазе клеточного цикла, сразу (t_0) и через 12 ч (t_{12}) после облучения протонами с энергией 150 МэВ и в расширенном пике Брэгга, ионами бора с энергией 22 МэВ/нуклон и γ -квантами ⁶⁰Со. Облучение проводилось на медицинском пучке фазотрона ЛЯП, в поле γ -квантов ⁶⁰Со установки «Рокус-М» ЛЯП и на циклотроне У-400М ЛЯР. Во всех случаях наблюдалась линейно-квадратичная зависимость выхода ХР от дозы, причем ионы бора значительно превосходили по эффективности фотоны и протоны (рис. 4). Показано, что распределение ПКХ-разрывов по клеткам во времена t_0 и t_{12} описывается статистикой Пуассона в случае облучения фотонами и протонами. После облучения ионами бора наблюдалась чрезмерная дисперсия; в этом случае распределение ПКХ-разрывов описывается статистикой Неймана (Neuman type A), которая пред-

ставляет собой сочетание двух независимых распределений Пуассона: вероятности попадания в ядро клетки n ионов и вероятности образования k aberrаций.

Продолжены исследования влияния редко- и плотноионизирующих излучений на приматов [8]. Проведен цитогенетический анализ хромосомных нарушений в лимфоцитах крови обезьян *Macaca mulatta* после комплексного воздействия, моделирующего условия космического полета (синхронного комбинированного действия антиортоостатической гипокинезии, длительного γ -облучения ¹³⁷Cs (ИМБП, Москва) и последующего облучения головы обезьян ионами углерода ¹²C в дозе 1 Гр (ИФВЭ, Протвино). У контрольной группы животных выявлен низкий уровень хромосомных aberrаций. Основную долю встреченных хромосомных нарушений (до 70%) составляли aberrации хроматидного типа. Количество клеток с дицентриками и центрическими кольцами, встреченных при анализе контрольных образцов, не превышало 0,3 на 100 клеток. Результаты анализа дицентриков и центрических колец показали, что через 1 сут после облучения ионами ¹²C (9-е сутки после

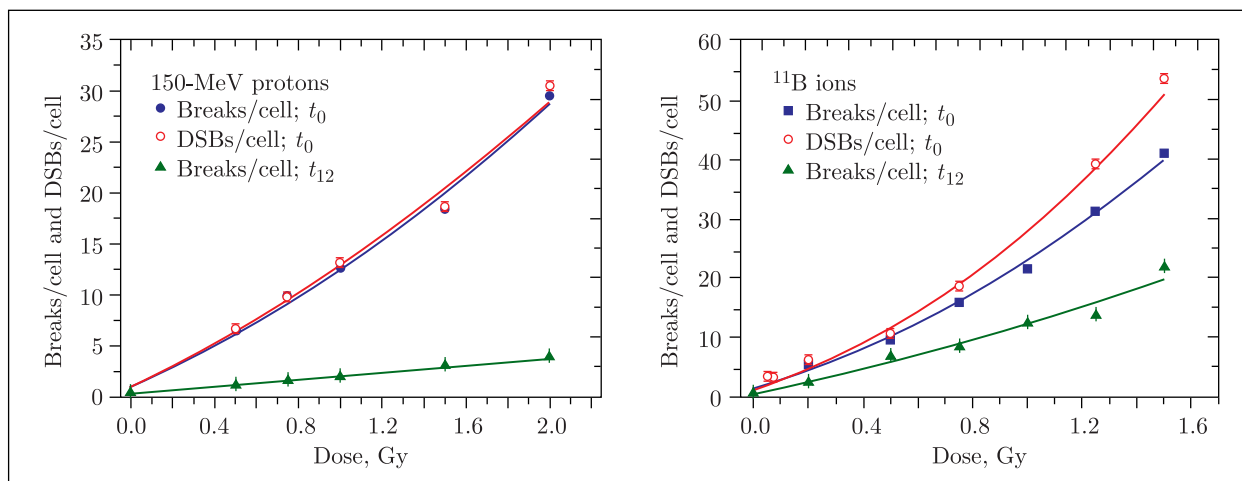
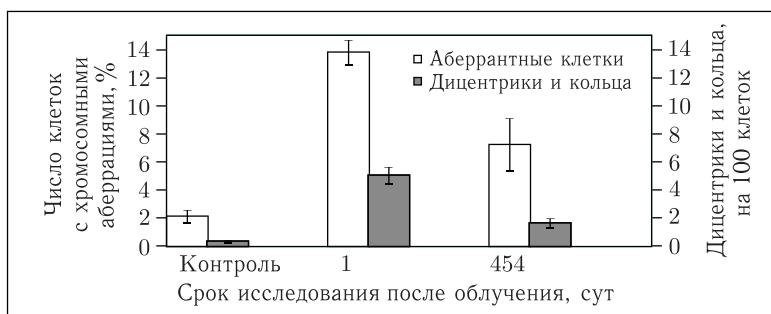


Рис. 4. ПКХ-разрывы, регистрируемые немедленно после облучения (t_0) и через 12 ч после облучения (t_{12}) протонами с энергией 150 МэВ и ионами бора с энергией 22 МэВ/нуклон. Разрывы в t_0 пересчитывали в ДР ДНК

Рис. 5. Частота выхода клеток с хромосомными нарушениями (светлые столбцы) и клеток с дицентриками и кольцами (темные столбцы) через 1 и 454 сут после прекращения курса комплексного воздействия, моделирующего условия космического полета (гипокинезия + пролонгированное воздействие γ -излучения + облучение ускоренными ионами ¹²C)



облучения ^{137}Cs) их суммарный уровень вырос в 14 раз по сравнению с контрольным уровнем. Со временем их количество снижалось и на 454-е сутки исследования все еще превышало показатели необлученной контрольной группы в 3,5 раза. Спустя 454 сут после прекращения курса комплексного воздействия общее число хромосомных нарушений снизилось, но все еще не достигло контрольных значений и превышало контрольный уровень в 3 раза (рис. 5).

Генетические эффекты, индуцированные ионизирующим излучением у модельного одноклеточного эукариотического организма (дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*.)

Исследовано распределение несинонимических мутаций, инактивирующих фермент CAN1. На спектр мутации влияют не только особенности нуклеотидной последовательности гена, но и селекция на уровне белка. Ар-

гинин пермиаза CAN1 относится к эволюционно-консервативному суперсемейству транспортеров, переносящих аминокислоты через клеточные мембраны. Несмотря на несхожесть последовательностей, они обладают схожей структурой и состоят из 12 трансмембранных спиралей (ТМ), фланкирующих гидрофильный хвост, направленный в цитоплазму.

Проведен анализ нуклеотидной последовательности 3773 мутаций Can^R , возникших спонтанно и после облучения ультрафиолетом, γ -квантами или ускоренными ионами. Часть коллекции мутаций любезно предоставлена Р. Д. Колоднером (Калифорнийский университет, США) и Д. А. Гордениным (NIHNS, США). К инаktivации фермента приводили 308 единичных несинонимических мутаций (SNPs — single nucleotide polymorphisms), вызывающих замену 154 из 590 аминокислотных остатков. Анализируемые мутации обнаруживаются как в ТМ, так и между ними [9].

РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИОЛОГИЯ И НЕЙРОХИМИЯ

Исследования морфофункциональных показателей и поведенческих реакций животных при действии ионизирующих излучений разного качества. Исследовано противолучевое действие официального препарата пираретам на поведенческие реакции и морфологические изменения в головном мозге лабораторных крыс после тотального фракционного облучения γ -квантами ^{60}Co («Рокус-М», ЛЯП). При облучении в течение 10 сут по 0,5 Гр на фракцию в суммарной дозе 5 Гр установлено, что радиационное воздействие приводит к снижению пассивно-оборонительного поведения у крыс. Данные изменения наблюдаются на фоне уменьшения площади сечения гранулярного слоя зубчатой извилины гиппокампа и увеличения числа позитивных клеток на срезах головного мозга при Fluoro Jade В окрашивании. Парентеральное введение 0,5 мл пираретама в расчете 100 г на 1 кг массы тела после каждой фракции облучения было отмечено нормализацией пассивно-оборонительного поведения животных, сохранением морфометрических показателей гранулярного слоя зубчатой извилины на уровне интактных животных и снижением нейродегенеративных изменений в ЦНС. Таким образом, пираретам можно рассматривать как перспективный препарат для купирования нарушений в ЦНС после лучевой терапии, в результате

радиационных аварий и пилотируемых космических миссий [10].

Исследования генерации активных форм кислорода и механизмов действия антиоксидантов. Продолжены исследования модифицирующего действия антиоксиданта TEMPOL на индукцию хромосомных аберраций в клетках карциномы молочной железы CAL51 в различных дозовых диапазонах γ -квантов ^{60}Co («Рокус-М», ЛЯП). Предварительная оценка выхода активных форм кислорода (АФК), который является показателем уровня окислительного стресса, выявила парадоксальный факт: TEMPOL не снижал, а увеличивал генерацию АФК в облученных клетках. Установлено, что TEMPOL снижает число аберрантных клеток при облучении дозами 1–2 Гр и увеличивает генотоксичность радиации при малых дозах порядка нескольких сантигрей. Механизм защитного действия TEMPOL при радиационном воздействии не связан с детоксификацией активных форм кислорода. Напротив, их уровень возрастает в присутствии данного модификатора. Таким образом, в облученных клетках TEMPOL сам выступает в роли оксиданта/электрофила. Обнаружено, что TEMPOL усиливает активацию белка NRF2, регулятора основного пути антиоксидантной защиты Nrf2-ARE, при

малой дозе 0,1 Гр. Однако это возрастание не сопровождается увеличением активности NQO1, находящегося под его контролем. При большой дозе 1 Гр ТЕМРОЛ не оказывает сколь-нибудь заметного влияния на экспрессию Nrf2. Предполагается, что защитный эффект ТЕМРОЛ в области больших доз может

быть обусловлен экспрессией белка NQO1, который регулирует клеточный редокс-гомеостаз и стабилизирует основные белки репарации ДНК P21 и P53. Концентрация данного белка увеличивалась в присутствии ТЕМРОЛ при дозе 1 Гр, но не при дозе 0,1 Гр.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ

Разработана биофизическая модель взаимодействия ионизирующего излучения с клеточными структурами головного мозга [11]. На основе модели показано, что облучение ионами железа с флюенсом частиц $3,2 \times 10^5 \text{ см}^{-2}$ вызывает возникновение больших локальных доз ($> 100 \text{ Гр}$) в дендритных шипиках нейронов гиппокампа, чего не достигается при воздействии заряженных частиц с низкой и средней ЛПЭ. При воздействии протонов, ионов углерода и железа с дозой 0,1 Гр предсказано повреждение 35, 268 и 524 шипиков соответственно. После облучения ионами железа в достаточно низких дозах (0,1 Гр) приблизительно в 11% клеток-предшественников и в 9% незрелых нейронов гиппокампа наблюдается по крайней мере более одного кластерного ДР ДНК, что указывает на вы-

сокую радиочувствительность этих клеточных структур.

