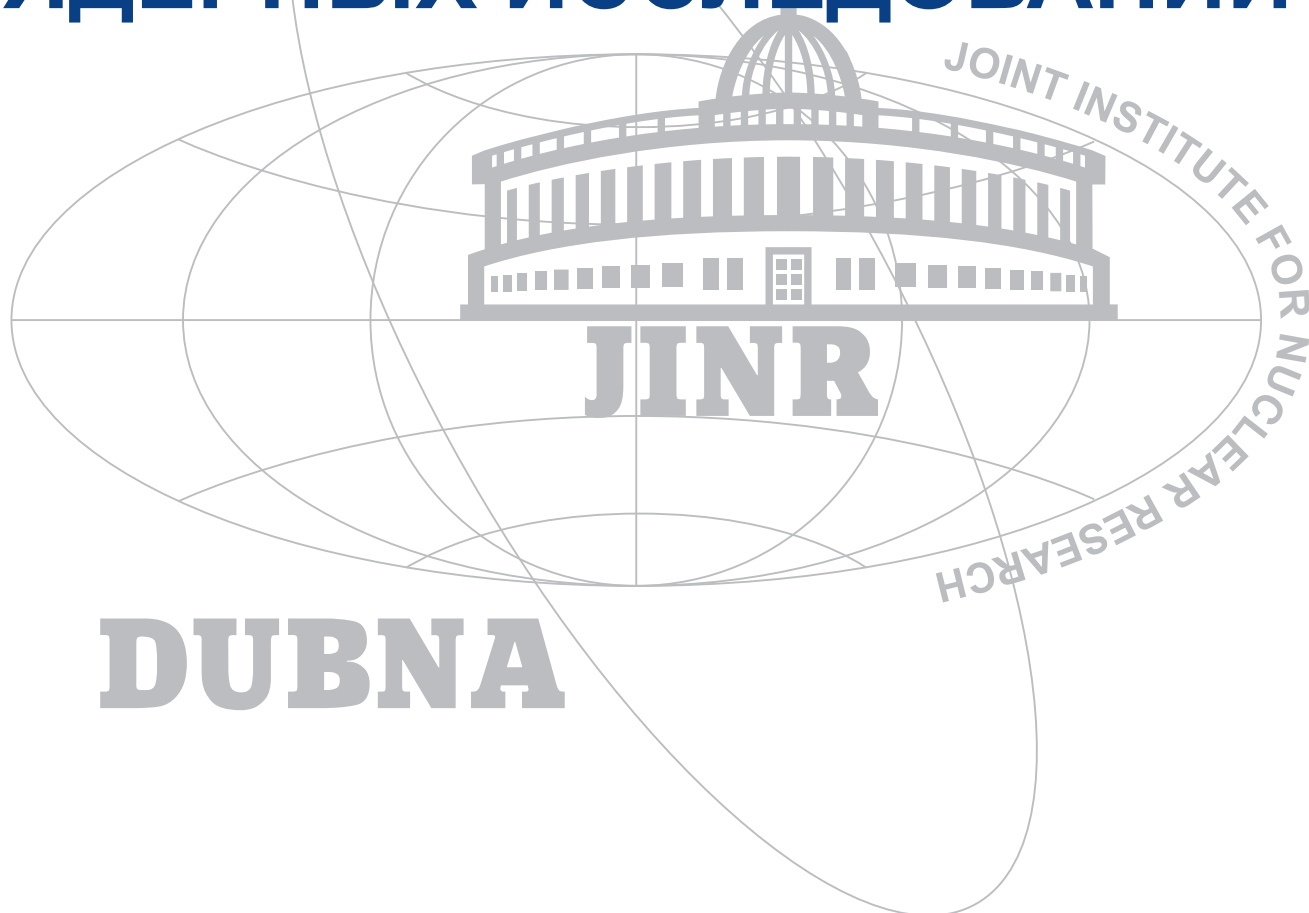


2018

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



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://www.info.jinr.ru/publish/Reports/Reports_rus.html

ISBN 978-5-9530-0513-5

© Объединенный институт ядерных исследований, 2019



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	35
МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Научно-техническое сотрудничество	39
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММЫ ОИЯИ	
Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова	79
Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ..	89
Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова	100
Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова	109
Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка	116
Лаборатория информационных технологий	125
Лаборатория радиационной биологии	139
Учебно-научный центр	163
ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ	
Издательский отдел	193
Научно-техническая библиотека	194
Отдел лицензий и интеллектуальной собственности	196
АДМИНИСТРАТИВНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	
Финансовая деятельность	201
Кадры	203