Выполнено молекулярное моделирование фермента инозинтрифосфат пирофосфогидролазы человека (hITPA), который регулирует пул нуклеотидов и защищает клетки от повреждений ДНК. Используя программы, определяющие потенциальные сайты химических модификаций, удалось определить сайты фосфорилирования, убиквитинирования и сумоилирования [12]. Локализация их на 3D-структуре показала, что они располагаются на поверхности белка и потенциально доступны для модифицирующих ферментов. Полученные результаты позволяют планировать дальнейшую экспериментальную проверку наличия модифицированных форм и моделирование влияния химических модификаций на активность фермента.

ФИЗИКА ЗАЩИТЫ И РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведена модернизация установки «Генном», предназначенной для работы с различными биологическими образцами на циклотроне У-400М. Выполнен расчет распределений линейных передач энергии ядер в радиобиологических экспериментах на циклотроне У-400М [13]. Продолжалось проектирование радиобиологического канала, и начаты работы по проектированию симулятора космического излучения на нуклотроне ЛФВЭ. Продолжено прогнозирование радиационной обстановки и доз облучения астронавтов внутри космического корабля вне магнитосферы Земли [14, 15], а также обработка данных радиобиологических экспериментов с лабораторными животными по тематике космической радиобиологии [16, 17].

По предложению дирекции ЛФВЭ выполнены необходимые расчеты и подготовлены «Обоснование радиационной безопасности при

проектировании бустера NICA» и «Обоснование радиационной безопасности при эксплуатации комплекса NICA» [18]. Выполнены расчеты и подготовлены материалы для проекта санитарно-защитной зоны комплекса NICA по радиационному фактору (в том числе расчет годовой эффективной дозы от радиоактивных выбросов в атмосферу из коллайдера, бустера и нуклотрона и обоснование 400-м зоны вокруг нуклотрона в протонных сеансах комплекса). Произведена оценка плотности потоков нейтронов в месте расположения электроники ZDC детектора SPD.

Измерены спектры нейтронов многосферным спектрометром в двух точках на установке ИРЕН ЛНФ, выполнена градуировка спектрометра в открытой геометрии [19]. В рамках сотрудничества с Институтом космических исследований проведен сеанс на пучке протонов фазотрона ЛЯП по обработке метода меченых

протонов [20]. На стенде ДАН с радионуклидными источниками нейтронов и нейтронными

генераторами проведено тестирование приборов АДРОН с моделью планетарного грунта.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ЗЕМЛЕ И В БЛИЖАЙШЕМ КОСМОСЕ

Совместно с коллегами из Италии и Чехии исследовано формирование сложных пребиотических соединений при облучении протонами с энергией 170 МэВ простых органических соединений в присутствии вещества метеоритов как катализатора. В результате получена сложная смесь из кислородосодержащих и олигомерных производных: полигидроксипроизводные, изомерные димеры, содержащие бензофурановые и бензопирановые каркасы, производные хинонов и перилена. Предложен новый механизм, способствующий образованию и переработке нерастворимого органического вещества в метеоритах и в ходе пребиотических процессов [21].

Во время микропалеонтологического изучения метеоритов Оргей, Мурчисон, Агуас Заркас, Саттерз Милл и др. при помощи методов сканирующей электронной микроскопии на свежих сколах обнаружены разнообразные микрофоссилии (рис. 6). Выпущен первый иллюстрированный атлас микрофоссилий в метеорите Оргей [22]. Рассмотрены некоторые аспекты предбиологической эволюции (хронология формирования молекул на ранних этапах существования Вселенной), переноса жизни в космическом пространстве (теория панспермии), а также разнообразие микрофоссилий в углистых хондритах и проблема контаминации [22, 23].

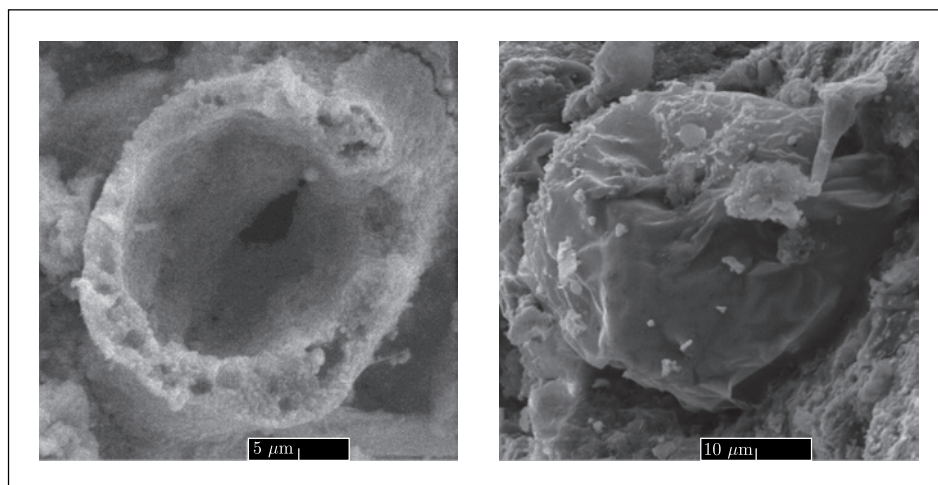


Рис. 6. Окаменелые микроорганизмы из метеорита Оргей

КОНФЕРЕНЦИИ И ОБРАЗОВАНИЕ

В течение 2020 г. сотрудники лаборатории приняли участие в 10 научных конференциях, проходивших в режиме on-line.

Продолжался учебный процесс на кафедре «Биофизика» университета «Дубна». В насто-

ящее время на кафедре обучаются 40 студентов и 7 аспирантов. 4 студента успешно закончили обучение и получили диплом магистра по направлению «Физика».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patera V., Prezado Y., Azaiez F., Battistoni G., Bettoni D., Bugay A., Cuttone G., Dauvergne D., de France G.,

Graeff C., Haberer T., Inaniwa T., Incerti S., Nasonova E., Navin A., Pullia M., Rossi S., Vandevoorde C., Durante M. Biomedical

- Research Programs at Present and Future High-Energy Particle Accelerators // *Front. Phys.* 2020. V. 8. P. 380.
2. Hausmann M., Neitzel C., Bobkova E., Nagel D., Hofmann A., Chramko T., Smirnova E., Kopečná O., Pagáčová E., Boreyko A., Krasavin E., Falkova I., Heermann D.W., Pilarczyk G., Hildenbrand G., Bestvater F., Falk M. Single Molecule Localization Microscopy Analyses of DNA-Repair Foci and Clusters Detected Along Particle Damage Tracks // *Front. Phys.* 2020. V. 8. P. 578662.
 3. Shamina D., Boreyko A., Zadneprianets M., Hramco T., Krupnova M., Kulikova E., Pavlova A., Smirnova E., Filatova A. The Complexity of Clustered DNA DSBs in Human Fibroblasts under the Action of Low and High-LET Radiation // *AIP Conf. Proc.* 2020 (in press).
 4. Храмко Т. С., Борейко А. В., Красавин Е. А., Крупнова М. Е., Павлова А. С., Смирнова Е. В., Филатова А. С., Васильев Л. А. Индукция и репарация двунитевых разрывов ДНК в клетках первичной культуры гиппокампа крыс при действии γ -квантов ^{60}Co и протонов // *Письма в ЭЧАЯ.* 2021 (направлено).
 5. Kowalska A., Nasonova E., Czernski K., Kutsalo P. Initial Radiation DNA Damage Observed in Prematurely Condensed Chromosomes of G2-Phase Human Lymphocytes and Analytical Model of Ion Tracks // *Eur. Phys. J. D.* 2020. V. 74. P. 17.
 6. Czernski K., Kowalska A., Nasonova E., Kutsalo P., Krasavin E. Modeling of Chromosome Aberration Response Functions Induced by Particle Beams with Different LET // *Radiat. Environ. Biophys.* 2020. V. 59. P. 79–87.
 7. Pereira W., Kowalska A., Czernski K., Nasonova E., Kutsalo P., Valerievich L. E. Deviation from Poisson Statistics Observed in Chromosome Aberrations Induced by ^{252}Cf Neutrons // *Acta Phys. Polon.* 2020. V. 51, No. 3. P. 881–886.
 8. Штемберг А. С., Клоц И. Н., Белыева А. Г., Блохина Т. М., Яшкина Е. И., Осипов А. Н., Базян А. С., Кудрин В. С., Перевезенцев А. А., Кошлань Н. А., Богданова Ю. В., Кошлань И. В., Тимошенко Г. Н., Лалин Б. А. Гематологические, биохимические и молекулярные эффекты облучения головы обезьян ядрами криптона высоких энергий // *Авиакосм. и экол. медицина.* 2020. Т. 54, № 1. С. 38–45.
 9. Колтовая Н. А., Жучкина Н. И., Душанов Э. Б. Распределение мутаций в молекуле белка дрожжевой аргинин пермиазы CAN1 // *Актуальные вопр. биол. физики и химии.* 2020. Т. 5, № 4. С. 644–651.
 10. Severyukhin Yu. S., Lalkovičová M., Kolesnikova I. A., Utina D. M., Lyakhova K. N., Gaevsky V. N. The Effect of Piracetam on Behavioral Reactions of Adult Rats and Morphological Changes in the Brain after Whole Body Fractionated Gamma Irradiation – an Exploratory Study // *Radiat. Environ. Biophys.* 2020. V. 60, No. 1. P. 73–86; doi: 10.1007/s00411-020-00886-3.
 11. Batmunkh M., Bayarchimeg L., Bugay A. N., Lkhagva O. Computer Simulation of Radiation Damage Mechanisms in the Structure of Brain Cells // *AIP Conf. Proc.* 2021 (in press).
 12. Колтовая Н. А. Моделирование мутантной формы инозин трифосфат пирофосфогидролазы человека P32T-ITPA и потенциальные регуляторные химические модификации фермента // *Актуальные вопр. биол. физики и химии.* 2020. Т. 5, № 4. С. 637–643.
 13. Timoshenko G. N., Gordeev I. S. Calculation of the Linear Energy Transfer Distribution in Radiobiological Experiments at the U400M Cyclotron // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2020. V. 17, No. 7. P. 951–957.
 14. Timoshenko G. N., Gordeev I. S. Simulation of Radiation Field Inside Interplanetary Spacecraft // *J. Astrophys. Astron.* 2020. V. 41. P. 5.
 15. Timoshenko G. N., Gordeev I. S. Estimation of the Astronaut's Doses Inside the Spacecraft Habitable Module in Deep Space // *Phys. Part. Nucl.* 2020. V. 51, No. 5. P. 988–993.
 16. Abdullaev S., Bulanova T., Gaziev A., Timoshenko G. Increase of mtDNA and Its Mutant Copies in Rat Brain after Exposure to 150 MeV Protons // *Molec. Biol. Rep.* 2020. V. 47, No. 6. P. 4815–4820; <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05491-7>.
 17. Ivanov A. A., Krylov A. R., Molokanov A. G., Bushmanov A. Yu., Samoylov A. S., Pavlik E. E., Mytsin G. V., Shvidky S. V., Timoshenko G. N. Modeling of Laboratory Animals Exposure Conditions behind Local Concrete Shielding Bombarded by 650-MeV Protons // *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2020. Т. 65, № 5. С. 7–86.
 18. Timoshenko G. N., Gordeev I. S. Forecasting Radiation Environment around the NICA Booster // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2020. V. 17, No. 3. P. 379–388.
 19. Тимошенко Г. Н., Крылов В. А., Павлик Е. Е. Градуировка многосферного спектрометра нейтронов в открытой геометрии. *Сообщ. ОИЯИ Р16-2020-12.* Дубна, 2020.
 20. Mitrofanov I. G. et al. Gamma Spectrometry of Composite Models of Planetary Matter at the JINR Accelerator Proton Beam using the Tagged Proton Method // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2020. V. 17, No. 3. P. 348–357.
 21. Bizzarri B. M., Manini P., Lino V., Ischia M., Kapralov M. I., Krasavin E. A., Mrazikova K., Sponer J., Sponer E., Di Mauro E., Saladino S. High-Energy Proton-Beam-Induced Polymerization/Oxygenation of Hydroxynaphthalenes on Meteorites and Nitro-

- gen Transfer from Urea: Modeling Insoluble Organic Matter? // Chem. Eur. J. 2020. V. 26. P. 14919–14928.
22. Розанов А. Ю., Хувер Р. Б., Красавин Е. А., Самылина О. С., Рюмин А. К., Капралов М. И., Сапрыкин Е. А., Афанасьева А. Н. Метеорит Оргей (атлас микрофоссилий) / Отв. ред. А. Ю. Розанов. М.: ПИН РАН, 2020. 130 с.; 5 ил., 40 фототабл. На рус. и англ. яз.
23. Розанов А. Ю., Хувер Р., Рюмин А. К., Сапрыкин Е. А., Капралов М. И., Афанасьева А. Н. Новые находки микрофоссилий в метеорите Оргей // Палеонтол. журн. 2021. № 1. С. 1–3 (в печати); doi: 10.31857/S0031031X21010116.



УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

В 2020 г. образовательная деятельность УНЦ ОИЯИ проходила преимущественно в дистанционном режиме в связи с введением мер, препятствующих распространению COVID-19 в России и в мире, а также в целях исполнения приказа ОИЯИ о приостановлении всех образовательных мероприятий.

Образовательный процесс на базе ОИЯИ. Учебный процесс для бакалавров, магистров и аспирантов базовых кафедр российских технических вузов в ОИЯИ был организован в 2020 г. в дистанционном режиме.

В 2020 г. к ОИЯИ были прикреплены 23 соискателя из Белоруссии, Вьетнама, Казахстана, России и Украины для подготовки диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук без освоения программ подготовки в аспирантуре. Из них 8 человек выбрали научный профиль «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника», 6 — «Физика атомного ядра и элементарных частиц». Распределение соискателей по лабораториям: ЛФВЭ — 8 человек, ЛЯП — 5, ЛНФ — 4, ЛЯР — 3, ЛТФ — 2, ЛИТ — 1.

Лабораторные работы, подготовленные научно-инженерной группой УНЦ для студентов и аспирантов стран-участниц, а также для школьников, доступны на сайте УНЦ (uc.jinr.ru) теперь и на английском языке.

Новая круглогодичная программа INTEREST. Временно стала невозможной очная форма участия в студенческих мероприятиях ОИЯИ — не состоялась международная студенческая практика, а участникам летней студенческой программы, чьи кандидатуры были одобрены оргкомитетом в 2020 г., предложено приехать в ОИЯИ в 2021 г.

Однако с сентября 2020 г. в УНЦ ОИЯИ запущена новая круглогодичная программа INTEREST (INTErnational REmote Student Training), которая позволяет студентам познакомиться с основными направлениями исследований Института, способствует поиску научного руководителя для квалификационной работы, а также участию в очных стажировках ОИЯИ в будущем. На каждую волну программы отводится 4–6 недель для дистанционного выполнения проектов, предложенных сотрудниками Института. К основному времени, которое отводится на выполнение выбранных проектов, добавлены лекции, а также опциональные онлайн-экскурсии, что поможет ближе познакомиться с лабораториями Института. Ведется активная работа по усовершенствованию сайта <http://interest.jinr.ru/>, поиску руководителей и пополнению базы научно-исследовательских проектов, которые могут быть реализованы в дистанционном формате.

Участниками первой волны стали 24 студента из Египта, Индии, Кубы, Польши, России, Румынии, Узбекистана, Франции и Чехии. Проекты для участников были подготовлены сотрудниками ЛТФ, ЛФВЭ, ЛЯР, ЛНФ, ЛИТ и ЛЯП.

26 студентов из Белоруссии, Бразилии, Великобритании, Египта, Индии, Китая, Мексики, Польши, России, Румынии, Узбекистана и Украины участвовали в работе второй волны программы. Среди них были студенты, ранее принимавшие участие в летней студенческой программе и международной студенческой практике. Студентам было предложено 18 проектов, на которые поступило 103 заявки от 43 человек. Правила программы разрешают повторное участие в другом проекте при условии, что тематика исследования соответ-

ствует направлению обучения студента. Этой возможностью воспользовались трое.

Третья волна программы INTEREST запланирована на февраль 2021 г.

Дистанционная образовательная программа INTEREST была представлена на очередной 19-й сессии объединенного координационного комитета ЮАР–ОИЯИ, а также на виртуальной площадке второй Российско-германской научно-образовательной виртуальной выставки, организованной осенью 2020 г. в рамках российско-германского года научно-образовательных партнерств.

Школа ОИЯИ–ЮАР в iThemba LABS.

С 9 по 30 января в iThemba LABS в работе второй школы ОИЯИ–ЮАР (SAINTS@tlabs Physics Summer School) принимали участие представители ОИЯИ. 8 сотрудников ЛТФ, ЛФВЭ, ЛЯП и УНЦ читали лекции по направлениям исследований Института и проводили мастер-классы. Школа была организована Южно-Африканским институтом ядерных технологий и наук (Southern African Institute for Nuclear Technology and Sciences). 32 студента и аспиранта из 13 южноафриканских университетов были выбраны из 66 претендентов, подавших заявки на участие в школе.

Мероприятия. Учебно-научным центром ОИЯИ проводится работа по популяризации науки посредством привлечения внимания к работе ученых, демонстрации результатов исследовательской деятельности Института.

Группа социальных коммуникаций УНЦ участвовала в подготовке и представлении ОИЯИ в различных популяризационных мероприятиях для школьников, студентов и широкой аудитории представителей разных возрастов и профессий:

- карьерном форуме «Старт карьеры» для студентов Национального исследовательского ядерного университета НИЯУ МИФИ (7–8 апреля);

- цифровой ярмарке вакансий МФТИ (4–6 июня);

- фестивале науки и техники «Geek Picnic» (27 июля; 6–8 августа);

- V летней школе «Физика. Математика. Информатика» для старшеклассников на базе университета «Дубна» (25–30 июля);

- «Наука 0+» (центральная региональная площадка г. Самары), онлайн-неделе «Физика ядра» (21–26 сентября);

- фестивале «Наука 0+» (центральная площадка г. Москвы, «Экспоцентр», 10–11 октября), онлайн-лекциях из Фундаментальной библиотеки МГУ (10–11 и 17–18 октября);

- дне карьеры МФТИ (30 октября–2 ноября);

- дне открытых дверей в университете «Дубна» (7, 8 ноября);

- карьерном форуме «Старт карьеры: осень» для студентов НИЯУ МИФИ (9–13 ноября).

Прямые включения — онлайн-экскурсии.

В связи с переводом многих мероприятий в онлайн-формат был переработан сценарий онлайн-экскурсий, запущенных УНЦ в 2019 г., чтобы создать виртуальные туры с эффектом присутствия. Из видеоматериалов, которые были сняты в лабораториях ОИЯИ, созданы видеоэкскурсии. После просмотра видеоматериалов участниками экскурсии научные сотрудники Института отвечают на вопросы аудитории в режиме реального времени.

Как и прежде, экскурсии ориентированы на учащихся школ, студентов и аспирантов, руководителей кружков и факультативов естественно-научного профиля. Это позволяет целевой аудитории не только узнать важные новости науки, но и заглянуть на установки, доступ к которым большую часть времени невозможен.

В 2020 г. была проведена работа по подготовке, съемкам и монтажу видеоэкскурсий на следующие объекты ОИЯИ:

- сектор радиационной физиологии ЛРБ;
- павильон марсианского грунта ЛРБ;
- зал сверхпроводящих магнитов ЛФВЭ;
- вычислительный центр ЛИТ;
- установку РЕГАТА ЛНФ;
- Лабораторию ядерных реакций (на английском языке).

Социальные сети. Группа социальных коммуникаций УНЦ продолжает ведение новостных потоков ОИЯИ в основных социальных сетях: ВКонтакте, Facebook, Instagram, Twitter. С целью повышения интереса к науке и увеличения информированности целевой аудитории о возможностях научной карьеры в ОИЯИ ведется молодежный информационный канал УНЦ ОИЯИ «DubniUm».

Среди значимых событий в этой сфере стоит отметить следующие: проведение в социальных сетях ретрансляции прямых эфиров недели «Физика ядра» в рамках Самарской региональной площадки XV Всероссийского фестиваля науки, ретрансляцию лекций в рамках форума «Старт карьеры: осень» НИЯУ МИФИ, краткий видеобзор работы стенда ОИЯИ на X ежегодном фестивале «Geek Picnic» и трансляцию онлайн-встречи с экскурсией (на английском языке) в Ла-

бораторию ядерных реакций для 125 участников Governor's School for the Sciences & Engineering (GSSE), которая проводится в Университете Теннесси (Ноксвилл, США).

За 2020 г. на площадках «DubniUm» силами группы социальных коммуникаций произведено и загружено 19 видеороликов.

Разработка брошюр и информационных материалов. Обновление наглядного материала об Институте всегда является актуальным. С целью популяризации фундаментальных и прикладных исследований, достижений и открытий ОИЯИ в 2020 г. были разработаны, подготовлены и выпущены:

- брошюра об ОИЯИ для студентов (на русском языке);
- баннер ОИЯИ с датами мировых открытий, сделанных в Институте;
- мотивационные видеоролики для студентов и выпускников вузов физических и инженерных специальностей о начале карьеры в ОИЯИ (на русском языке).

Разработка контента для уличного видеоэкрана. В конце года сотрудники группы социальных коммуникаций УНЦ приняли участие в разработке контента для уличного экрана ОИЯИ в составе общеинститутской группы. В итоге совместными усилиями был создан 20-минутный ролик для трансляции в новогодние праздники для аудитории города Дубны.