ВВЕДЕНИЕ

В 2018 г. в Объединенном институте ядерных исследований активно и планомерно осуществлялись работы по всем приоритетным направлениям Семилетней программы ОИЯИ (2017–2023 гг.), которая предусматривает реализацию заложенных в нее масштабных и амбициозных научных проектов. Вместе с тем лейтмотивом всего года стало подведение итогов 25-летнего этапа современного развития Института, отмеченного укреплением его международного статуса с учетом серьезных политико-экономических изменений в ряде стран-участниц. Именно в эти годы девизом Института стала объединяющая нас фраза «Наука сближает народы» и был дан старт новым проектам, призванным обеспечить уверенное развитие Института. Ряд государств заключили с ОИЯИ соглашения об ассоциированном членстве, что свидетельствует о росте международного научного авторитета Дубны.

Благодаря накопленному за эти годы научно-техническому потенциалу созданы основы для разработки долгосрочного стратегического плана развития ОИЯИ до 2030 г., который включает сооружение сверхпроводящего ускорительного комплекса NICA, проекты DRIBs-III и DERICA (дубненский электронный коллайдер радиоактивных ионов), супербустер «Нептун» — будущий источник нейтронов, который должен со временем заменить действующий реактор ИБР-2, создание глубоководного нейтринного телескопа «Байкал-GVD» на озере Байкал, исследовательского комплекса адронной терапии. Стратегией развития Института занимается специальная международная рабочая группа, и дирекция придает этому колоссальное значение.

В 2018 г. наши главные научные проекты вошли в перспективные международные планы развития физики частиц, фундаментальной физики, физики конденсированных сред. В частности, в сентябре в Вене был представлен стратегический отчет ESFRI по исследовательским инфраструктурам, в который включены комплекс NICA, фабрика СТЭ и реактор ИБР-2. Таким образом, Институт играет большую роль для всех стран-участниц, и в первую

очередь для России, как один из эффективных инструментов интеграции в мировую науку.

Важным этапом в реализации флагманского проекта ОИЯИ — создании комплекса коллайдера NICA стало официальное открытие международных коллабораций MPD и BM@N и проведение в Дубне двух крупных совещаний по этим экспериментам. Привлечение широкого международного научного сообщества — общепринятая мировая практика для эффективного продвижения вперед и получения ярких, интересных результатов.

Успешно проведен ускорительный сеанс на базовом элементе создаваемого комплекса NICA — сверхпроводящем синхротроне нуклотрон, на выведенных пучках ионов $^{12}\text{C}^{6+}$, $^{40}\text{Ar}^{16+}$ и $^{78}\text{Kr}^{26+}$. Впервые в мировой практике был реализован бесструктурный режим медленного вывода ускоренного пучка из сверхпроводящего синхротрона с использованием ВЧ-шума для повышения качества и равномерности растяжки. Ускорены и выведены из кольца ионы криптона с энергией 3,1 ГэВ/нуклон, продемонстрирована возможность стабильной работы нуклотрона с полем уровня 18 кГс. На установке BM@N, являющейся первой очередью комплекса NICA, проведен набор данных по физической программе «Изучение короткодействующих корреляций». В ходе сеанса записано более 200 млн событий, в том числе при тестировании новых элементов установки на пучках ионов аргона и криптона.

Цель создания в ОИЯИ первой в мире фабрики сверхтяжелых элементов — синтез новых сверхтяжелых элементов с $Z = 119$ и 120 и дальнейшее изучение свойств СТЭ, ранее открытых в ОИЯИ (^{114}Fl , ^{115}Mc , ^{116}Lv , ^{117}Ts , ^{118}Og). Это уникальнейший проект, реализация которого позволит сохранить приоритет ОИЯИ в синтезе и изучении свойств новых элементов — одним из важнейших направлений современной ядерной физики. В 2018 г. завершено создание первой очереди фабрики сверхтяжелых элементов, включая экспериментальный корпус, новый ускоритель тяжелых ионов — циклотрон ДЦ-280 (с проектной интенсивностью ионов, на по-

рядок превышающей достигнутые на действующих ускорителях в мире) и высокоэффективный газонаполненный сепаратор продуктов реакции.