5-я летняя школа «Физика. Математика. Информатика». В 2020 г. с 25 по 30 июля школа проводилась в режиме онлайн. 63 школьника из Волгограда, Екатеринбурга, Краснодар, Нижнего Новгорода, Нижнего Тагила, Пензы, Уфы и еще 20 городов России прошли конкурсный отбор и приняли участие в школе.

Программа состояла из научно-популярных лекций и командной работы над проектами, темы которых были подготовлены преподавателями университета «Дубна», научными сотрудниками и инженерами ОИЯИ. Ребята решали настоящие профессиональные задачи по электронике, физике, нейронным сетям и программированию.

ОИЯИ и университет «Дубна» поддерживают одаренных школьников, которые в дальнейшем смогут обучаться по уникальным студенческим программам Международной инженерной школы и школы «Аналитика больших данных».

Сайт teachers.jinr.ru, который координирует организацию программ для учителей и школьников и которым пользуются тысячи пе-

дагогов из стран-участниц, в настоящее время приобретает современный дизайн и архитектуру. Будет структурирован обширный архив презентаций и видео, накопившихся за 10 лет работы научных школ для учителей. Это позволит упростить поиск нужных материалов и привлечет новых пользователей и участников в программы УНЦ для учителей.

IX турнир CyberDubna-2020. 14–16 февраля в Дубне проходил IX турнир по робототехнике CyberDubna-2020. В нем принимали участие около 80 учащихся 4–11-х классов, а также учащиеся учреждений СПО из Дмитрова, Долгопрудного, Дубны, Королева, Ликино-Дулево, Протвино, Пушкино, Москвы, Санкт-Петербурга, с. Ельдигино и раб. пос. Правдинский Пушкинского района Московской области.

Организаторы турнира: ОИЯИ, клуб спортивной робототехники МФТИ, Межрегиональная компьютерная школа им. В. Волокитина и Е. Ширковой (Дубна), центр информационных технологий «Цитадель» (Яхрома).

32-я компьютерная школа. В 2020 г. Международная (межрегиональная) компьютерная школа им. В. Волокитина и Е. Ширковой проводилась с 19 июля по 2 августа в режиме онлайн. В ней участвовали 23 слушателя из Дмитрова, Долгопрудного, Дубны, Москвы и 13 наставников. Первая половина дня отводилась общему обсуждению выполняемых проектов, вторая — самостоятельной работе участников. На общей итоговой конференции были представлены и обсуждены видеотчеты обо всех проведенных исследованиях.

Яндекс.Лицей. Завершен первый год обучения школьников в Яндекс.Лицее. Двадцать пять старшеклассников, успешно освоивших программу 1-го курса, переведены на 2-й курс, где они продолжают изучение языка программирования Python, обучение по программе «Основы промышленного программирования», а также реализуют самостоятельные творческие проекты. Учащиеся 8–9-х классов, успешно прошедшие вступительные испытания, приступили к занятиям на первом курсе 2020/2021 учебного года. Занятия в Дубне проводятся при поддержке ОИЯИ два раза в неделю в лицее №6 им. акад. Г. Н. Флерова. Яндекс.Лицей работает в более чем 160 городах России и Казахстана.

Межшкольный физико-математический факультатив. Межшкольным физико-математическим факультативом в 2020/2021 учебном году для школьников 10–11-х классов органи-

зованы занятия по экспериментальной физике и подготовка к сдаче ЕГЭ по физике.

Победителями и призерами XXVIII Открытой олимпиады по физике и математике для учащихся 6–7-х классов, организованной межшкольным физико-математическим факультетом в сентябре, стали школьники лицея № 6, гимназии № 11 и школы № 9.

Лекторий. 2020 г. внес много изменений в формат привычных взаимодействий, а последующий переход на дистанционную работу и вовсе переформатировал режим реализации большинства проектов. Для школьников «живой» формат чтения лекций сотрудниками ОИЯИ в рамках лектория УНЦ был дополнен форматом онлайн, что позволило расширить аудиторию и поведать о передовых научно-технических открытиях и достижениях ОИЯИ учащимся не только из России, но и из других стран. Одним из инструментов популяризации науки и достижений ОИЯИ является лекторий УНЦ для школьников «КЛАССная наука — наука в КЛАССе». Лекторий дает возможность узнать о передовых научно-технических открытиях и достижениях ОИЯИ из первых рук. В рамках данного проекта в 2020 г. около 400 школьников прослушали 8 лекций сотрудников ОИЯИ, а также лекции на научно-популярных мероприятиях и фестивалях для широкой аудитории.

Организация визитов. С января по март были организованы экскурсии для 160 школьников и студентов из Владимира, Вологды, Москвы, Тамбова, Пушкино и Зеленограда.

Подготовка специалистов и повышение квалификации. 108 сотрудников ОИЯИ обучены и аттестованы Центральной квалификационной комиссией ОИЯИ по программе «Пожарно-технический минимум для работников, выполняющих газосварочные и другие огневые работы». Организовано обучение группы ответственных за безопасное производство работ с применением подъемных сооружений (10 человек). Производственная практика в ОИЯИ была организована для 10 учащихся колледжа государственного университета «Дубна» и МОАТТ.

На онлайн-курсах иностранных языков занимались 82 сотрудника ОИЯИ: в группах английского языка — 57 человек, французского — 9, немецкого — 8, в группах русского языка — 8 иностранных специалистов.

По запросу ЛЯП разработан курс английского языка для сотрудников конструкторского отдела, работающих в международных коллаборациях ОИЯИ и ЦЕРН. Курс охватывает грамматику, письменный перевод, освоение необходимого минимума специальной технической терминологии, подготовку презентаций.

Объединенный институт развивается как крупный многоплановый международный научный центр, в котором интегрированы фундаментальные исследования в области современной ядерной физики, разработки и применения новейших технологий и университетское образование в соответствующих областях знаний.



Лаборатория теоретической физики
им. Н. Н. Боголюбова.
Лауреат стипендии Президента РФ
в 2021–2023 гг. для молодых ученых
и аспирантов — младший научный
сотрудник Е. В. Мардыбан



Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова.
Сотрудники лаборатории за обсуждением ренормгрупповых подходов в физике высоких энергий





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

Дубна, 24–26 февраля. Первое заседание комитета по анализу затрат и графика исполнения проекта «Комплекс NICA»

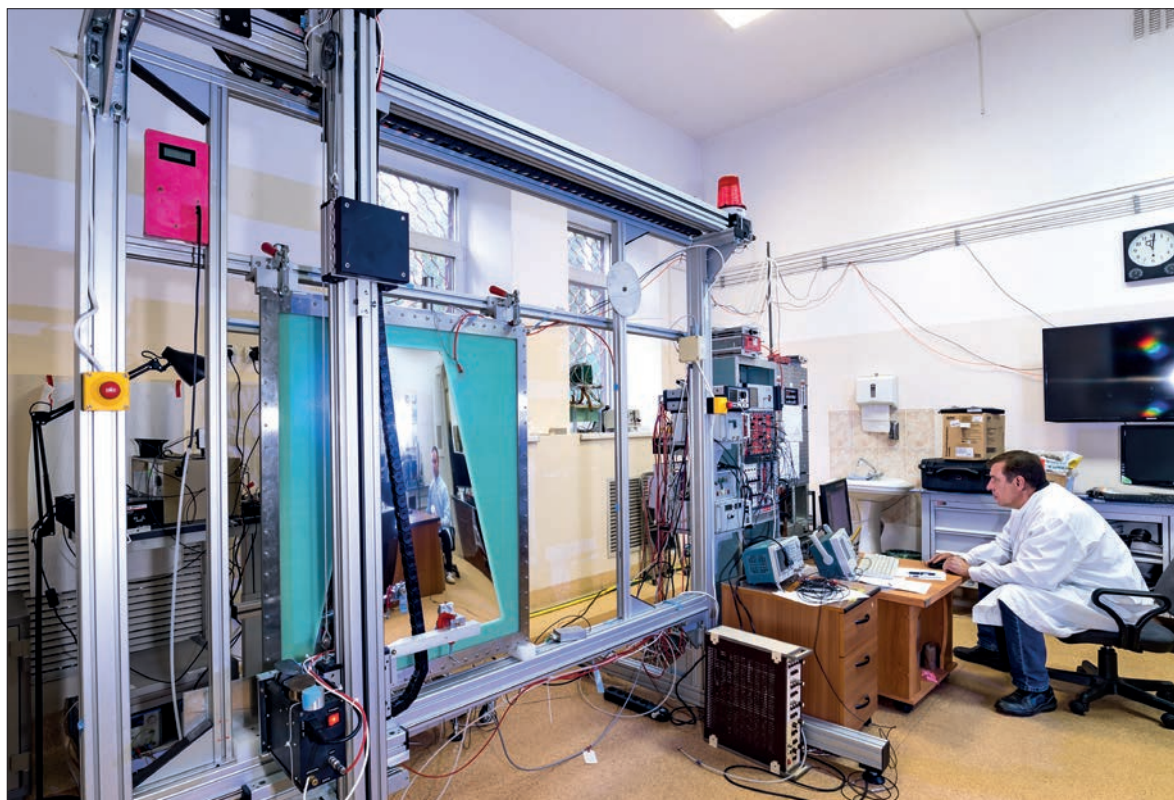




Дубна, 29 июля. 5-е заседание наблюдательного совета мегапроекта «Комплекс NICA» в формате видеоконференции

Дубна, 15 сентября. Открытие Дней SPD в Дубне в формате видеоконференции





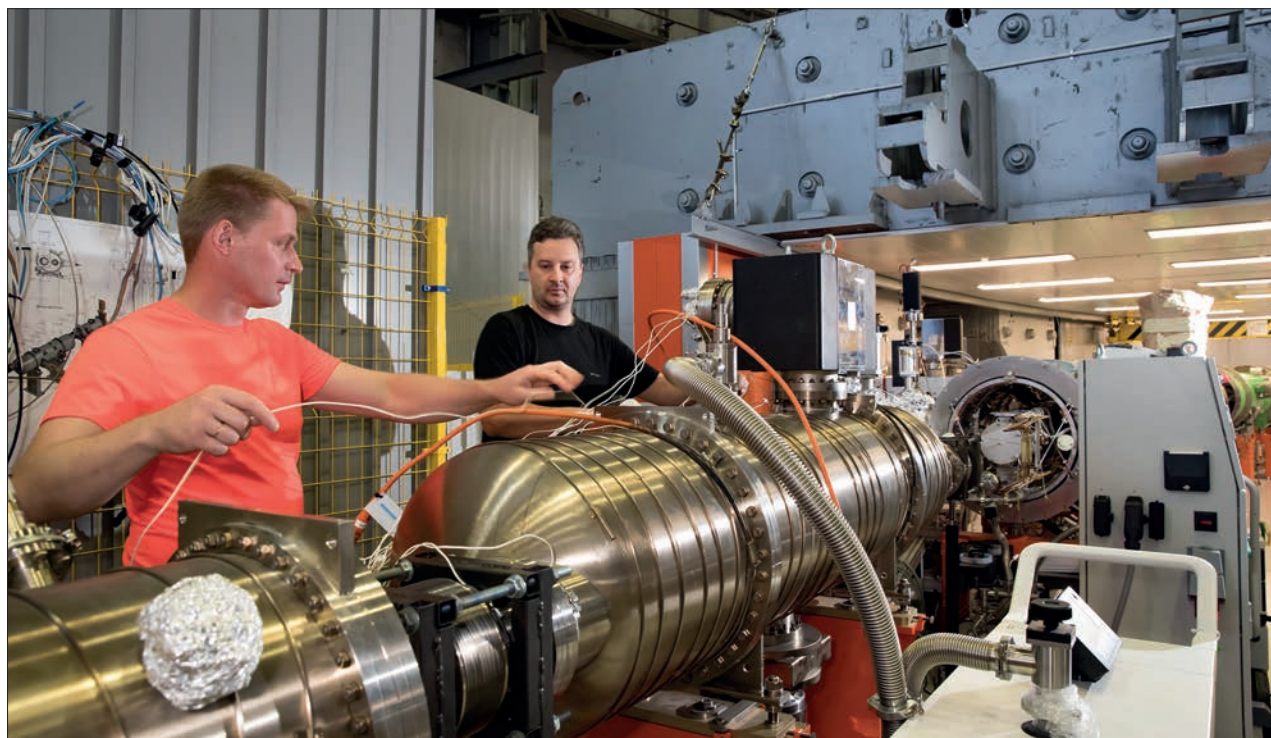
Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина. Общий вид автоматизированного стенда для тестирования времяпроекционной камеры установки МРД

Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, июль. Участники работ по монтажу магнита детектора МРД





Дубна, 6 ноября. Сверхпроводящий магнит для детектора MPD доставлен на стройплощадку проекта NICA



Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина.
Сборка электростатического септума системы инъекции пучка в бустер коллайдера NICA

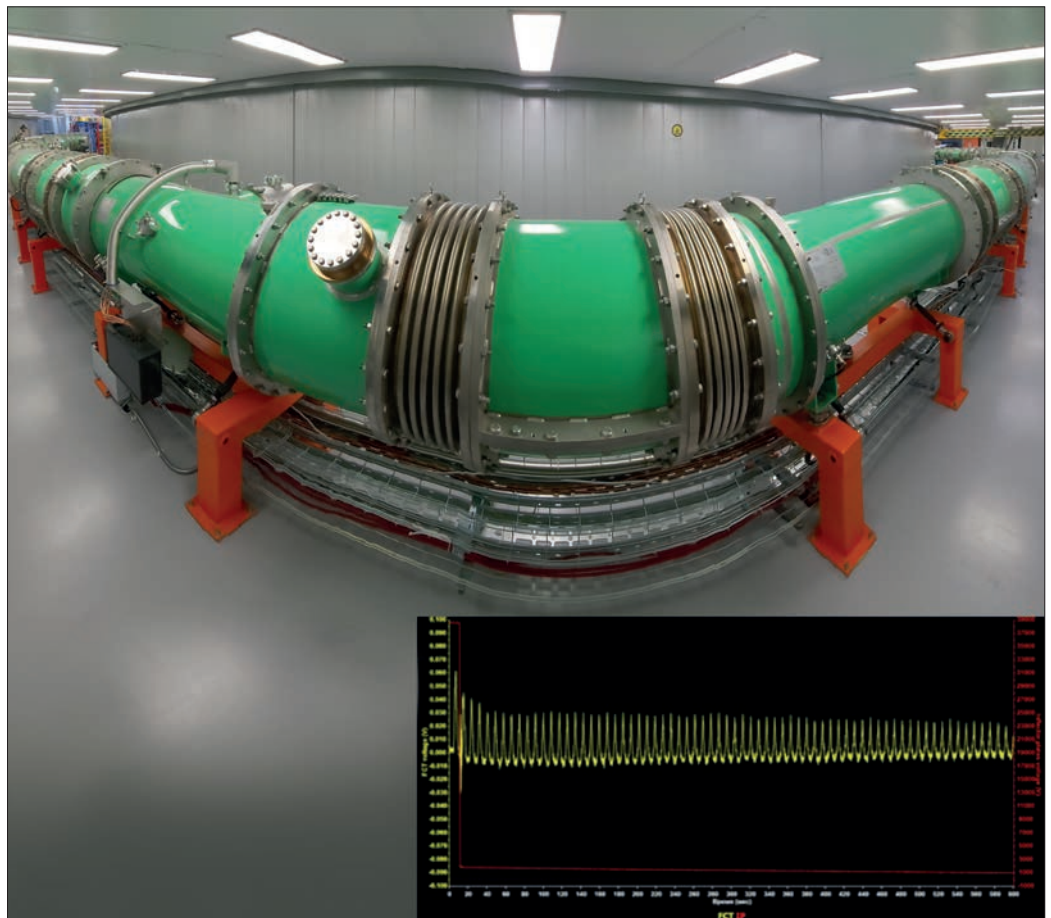
Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 30 декабря.
Часть команды ускорительного отделения в день завершения пускового сеанса бустера NICA





Лаборатория физики высоких энергий
им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 20 ноября.
Председатель Правительства РФ М. В. Мишустин
произвел технологический пуск бустера

Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина.
Бустер коллайдера NICA с диаграммой циркуляции пучка





Байкал. Монтаж центра нового, седьмого кластера телескопа «Байкал-ГВД»

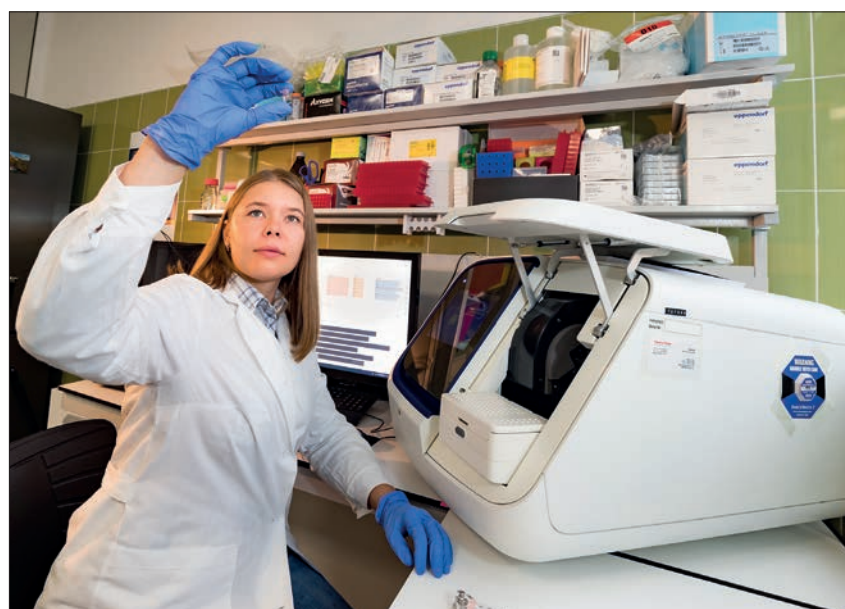
Участники экспедиции 2020 г. по созданию
глубоководного нейтринного телескопа «Байкал-ГВД» (фото Б. Шайбонова)

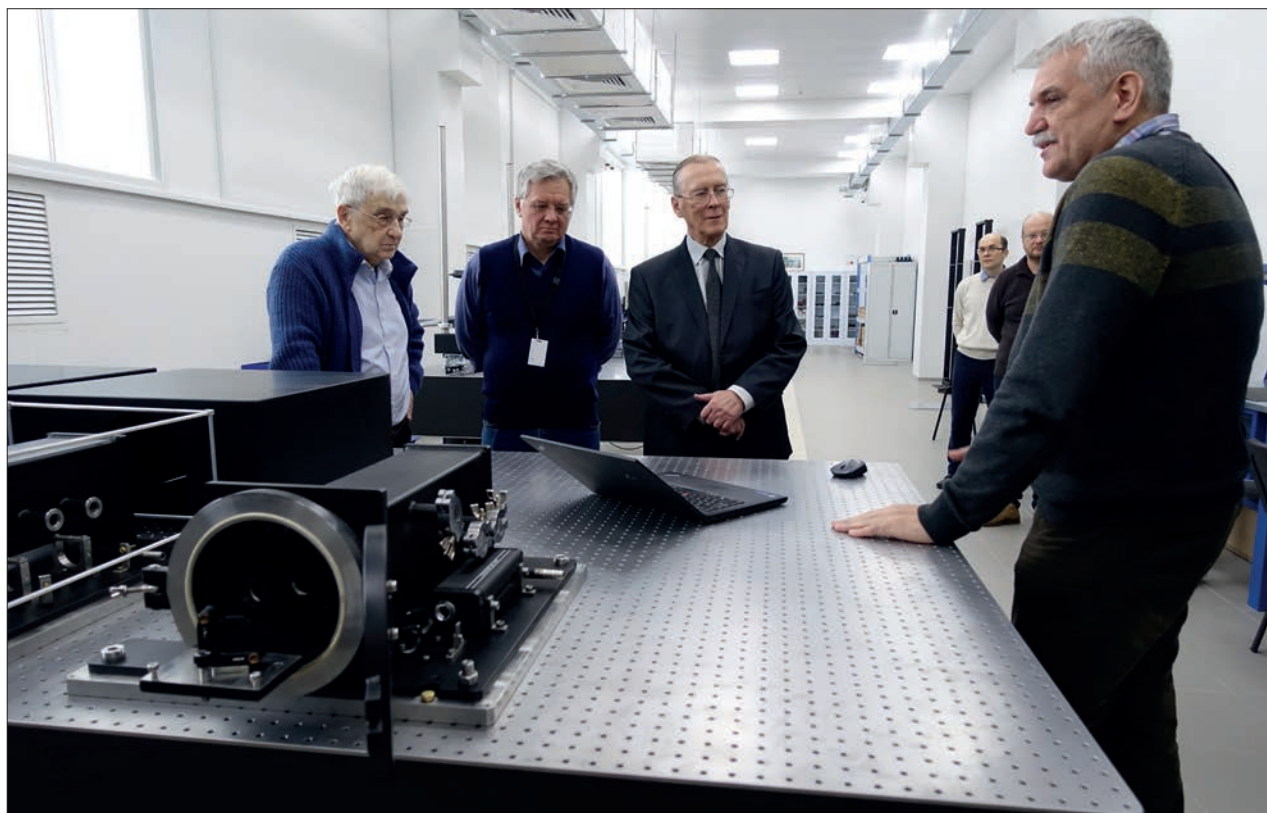




Дубна, октябрь. Фотовыставка «Байкал. Охотники за нейтрино». Автор фотографий — участник международной коллаборации «Байкал» Б. А. Шайбонов

Лаборатория ядерных проблем
им. В. П. Желепова. Постановка
реакций секвенирования для
определения последовательности
ДНК гена 16S рНК у новых
экстремофильных видов
микроорганизмов, обнаруженных
в подземном горячем источнике
Баксанской нейтринной
обсерватории





Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова. Прецизионный лазерный инклинометр (ПЛИ) — инновационный прибор для измерения наклонов земной поверхности во времени с чувствительностью $2,4 \cdot 10^{-11}$ рад/Гц^{1/2} в частотном диапазоне 10^{-3} –12,3 Гц. В настоящее время ПЛИ используется на интерферометрической гравитационной антенне VIRGO и на коллайдере LHC

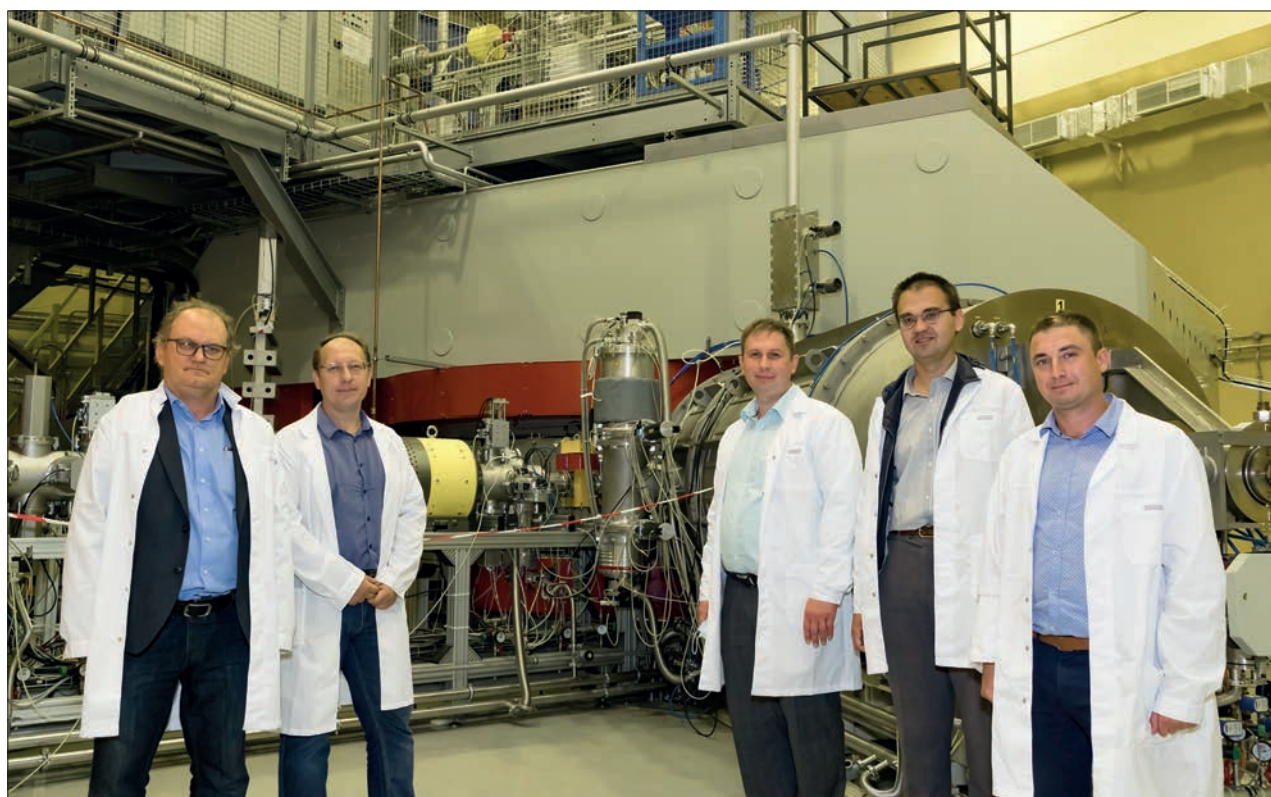
Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова.
Подготовка считывающей панели перед сборкой детектора MicroMegas для эксперимента ATLAS





Дубна, 29 января. ОИЯИ посетил председатель Президиума Дальневосточного отделения РАН академик В. И. Сергиенко. Встреча с научным руководителем ЛЯР академиком Ю. Ц. Оганесяном

Дубна, 15 июля. Проректор МФТИ и и. о. директора Физтех-школы физики и исследований им. Л. Д. Ландау А. А. Воронов (в центре) на экскурсии в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова

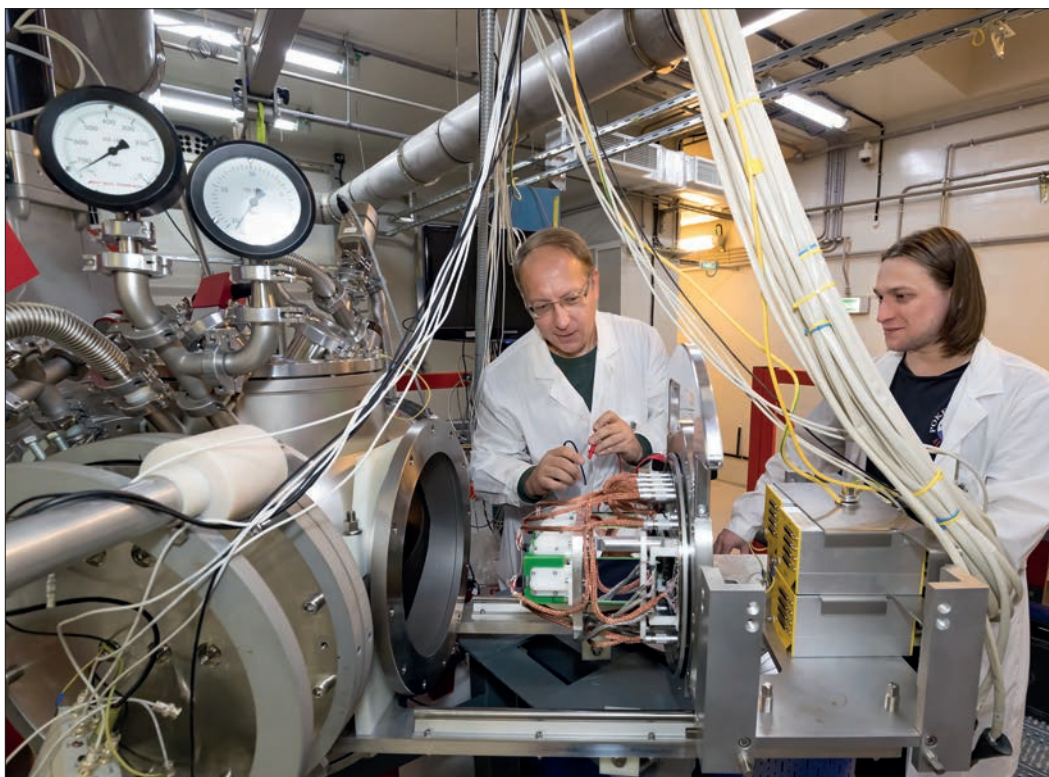




Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флорова. Научный семинар академика РАН Ю. Ц. Оганесяна

Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флорова. Электронный микроскоп Talos F200i для исследования радиационных эффектов в твердых телах и нанотехнологических приложений





Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н.Флерова. Монтаж и тестирование сборки полупроводниковых детекторов экспериментальной установки ГНС-2

Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н.Флерова.
Измерение спектров фотолуминесценции образцов кристаллов LiF и Al₂O₃ после облучения тяжелыми ионами





Памятник И. М. Франку и Ф. Л. Шапиро у административного здания
Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка



Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка, 23 июня.
Общелабораторный мемориальный семинар «60 лет пуска реактора ИБР»



Дубна, 5 февраля. Советник посольства Республики Индии в РФ доктор Ш. Шротрия (второй слева)
на экскурсии в ЛНФ в ходе визита в ОИЯИ



Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка, 21 сентября. Участники научного семинара с ведущими сотрудниками Сколковского института науки и технологий А. Огановым и Д. Семеновом

Дубна, 22–23 сентября. Визит в ОИЯИ представителей Госкорпорации «Росатом». Экскурсия в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка





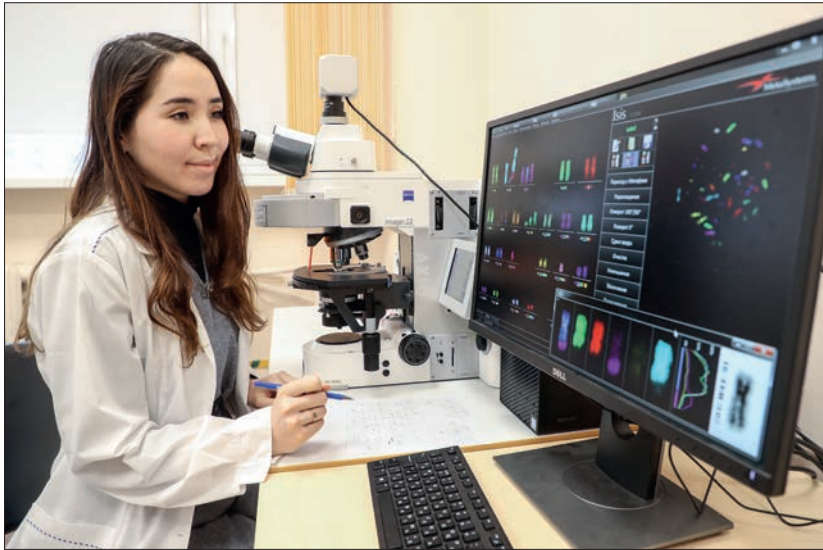
Лаборатория информационных технологий, 16 сентября. Научно-мемориальный семинар, посвященный 90-летию со дня рождения Н. Н. Говоруна



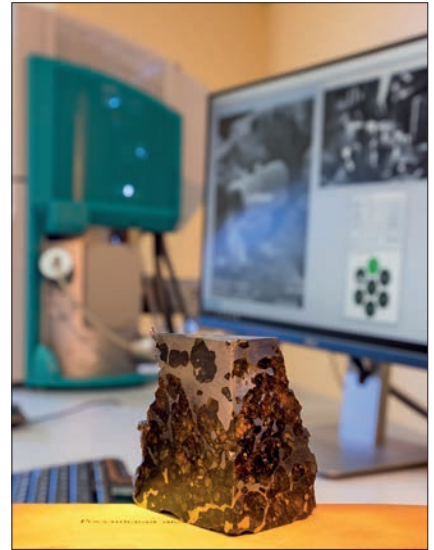
Дубна, 14 октября. Презентация в государственном университете «Дубна» аудиторий ИТ-школы для подготовки специалистов в области информационных технологий мегасайенс-проектов ОИЯИ

Лаборатория информационных технологий. Монтажные работы на суперкомпьютере «Говорун»





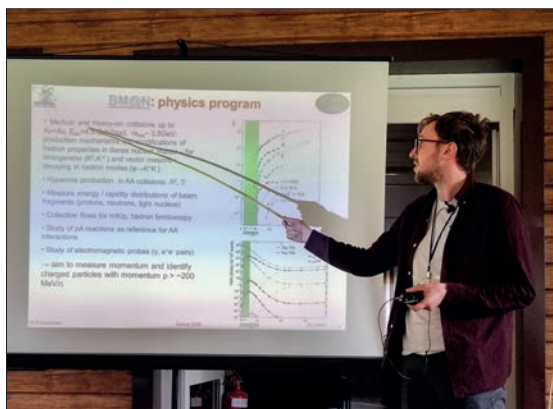
Лаборатория радиационной биологии. Анализ хромосомных aberrаций с помощью mFISH-метода



Лаборатория радиационной биологии. Стенд для исследований окаменелых микроорганизмов в метеоритах

Лаборатория радиационной биологии. Проведение гистологических исследований





Остров Липня, 24–26 июля. 24-я Летняя школа молодых ученых и специалистов («Липня-2020»)



Йоханнесбург (ЮАР), 9–30 января. Участники второй школы ОИЯИ–ЮАР

Москва, октябрь. Стенд ОИЯИ на юбилейном Всероссийском фестивале НАУКА 0+



2020

**ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ
СЛУЖБЫ**



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH



ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

В 2020 г. в издательском отделе вышло в свет 43 наименования публикаций, 35 наименований служебных материалов.