Получение тестового пучка ускоренных ионов на циклотроне ДЦ-280 стало ярким показателем способности ОИЯИ добиваться успехов в решении самых сложных научно-технических проблем. Мы очень рады и тому, что Генеральная Ассамблея ООН провозгласила 2019 г. Международным годом Периодической таблицы химических элементов Д. И. Менделеева.

В работах теоретиков Института был развит новый подход к теории неперенормируемых взаимодействий. Получены обобщения уравнений ренормгруппы, позволяющие суммировать ведущие асимптотики во всех порядках теории возмущений. Найдено ультрафиолетовое поведение ряда суперсимметричных калибровочных моделей квантовой теории поля.

На озере Байкал был установлен третий кластер глубоководного полномасштабного телескопа «Байкал-GVD». В настоящее время детектор состоит из 864 оптических модулей, расположенных на 24 вертикальных гирляндах на глубине от 750 до 1250 м. В реальном времени на установке ведутся работы по поиску и анализу событий, в которых зарегистрированы нейтрино сверхвысоких энергий, приходящих не из нашей галактики. Мир с удивлением смотрит, с какой энергией ОИЯИ развивает это направление, потому что здесь наши талантливые ученые демонстрируют уникальную способность двигаться высокими темпами.

В 2018 г. на основе анализа первой части экспериментальных данных, набранных на нейтринном детекторе DANSS, получено наиболее строгое модельно-независимое ограничение на существование стерильных нейтрино. Созданный физиками ОИЯИ совместно с коллегами из ИТЭФ (Москва) и установленный на Калининской АЭС детектор исправно регистрирует около 4000 реакторных антинейтрино в сутки при фоне, не превышающем 2–3 %, — на сегодня это лучшее в мире значение.

Институт провел очень важные работы по модернизации и повышению технических характеристик парка спектрометров на импульсном реакторе ИБР-2. Сейчас он входит в число наиболее современных установок этого типа. В течение года на реакторе продолжались исследования конденсированного состояния вещества, в ходе которых в условиях воздействия высоких температур и давлений синтезирована новая перовскитная фаза простого бинарного оксида Mn_2O_3 . Проведено комплексное исследование структурных, магнитных и сегнетоэлектрических свойств данного материала. Установлено существование двух сложных модулированных антиферромагнитных фаз ($T_{N1} \approx 100$ К, $T_{N2} \approx 50$ К), и определена их магнитная структура. В фазе низкой температуры наблюдалось по-

явление спин-индуцированной спонтанной сегнетоэлектрической поляризации и магнитоэлектрический эффект.

В ОИЯИ введен в эксплуатацию уникальный суперкомпьютер «Говорун», названный в честь талантливому ученому Н. Н. Говоруна, который создавал Лабораторию информационных технологий вместе с М. Г. Мещеряковым. Это гетерогенная вычислительная платформа, содержащая как CPU вычислительные компоненты, так и ускорители вычислений GPU NVIDIA V100 (DGX) для ресурсоемких, массивно-параллельных расчетов. Суперкомпьютер занял в международном рейтинге 9-е место. Большое количество ученых из России и других стран уже работают на нем, проводят расчеты, моделируют ядерные процессы, которые экспериментально будут изучаться на коллайдере NICA.

Радиобиологами ОИЯИ разработан принципиально новый метод повышения биологической эффективности пучков протонов медицинского назначения и гамма-терапевтических установок. Подход основан на применении официального препарата, используемого в онкологической практике при лечении раковых заболеваний кроветворной системы. При введении препарата перед облучением клеток человека ионизирующими излучениями происходит трансформация одонитевых разрывов ДНК в летальные двунитевые разрывы, что обеспечивает существенное повышение биологической эффективности пучков протонов и значительно сближает области использования протонных и углеродных ускорителей для терапевтических целей.

Конечно, одной из приоритетных задач ОИЯИ как крупного международного научного центра является работа по расширению географии сотрудничества, привлечению других стран и больших международных организаций к участию в деятельности Института. Подписана дорожная карта по 10-летнему плановому сотрудничеству между Россией и Германией. Этот важный документ открывает возможности для более широкого сотрудничества ОИЯИ с институтами и специалистами Германии. Также подписана дорожная карта сотрудничества между Россией и Францией, которая предусматривает более глубокое взаимодействие ученых научных центров Франции с ОИЯИ.

Еще одно важное событие года — реализация решения правительства РФ по предоставлению Институту права самостоятельно формировать систему аттестации научных кадров, присуждать ученые степени кандидатов и докторов наук. В силу международного статуса ОИЯИ это единственная возможность создания международной системы аттестации.