Изданы труды XXVII Международного семинара по взаимодействию нейтронов с ядрами ISINN-27 (Дубна, Россия, 4–10 июня 2019 г.), труды студенческой постерной сессии VIII Международной школы по физике нейтрино им. Б. М. Понтекорво (Синая, Румыния, 1–10 сентября 2019 г.), аннотации докладов международной конференции «Исследования конденсированных сред на реакторе ИБР-2» (Дубна, 12–16 октября 2020 г.).

Вышли из печати годовые отчеты ОИЯИ за 2019 г. (на русском и английском языках). Издан Стратегический план долгосрочного развития ОИЯИ до 2030 г. и далее на английском языке.

В 2020 г. увидели свет сборник статей «Очерки по современной физике частиц» под общей редакцией В. А. Матвеева, И. А. Голутвина, второе издание книги воспоминаний «Ф. Л. Шапиро: ученый и человек», книга «Вадим Васильевич Волков. Воин. Гражданин. Ученый» под общей редакцией Ю. Ц. Оганесяна, С. Н. Дмитриева, книга Ю. Э. Пенионжкевича, Е. М. Молчанова «Экзотические люди и ядра. ЕХОН: 30 лет истории», брошюра Ю. А. Шитова, В. Б. Бруданина, М. В. Фоминой «Удивительные превращения нейтрино».

В 2020 г. вышли из печати 6 выпусков журнала «Физика элементарных частиц и атомного ядра», включающих 125 статей. В выпуске 4 опубликованы труды Международной Боголюбовской конференции «Проблемы теоретической и математической физики» (Москва–Дубна, Россия, 9–13 сентября 2019 г.). Издано 7 номеров журнала «Письма в ЭЧАЯ», содержащих 150 статей. Вы-

пуск 4 содержит труды XIII Международного научного семинара по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти профессора В. П. Саранцева (Алушта, Крым, Россия, 3–8 сентября 2019 г.).

Продолжался выпуск информационного бюллетеня «Новости ОИЯИ» на русском и английском языках.

В 2020 г. было отпечатано 50 номеров еженедельника ОИЯИ «Дубна: наука, сотрудничество, прогресс». Начато издание серии брошюр «Библиотека еженедельника “Дубна”». Вышли в свет две брошюры: «Открытие антисигма-минус-гиперона» А. А. Кузнецова и «А. А. Тяпкин: “Сквозь железный занавес”. Из истории международного сотрудничества».

В рамках обмена научными публикациями в сотрудничающие с Институтом организации из более чем 40 стран мира рассылались издания ОИЯИ: препринты и сообщения ОИЯИ, информационный бюллетень «Новости ОИЯИ», годовые отчеты ОИЯИ, журналы «ЭЧАЯ» и «Письма в ЭЧАЯ».

В редакции журналов, на различные конференции, симпозиумы, совещания и школы, проводившиеся как в странах-участницах ОИЯИ, так и в других странах, издательским отделом направлено 62 статьи, 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.

Оперативному информированию читателей Научно-технической библиотеки о новых поступлениях служат выпускаемые издательским отделом экспресс-бюллетени НТБ. Уви-

дел свет «Библиографический указатель работ сотрудников ОИЯИ за 2019 г.». Продолжался выпуск экспресс-бюллетеней отдела лицензий и интеллектуальной собственности.

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.

По заявкам лабораторий и других подразделений ОИЯИ выполнялись переплетные работы, копирование и сканирование научно-технической и инженерно-конструктор-

ской документации. Отпечатано 118 тысяч различных бланков.

Обновлен парк полиграфического оборудования. Введена в эксплуатацию ниткошвейная машина SMYTH FX-30, использование которой позволяет добиться высокой прочности и хорошей раскрываемости выпускаемых изданий. Приобретено новое оборудование: инженерная система ROWE для сканирования, копирования и печати широкоформатных документов; фальцовщик чертежей Es-Te Fold 3000, а также монохромное и цветное МФУ формата А3.



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

В 2020 г. число читателей Научно-технической библиотеки составило 2000 человек. Действует электронная система учета выдачи и возврата литературы. Количество выданной литературы — 2700 экземпляров. На 1 января 2021 г. библиотечный фонд составил 430465 экз., из них 194686 экз. на иностранных языках.

По заявкам читателей по межбиблиотечному абонементу получено 138 изданий, выполнена 141 заявка из других библиотек. По всем источникам комплектования поступило 1640 экз. книг, периодических изданий, препринтов, диссертаций и авторефератов, 631 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 128 номеров экспресс-бюллетеней «Книги», «Статьи», «Препринты» с информацией относительно 6749 названий. Электронные версии информационных бюллетеней рассылаются по 100 адресам по e-mail. Подписаться можно в разделе «Сервисы» на сайте NTB: http://lib.jinr.ru/ntb_mail/newslist.html.

Регулярно обновлялись выставки новых поступлений книг, препринтов, периодических изданий, диссертаций и авторефератов. На них представлено 1263 издания. Организовано 5 тематических выставок.

Электронные каталоги журналов, статей, препринтов, книг, диссертаций и авторефератов доступны в интернете по адресу: <http://lib.jinr.ru:8080/OpacUnicode/>.

Общее количество обращений к электронным каталогам NTB составило 15,5 тыс. В электронном каталоге через личный кабинет читатели могут заказать необходимую литературу, а также просмотреть свои читательские

формуляры (см. сайт NTB, раздел «Электронные каталоги»).

Выпущен «Библиографический указатель работ сотрудников ОИЯИ за 2019 г.» (1554 записи). Указатель с ссылками на полные тексты публикаций доступен в интернете (см. сайт NTB, раздел «Сервисы») http://lib.jinr.ru/buk/2016/bibl_uk.php. Подготовлен 1 биобиблиографический указатель.

Отсканировано и размещено в электронном каталоге 2400 препринтов и сообщений ОИЯИ. База данных работ сотрудников ОИЯИ доступна в интернете через электронные каталоги.

Библиотека получает 109 названий периодических изданий. Благодаря тому, что NTB выписывает иностранные журналы, сотрудники Института имеют доступ к полнотекстовым электронным версиям этих журналов в интернете. Активно используется читателями «Научная электронная библиотека». Общее количество обращений к электронным версиям журналов через «Научную электронную библиотеку» и через сайты зарубежных издательств составило 150 тыс.

Благодаря Национальной электронной подписке РФФИ сотрудники ОИЯИ получили электронный доступ к журналам издательств «Ельзевир», «Wiley», «American Physical Society», «American Institute of Physics», журналам «Nature», «Science», журналам и книгам издательства «Шпрингер», к IEEE Digital Library, к мировым реферативным базам данных научных публикаций «Web of Science», «MathSciNet», «Scopus».

В рамках проекта «История ОИЯИ и г. Дубны на страницах книг, журналов и центральных газет» введено 76 новых библиографических описаний. Информационно-поисковая система «Литература об ученых ОИЯИ» (включает 959 запи-

сей) доступна для пользователей в разделе сайта НТБ «Публикации об ОИЯИ». <http://who-is-who.jinr.ru/catalog3/main.html>.

В 2020 г. в порядке обмена на публикации, выпускаемые Издательским отделом ОИЯИ, поступило 294 издания из 13 стран. Из них на долю России приходится 24, Украины — 5, Румынии — 13, Молдавии — 35, Германии — 149, Франции — 8, Японии — 19, ЦЕРН — 12.

В 2020 г. в автоматизированную информационно-библиотечную систему «Absotheque» введено: книг — 215 назв.; журналов — 1307 номеров; препринтов — 3014 назв.; диссертаций и авторефератов — 60 назв.; книжных статей — 371 назв. и журнальных статей — 6698 назв.

На 1 января 2021 г. количество библиографических описаний в АИБС «Absotheque» составило 318579 записей.

По запросам дирекции ОИЯИ выполнялись справки и составлялись статистические

таблицы по показателям публикационной активности сотрудников ОИЯИ в целом, а также совместно с учеными из других стран по данным баз данных «Web of Science», «SCOPUS», РИНЦ.

Библиометрические показатели публикационной активности сотрудников ОИЯИ за 2020 г. (по данным международной базы данных «Web of Science» на 29.01.2021):

- всего публикаций — 1 260;
- суммарное количество цитирований — 1 424;
- без самоцитирования — 1 084;
- среднее число цитирований документа — 1,13;
- индекс Хирша — 12.

Количество совместных публикаций сотрудников ОИЯИ с авторами из научных организаций других стран представлено в табл. 1–3.

Таблица 1. Совместные публикации с авторами из государств-членов ОИЯИ

Страна *	Количество публикаций
Армения	201
Азербайджан	160
Белоруссия	209
Болгария	183
Вьетнам	32
Грузия	170
Казахстан	81
Куба	46
Молдавия	21
Монголия	51
Польша	362
Румыния	222
Словакия	185
Узбекистан	28
Украина	203
Чехия	315

* В алфавитном порядке.

Таблица 2. Совместные публикации с авторами из стран — ассоциированных членов ОИЯИ

Страна *	Количество публикаций
Венгрия	243
Германия	451
Египет	122
Италия	369
Сербия	180
Южно-Африканская Республика	144

* 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	385	Израиль	91
Франция	341	Эквадор	90
Китай	315	Литва	90
Англия	308	Эстония	89
Швейцария	290	Ирландия	89
Турция	257	Малайзия	89
Бразилия	245	Латвия	88
Индия	234	Новая Зеландия	88
Австрия	224	Катар	88
Испания	220	Аргентина	79
Греция	215	Словения	78
Япония	191	Марокко	75
Тайвань	188	Шри Ланка	72
Португалия	187	ОАЭ	71
Швеция	181	Черногория	65
Австралия	175	Палестина	46
Пакистан	170	Индонезия	43
Колумбия	168	Перу	43
Нидерланды	168	Саудовская Аравия	30
Южная Корея	158	Венесуэла	10
Хорватия	152	Таджикистан	9
Финляндия	148	Алжир	3
Мексика	139	Уэльс	3
Норвегия	137	Ливан	2
Таиланд	135	Уганда	2
Дания	122	Бангладеш	1
Канада	113	Ботсвана	1
Бельгия	112	Камерун	1
Шотландия	101	Ирак	1
Иран	94	Лаос	1
Чили	93	Непал	1
Кипр	93	Северная Македония	1
		Уругвай	1

* По мере убывания числа публикаций.