В свете осуществляемых Институтом амбициозных научных проектов, рассчитанных на годы вперед, огромную важность, безусловно, имеет приток в ОИЯИ интеллектуальных ресурсов — талантли-

вой, увлеченной наукой молодежи и подготовка молодых специалистов, которые уже сейчас владели бы самыми современными, самыми новыми технологиями. В соответствии с этим положено начало развитию совместного образовательного проекта ОИЯИ и государственного университета «Дубна» — Международной инженерной школы (высшей инженерно-физической школы), целью которого является подготовка специалистов, работающих в области конструирования и эксплуатации физических установок и оборудования, используемых в решении научных, научно-прикладных задач и при разработке специальных наукоемких технологий.

В 2018 г. в Учебно-научном центре ОИЯИ прошли обучение более 400 студентов базовых кафедр МГУ, МФТИ, МИФИ, государственного университета «Дубна» и университетов государств-членов ОИЯИ. Участниками летней студенческой практики ОИЯИ стали более 200 студентов вузов Азербайджана, Белоруссии, Болгарии, Бразилии, Германии, Египта, Италии, Казахстана, Китая, Кубы, Монголии, Польши, России, Румынии, Сербии, Словакии, Узбекистана, Украины, Чехии и ЮАР. Эти программы позволяют студентам и аспирантам познакомиться с направлениями исследований в Институте и выполнить учебно-научные проекты.

Ежегодные совместные ОИЯИ–ЦЕРН школы для учителей физики из государств-членов ОИЯИ собрали более 50 учителей физики из Азербайджана, Белоруссии, Болгарии, Индии, Казахстана, Молдавии, России и Украины.

Чтобы привлечь талантливую молодежь в Институт, в наш город, необходимо создать достойные условия жизни и работы. Поэтому мы активно развиваем социальную и спортивную базу Института. В 2018 г. на стадионе ОИЯИ «Наука» были открыты модернизированная беговая дорожка, велопрокат и

обновленный спортивный корпус. Поводом для оптимизма служит и тесное, творческое взаимодействие с администрацией города, Советом депутатов.

Нельзя обойти вниманием еще одно незаурядное и долгожданное событие — завершение строительства моста через реку Волгу. Это, несомненно, большое достижение. Созданный на самом передовом технологическом уровне, мост не только дал новую возможность для соединения правобережной и левобережной частей Дубны. Он фактически явился символом дальнейшего развития наукограда Дубна.

Сейчас можно с удовлетворением отметить, что определенные Семилетним планом развития Института задачи по созданию передовой базы экспериментальных исследований в фундаментальной физике, в области конденсированных сред, в области развития и использования инновационных идей, в сфере образовательной деятельности успешно решаются, что позволяет с большим оптимизмом смотреть вперед.

Яркие достижения и результаты, полученные многонациональным коллективом Института на всех направлениях исследований, а также накопленный нами колоссальный опыт свидетельствуют о том, что международное научное сотрудничество является одной из высших ценностей современного мира. Это уникальное объединение сил, интеллекта и культуры многих народов. Хочется выразить глубокую благодарность правительству Российской Федерации, правительствам государств-членов Института, других стран, сотрудничающих с ОИЯИ, всем нашим партнерам за всестороннюю поддержку Института. ОИЯИ и далее будет активно развивать всестороннее научно-техническое сотрудничество, долгосрочное планирование, совершенствовать связи с международными и национальными научными центрами во имя развития и процветания науки.



В. А. МАТВЕЕВ, директор
Объединенного института
ядерных исследований

2018

**РУКОВОДЯЩИЕ
И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ
ОРГАНЫ ОИЯИ**





РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ОИЯИ

СЕССИИ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ

Весенняя сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ состоялась 27 марта под председательством представителя Российской Федерации Г. В. Трубникова.

Заслушав доклад директора Института В. А. Матвеева, в котором был представлен детальный обзор состояния работ по реализации высокоприоритетных проектов ОИЯИ и их места в долгосрочных международных программах фундаментальных физических исследований, КПП отметил значительное количество высококачественных физических результатов, полученных в 2017 г. учеными Института на экспериментальных установках ОИЯИ, а также на ускорителях и реакторах других центров и в различных коллаборациях, одобрил работу, направленную на развитие научно-исследовательской инфраструктуры ОИЯИ, в частности, мегапроекта NICA, фабрики сверхтяжелых элементов (СТЭ), спектрметрического комплекса ИБР-2.

КПП отметил существенное повышение уровня международной известности ОИЯИ и осведомленности о его флагманских проектах: включение мегапроекта NICA в дорожную карту ESFRI и в долгосрочный план NuPECC, включение проекта создания фабрики СТЭ в долгосрочный план NuPECC, признание ИБР-2 частью европейской нейтронной дорожной карты, перспективы включения в дорожную карту APPEC нейтринных исследовательских проектов на Калининской АЭС и на озере Байкал, которые также являются флагманскими программами.

КПП отметил рекомендации состоявшегося 2 февраля 2018 г. заседания наблюдательного совета по проекту NICA, посвященного научной программе, структуре управляющих органов, финансовому обеспечению и вопросам сооружения комплекса NICA.

КПП приветствовал намерения дирекции Института провести в ОИЯИ в апреле 2018 г. трехдневное совещание заинтересованных сторон для официального объявления о начале работы международных коллабораций MPD и BM@N.

КПП одобрил усилия дирекции Института по завершению первой фазы создания фабрики СТЭ в июле 2018 г. и проведению первых экспериментов в конце 2018 г.

КПП поддержал работу дирекции Института и Республики Польши над Соглашением о сотрудничестве в области строительства и эксплуатации лаборатории структурных исследований макромолекул и новых материалов в Национальном центре синхротронного излучения SOLARIS Ягеллонского университета с учетом результатов рассмотрения данной инициативы на сессиях ПКК по физике конденсированных сред и Ученого совета ОИЯИ.

КПП приветствовал планы Института по участию в 2019 г. в торжественных мероприятиях, посвященных Международному году Периодической таблицы химических элементов, в том числе и по линии ЮНЕСКО.

КПП с удовлетворением отметил состоявшееся 26 марта 2018 г. торжественное мероприятие, посвященное празднованию 25-летия вступления в состав ОИЯИ группы независимых государств.

КПП принял к сведению подписание письма о намерениях между ОИЯИ и правительством Французской Республики, создающего условия для вхождения Французской Республики в состав государств, участвующих в ОИЯИ на основании соглашений о сотрудничестве правительственного уровня; просил дирекцию Института представить детальную информацию о достигнутых соглашениях на следующей сессии КПП в ноябре 2018 г.

КПП одобрил усилия дирекции Института, направленные на подготовку научного и инженерно-технического персонала для крупных высокотехнологичных проектов ОИЯИ и стран-участниц Института, а также на развитие и поддержку образовательной деятельности Института в целом.

По докладу главного бухгалтера Института С. Н. Доценко «Об исполнении бюджета ОИЯИ за 2017 г.» КПП отметил сбалансированное исполнение бюджета ОИЯИ по доходам и расходам в 2017 г.

По докладу заместителя руководителя Финансово-экономического управления Института М. П. Васильева «О проекте уточненного бюджета ОИЯИ на 2018 г.» КПП утвердил уточненный бюджет ОИЯИ на 2018 г. с общей суммой доходов и расходов 268,79 млн долларов США.

КПП заслушал доклад полномочного представителя правительства Грузии в ОИЯИ А. Хведелидзе «Об итогах заседания Финансового комитета ОИЯИ от 23–24 марта 2018 г.», утвердил протокол заседания; в целях обеспечения надлежащего финансирования деятельности ОИЯИ принял решение завершить 1 января 2020 г. переходный период, предусмотренный в Финансовом протоколе к Уставу ОИЯИ; поручил дирекции Института подготовить проект порядка зачета стоимости поставок оборудования, приборов, материалов, услуг и отдельных работ по заказам Института в счет уплаты долевых взносов государств-членов ОИЯИ до 1 июня 2018 г. для рассмотрения на очередном заседании рабочей группы по финансовым вопросам, до 1 июня 2018 г. доработать и ввести в действие Положение о программах сотрудничества между ОИЯИ и научными организациями государств-членов.

КПП одобрил программу совершенствования закупочной деятельности ОИЯИ с учетом постоянного мониторинга качества обеспечения потребностей Института, эффективности договорной работы на уровне наилучших практик и возможностей поставщиков из государств-членов; поручил дирекции Института продолжить работу в соответствии с приказом по ОИЯИ «Об инициировании процесса выхода ОИЯИ из состава учредителей (акционеров) юридических лиц, ликвидации некоммерческих организаций, созданных с участием ОИЯИ», а также подготовить уточненную редакцию проекта регламента внесения корректировок в бюджет ОИЯИ и направить его в государства-члены ОИЯИ в рамках организации очередных заседаний Финансового комитета и КПП в ноябре 2018 г.