ОТДЕЛ ЛИЦЕНЗИЙ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

В 2020 г. работа отдела лицензий и интеллектуальной собственности (ОЛИС) проводилась по следующим направлениям:

В области работы по защите промышленной интеллектуальной собственности. Во взаимодействии с Федеральным институтом промышленной собственности (ФИПС) Федеральной службы РФ по интеллектуальной собственности (Роспатент) велась работа по заявкам на патенты ОИЯИ, прошедшим формальную экспертизу ФИПС Роспатента в 2018–2020 гг. Проведено согласование и внесены изменения, добавления, уточнения в заявочные документы по замечаниям экспертов ФИПС. 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 подготовлены отчеты о патентных исследованиях, по 9 разработкам совместно с авторами подготовлены комплекты заявочных документов, которые поданы в Роспатент РФ для получения патентов на изобретения:

— «Газонаполненный детектор для измерения малоуглового рассеяния тепловых нейтронов», авторы: А. А. Богдзель, В. М. Милков, Ц. Ц. Пантелеев;

— «Гибридный пиксельный детектор ионизирующих излучений», авторы: Д. А. Кожевников, Г. А. Шелков, П. И. Смолянский;

— «Способ формирования равновесных траекторий частиц в циклическом ускорителе с постоянным радиусом орбиты», автор Г. В. Долбилов;

— «Магнитная система индукционного синхротрона с постоянным по времени магнитным полем», автор Г. В. Долбилов;

— «Способ прогнозирования риска заболеваний, связанных с уровнем иммуноглобулина E(IgE) в сыворотке крови человека», авторы: А. Е. Иванова, А. Н. Русакович, Е. В. Кравченко;

— «Твердотельный конденсатор-ионистор с диэлектрическим слоем, выполненным из нанопорошка диэлектрика», авторы: А. С. Дорошкевич, А. В. Шило, Т. Ю. Зеленяк, Т. Е. Константинова, А. И. Любчик, А. А. Татарина, Е. А. Гридина, Н. В. Дорошкевич;

— «Устройство для измерения углов наклона поверхности», авторы: Ю. А. Будагов, М. В. Ляблин;

— «Устройство для резонансного заряда конденсатора», авторы: С. Н. Доля, В. И. Смирнов.

В Роспатенте зарегистрированы три программы для ЭВМ:

— «Structural nanopowders analyzer based on small-angle scattering data», автор А. Ю. Незванов;

— «Система контроля криогенного замедлителя реактора ИБР-2», автор Т. Б. Петухова;

— «Программа юстировки нейтронных рефлектометров ICE», авторы: А. С. Кирилов и И. В. Гапон.

В текущем году велась поддержка 80 патентов ОИЯИ.

В области патентно-информационной работы. В 2020 г. в ОИЯИ поступило в электронном виде 36 номеров бюллетеня Роспатента «Изобретения. Полезные модели». Информация, опубликованная в этих бюллетенях, обработана с учетом тематики ОИЯИ. Результаты обработки оформлены в 12 выпусках бюллетеня ОЛИС «Патенты», рассылаемых в

подразделения Института подписчикам как в электронной, так и бумажной форме. Электронная база бюллетеней ОЛИС доступна также на сайте отдела (<https://oliis.jinr.ru/>).

Оформляются информационные листы ОЛИС о получении Институтами новых патентов и государственной регистрации объектов промышленной интеллектуальной собственности. Эта информация регулярно включается в раздел «Патенты» на интернет-сайте ОИЯИ (<http://www.jinr.ru/posts/category/patents-ru/>). Регулярно обновляется интернет-страница ОЛИС на сайте ОИЯИ.

В области стандартизации. Пополнена библиотека стандартов: приобретен 21 новый межгосударственный и государственный стандарт (ГОСТов) РФ, 12 указателей ГОСТов и информационных указателей стандартов за 2020 г.; указатели национальных стандартов, технических условий, руководящих документов, рекомендаций и правил 2020 г. На основании этих нормативных документов (НД) внесено 25 изменений в соответствующие документы фонда библиотеки стандартов и экземпляры абонентов. Выдано в подразделения

13 официальных копий стандартов в постоянное пользование.

Подразделения регулярно получали информацию о поступлениях НД и изменениях в ГОСТах.

Пополнена база данных и автоматического поиска НД, находящихся в фонде библиотеки ОЛИС. Поддерживается доступ к базе данных, содержащей около 11 600 позиций, на интернет-странице ОЛИС.

Актуализирован на дату 01.01.2021 «Перечень нормативных правовых актов и нормативных документов, используемых Объединенным институтом ядерных исследований для осуществления деятельности в области использования атомной энергии» (Перечень ОИЯИ АЭ-2017). Актуальная версия размещена на сайте ОЛИС.

Обновлены сведения о действующих в России технических регламентах, межгосударственных стандартах (ГОСТ), национальных стандартах Российской Федерации (ГОСТ Р) и иной нормативно-технической документации, действующей в Объединенном институте ядерных исследований, по состоянию на 2020 г.

2020

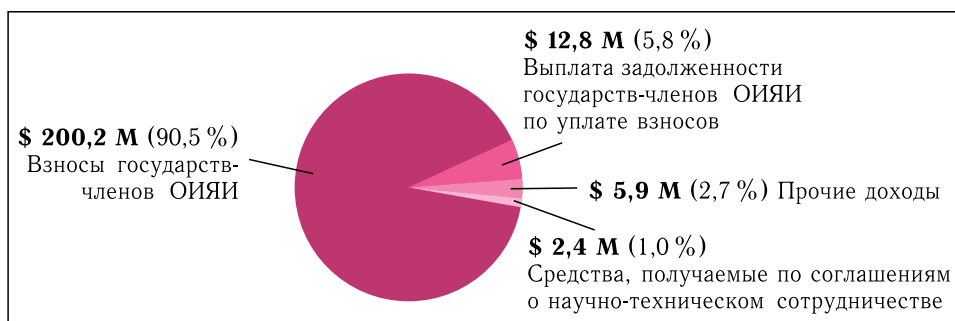
**АДМИНИСТРАТИВНО-
ХОЗЯЙСТВЕННАЯ
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**



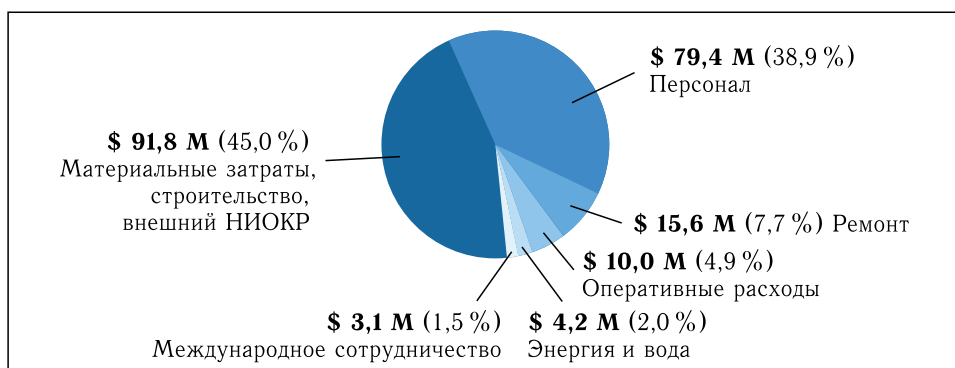
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

ФИНАНСОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Исполнение бюджета ОИЯИ на 2020 г. по доходам всего **221,3 млн долларов США**



Исполнение бюджета ОИЯИ на 2020 г. по расходам всего **204,1 млн долларов США**



Процентная шкала взносов государств-членов ОИЯИ на 2020 г.

Страна	%	Страна	%
Азербайджанская Республика	0,35	Республика Молдова	0,07
Республика Армения	0,13	Монголия	0,09
Республика Белоруссия	0,83	Республика Польша	5,01
Республика Болгария	0,80	Российская Федерация	80,86
Социалистическая Республика Вьетнам	0,99	Румыния	1,69
Грузия	0,16	Словацкая Республика	1,59
Республика Казахстан	1,51	Республика Узбекистан	0,58
Корейская Народно-Демократическая Республика	0,25	Украина	1,72
Республика Куба	0,64	Чешская Республика	2,73
		Итого	100,00



КАДРЫ

Численность персонала ОИЯИ на 1 января 2021 г. составила 5215 человек.

В ОИЯИ работают: академики РАН В. А. Матвеев, И. Н. Мешков, Ю. Ц. Оганесян, М. А. Островский, Г. В. Трубников, Б. Ю. Шарков; члены-корреспонденты РАН В. Л. Аксенов, Л. В. Григоренко, Д. И. Казаков, В. Д. Кекелидзе, Е. А. Красавин, А. А. Старобинский, Г. Д. Ширков; члены других государствен-

ных академий наук И. Звара, Г. Зиновьев, Б. С. Юлдашев, О. Чулуунбаатар; 50 профессоров, 26 доцентов, 236 докторов наук, 620 кандидатов наук.

В 2020 г. в ОИЯИ принято на работу 372 человека, уволено за этот период в связи с окончанием срока работы и по другим причинам 333 человека.

НАГРАЖДЕНИЯ

За плодотворную работу в ОИЯИ и международное сотрудничество награждены Почетной грамотой РАН — 1 сотрудник, Почетной грамотой главы городского округа Дубна —

7 сотрудников, Почетным дипломом ОИЯИ — 5 сотрудников, Почетной грамотой ОИЯИ — 7 сотрудников, одному сотруднику присуждено звание «Почетный сотрудник ОИЯИ».



Ответственный за подготовку отчета – Б. М. Старченко

Отчет подготовили:

**А. В. Андреев
Н. А. Боклагова
А. Е. Васильев
Н. А. Головков
О. Ю. Дереновская
С. Н. Доценко
Ю. Л. Золина
Е. В. Иванова
А. В. Карпов
И. В. Кошлань
С. З. Пакуляк
И. В. Титкова
Л. А. Тютюнникова
Д. М. Худоба
А. П. Чеплаков
А. Н. Шабашова
Ю. Г. Шиманская
И. Ю. Щербакова**

Художник

Ю. Г. Мешенков

В отчете использованы фотографии:

**И. А. Лапенко
Е. В. Пузыниной**

Объединенный институт ядерных исследований. 2020

Годовой отчет

2021-10

Редакторы: *М. И. Зарубина, Е. В. Сабаева*
Корректор *Е. А. Черногорова*

Подписано в печать 20.05.2021.
Формат 60×84/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 23,13. Уч.-изд. л. 24,09. Тираж 220 экз. Заказ № 60145.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.
E-mail: publish@jinr.ru
www.jinr.ru/publish/