Заслушав доклад А. Хведелидзе «О предложении Финансового комитета по выбору аудиторской организации для проведения проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2017 г.», КПП утвердил ООО АК «Корсаков и Партнеры» аудитором ОИЯИ на 2017 г., а также план аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2017 г., предложенный дирекцией ОИЯИ.

С интересом заслушав доклад директора ЛИТ В. В. Коренькова «Суперкомпьютер — перспективный проект развития базовых установок ОИЯИ», а также посетив ЛИТ для участия в презентации суперкомпьютера, названного в честь Н. Н. Говоруна, КПП отметил существенный прогресс в развитии высокопроизводительных вычислений в ОИЯИ, необходимых для кардинального ускорения комплексных теоретических исследований по физике адронной материи, проводимых в ЛТФ, и создания возможностей

использования новейших вычислительных платформ для компьютеринга в проекте NICA; высоко оценил работу коллектива ЛИТ по введению в эксплуатацию суперкомпьютера «Говорун» и отметил активное участие ЛТФ в обосновании его параметров и будущей программы исследований; одобрил усилия дирекции ЛИТ по развитию информационных технологий в ОИЯИ и поддержал инициативу лаборатории по созданию единой облачной инфраструктуры со странами-участницами на базе суперкомпьютера.

По докладу заместителя директора Института Б. Ю. Шаркова «О ходе работ по разработке стратегического плана долгосрочного развития ОИЯИ» КПП принял к сведению информацию о деятельности международной рабочей группы по разработке стратегического плана долгосрочного развития ОИЯИ и поручил дирекции Института регулярно информировать КПП о ходе этой работы.

Заслушав доклад главного ученого секретаря Института А. С. Сорина «О выборах в состав Ученого совета ОИЯИ», КПП выразил благодарность членам Ученого совета ОИЯИ за успешную работу, проделанную в период 2013–2018 гг.; установил на следующий пятилетний период максимальный состав Ученого совета в количестве 50 человек; утвердил состав Ученого совета с полномочиями сроком на 5 лет по результатам открытого голосования.

Заслушав и обсудив доклад директора Института В. А. Матвеева «Об утверждении в должностях вице-директоров Института», КПП утвердил на срок до конца 2021 г. в должности вице-директора ОИЯИ профессора Р. Ледницкого, возложил на руководителя проекта NICA профессора В. Д. Кекелидзе частичное исполнение полномочий вице-директора ОИЯИ до конца 2021 г. с продолжением его работы в должности директора ЛФВЭ, полномочия по которой истекают в сентябре 2019 г., а также продлил сроком на один год данное директору Института в соответствии с решением КПП ОИЯИ от 27 марта 2017 г. право продления полномочий или возложения временного исполнения обязанностей вице-директоров Института, в том числе на иных лиц, до их официального утверждения КПП.

19–20 ноября в Бухаресте состоялась очередная сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ под председательством представителя Российской Федерации Г. В. Трубникова.

Заслушав доклад директора Института В. А. Матвеева, КПП высоко оценил усилия дирекции Института по развитию флагманских научных программ ОИЯИ, в частности:

— отметил ход работ по созданию комплекса коллайдера NICA, а также официальное открытие международных коллабораций MPD и BM@N и проведение двух коллаборационных совещаний по экспериментам MPD и BM@N, что является важным

этапом в развитии данных экспериментов и способствует привлечению широкого международного сообщества к реализации проекта NICA;

— одобрил усилия, прилагаемые для своевременного завершения строительства, лицензирования и ввода в эксплуатацию фабрики сверхтяжелых элементов, а также планы по проведению первых тестовых экспериментов;

— приветствовал меры по улучшению координации научной программы по физике нейтрино и более согласованному и эффективному выполнению приоритетных исследований в этом направлении;

— с удовлетворением отметил развитие программы исследований в области физики конденсированных сред, включающей в том числе разработку концепции нового источника нейтронов ОИЯИ взамен реактора ИБР-2 после завершения срока его эксплуатации, а также подписание соглашения о намерениях по созданию новой лаборатории структурных исследований макромолекул и новых материалов на синхротроне SOLARIS Ягеллонского университета в Кракове;

— приветствовал запуск суперкомпьютера «Говорун», занявшего видное место в международных рейтингах вычислительных систем;

— отметил успехи ОИЯИ в направлении интеграции базовых установок в ведущие мировые программы по исследовательской инфраструктуре, в частности, включение комплекса NICA, фабрики СТЭ и реактора ИБР-2 в стратегический отчет ESFRI по исследовательским инфраструктурам, представленный 11 сентября 2018 г. в Вене.

КПП поручил дирекции Института представить на сессии КПП в марте 2019 г. анализ исполнения графиков реализации мегапроекта NICA, фабрики СТЭ и проекта «Байкал», а также продолжить работу по привлечению новых партнеров, в частности GSI (Германия), в реализацию проектов и научных программ ОИЯИ и об итогах доложить на следующей сессии КПП.

С удовлетворением отметив ход выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг., КПП подчеркнул важность консолидации научной программы Института в контексте главных задач семилетнего плана, а также необходимость концентрации усилий ОИЯИ на выполнении собственных экспериментов.

КПП поручил дирекции Института подготовить план проведения мероприятий, посвященных предстоящему Международному году Периодической таблицы химических элементов, особенно в государствах-членах ОИЯИ и государствах, участвующих в работе Института на основании соглашений о научно-техническом сотрудничестве.

Комитет одобрил усилия дирекции Института, направленные на популяризацию достижений ОИЯИ и осуществление просветительской деятельности, обратив особое внимание на необходимость даль-

нейшего повышения осведомленности научной общественности государств-членов Института о флагманских программах ОИЯИ и возможностях участия в коллаборациях, формируемых вокруг крупных проектов Института.

КПП поддержал предложение дирекции Института о создании научно-инженерного совета по инновациям с участием представителей государств-членов ОИЯИ и к следующей сессии КПП в марте 2019 г. ожидает предложения по концепции инновационной политики ОИЯИ.

КПП принял к сведению, что Республика Болгария при обновлении национальной дорожной карты научно-исследовательской инфраструктуры включила в нее ОИЯИ, и рекомендовал дирекции Института поддержать усилия правительства Республики Болгарии по повышению эффективности участия болгарских ученых в исследованиях, проводимых в лабораториях ОИЯИ.

По докладу заместителя руководителя Финансово-экономического управления Института М. П. Васильева «О проекте бюджета ОИЯИ на 2019 г., о проекте взносов государств-членов ОИЯИ на 2020, 2021, 2022 гг.» КПП утвердил бюджет ОИЯИ на 2019 г. с общей суммой доходов и расходов 232 112,4 тыс. долларов США, а также разрешил директору Института в 2019 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 также утвердил шкалу взносов и размер взносов государств-членов ОИЯИ на 2019 г.

КПП определил ориентировочные размеры бюджета ОИЯИ по доходам и расходам на 2020 г. в сумме 208,53 млн долларов США, на 2021 г. в сумме 212,50 млн долларов США и на 2022 г. — 217,65 млн долларов США и ориентировочные суммы взносов государств-членов ОИЯИ на 2020, 2021 и 2022 гг.

По докладу директора ЛФВЭ В. Д. Кекелидзе и вице-директора Института Р. Ледницкого «О проекте бюджета по использованию целевых средств Российской Федерации, выделяемых в соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и международной межправительственной научно-исследовательской организацией Объединенным институтом ядерных исследований о создании и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA, на 2019 г.» КПП утвердил бюджет по использованию целевых средств Российской Федерации, выделяемых в соответствии с данным соглашением, на 2019 г. в сумме 2 311 471,1 тыс. рублей.

КПП принял к сведению информацию дирекции Института и руководства мегапроекта NICA о мерах, направленных на обеспечение эффективного использования выделяемых на сооружение комплекса NICA

РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

КОМИТЕТ ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ГОСУДАРСТВ-ЧЛЕНОВ ОИЯИ

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

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
Ц. Баатар	– Монголия	Д. Л. Надь	– Венгерская Республика
Бом Хун Ли	– Республика Корея	Н. Нешкович	– Республика Сербия
К. Борча	– Румыния	И. Повар	– Республика Молдова
М. Будзыньски	– Республика Польша	Г. Погосян	– Республика Армения
М. Валигурски	– Республика Польша	С. Поспишил	– Чешская Республика
И. Вильгельм	– Чешская Республика	Э. Рабинович	– Израиль
С. Галес	– Французская Республика	В. А. Рубаков	– Российская Федерация
А. Д. Гарсиа	– Республика Куба	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	Р. Хуухэнхуу	– Монголия
С. Я. Килин	– Республика Белоруссия	Г. 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	Не назначен	– Корейская Народно-Демократическая Республика
С. А. Маскевич	– Республика Белоруссия	Не назначен	– Республика Узбекистан
В. А. Матвеев	– Российская Федерация		
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
Вице-директор М. Г. Иткис
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: <ul style="list-style-type: none">– свойств симметрии элементарных частиц– структуры теории поля– взаимодействий элементарных частиц– теории атомного ядра– теории конденсированных состояний

Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка
Директор В. Н. Швецов
Исследования: <ul style="list-style-type: none">– ядер методами нейтронной спектроскопии– 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: <ul style="list-style-type: none">– 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: <ul style="list-style-type: none">– по обеспечению развития и функционирования компьютерно-сетевой инфраструктуры ОИЯИ– оптимальных возможностей использования международных компьютерных сетей и информационных систем– современных средств вычислительной физики, создание и развитие стандартного математического обеспечения

Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова
Директор В. А. Бедняков
Исследования: <ul style="list-style-type: none">– нейтрино и редких процессов– сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий– структуры ядер мезоатомных процессов и ядерная спектроскопия– методов ускорения частиц– прикладные, радиобиологические и медицинские

Лаборатория радиационной биологии
Директор Е. А. Красавин
Исследования: <ul style="list-style-type: none">– по радиационной генетике и радиобиологии– по фоторадиобиологии– по астробиологии– по физике защиты от излучений– математическое моделирование радиационно-индуцированных эффектов

Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова
Директор С. Н. Дмитриев
Исследования: <ul style="list-style-type: none">– 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: <ul style="list-style-type: none">– обучение студентов старших курсов вузов– аспирантура ОИЯИ– работа со школьниками– подготовка и переподготовка кадров по специальностям– проведение школ и практик по направлениям исследований ОИЯИ

Общеинститутские службы
<ul style="list-style-type: none">– общеинститутские научные и информационные отделы– административно-хозяйственные подразделения– производственные подразделения

бюджетных средств ОИЯИ и целевых средств Российской Федерации, а также на сокращение наметившегося в последний год отставания от плановых сроков сооружения объектов комплекса.

По докладу председателя Финансового комитета С. Харизановой «Об итогах заседания Финансового комитета от 16–17 ноября 2018 г.» КПП утвердил протокол заседания и регламент внесения корректировок в бюджет ОИЯИ. Комитет поручил дирекции Института подготовить уточненную редакцию проекта порядка зачета стоимости поставок оборудования, приборов, материалов, услуг и отдельных работ по заказам Института в счет уплаты долевых взносов государств-членов ОИЯИ с учетом замечаний и предложений членов рабочей группы по финансовым вопросам ОИЯИ при председателе КПП, полномочных представителей и направить его в государства-члены ОИЯИ в рамках организации заседания Финансового комитета и сессии КПП в марте 2019 г.

КПП поручил дирекции Института подготовить новую редакцию проекта Положения о научно-исследовательских и образовательных программах сотрудничества Института с научными организациями и университетами государств-членов ОИЯИ с учетом замечаний, высказанных членами рабочей группы, и ввести его в действие с 1 января 2020 г.

КПП принял решение сохранить действующую практику удержания налога на доходы физических лиц (НДФЛ) — работников ОИЯИ, являющихся гражданами государств-членов ОИЯИ, а также производить зачет удерживаемого НДФЛ с работников ОИЯИ, являющихся гражданами государств-членов ОИЯИ, по которым КПП принял решение о приостановлении членства в ОИЯИ, в счет уменьшения задолженности соответствующего государства с целью применения единого подхода.

КПП поручил дирекции Института до 1 марта 2019 г. подготовить и направить полномочным представителям проекты уточненных нормативных документов, регламентирующих закупочную деятельность ОИЯИ.

По докладу директора аудиторской компании «Корсаков и Партнеры» Д. А. Корсакова «Об итогах проведения аудиторской проверки финансовой деятельности Института за 2017 г. и анализе исполнения

дирекцией Института плана мероприятий по итогам проведения аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2016 г.» КПП принял к сведению аудиторское заключение по итогам проведения аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2017 г., утвердил бухгалтерский отчет ОИЯИ за 2017 г., а также форму акта о средствах, поступивших в счет оплаты долевого взноса в бюджет ОИЯИ от государства-члена ОИЯИ.

По информации главного ученого секретаря Института А. С. Сорина «Об изменениях в составе Ученого совета ОИЯИ» КПП принял к сведению включение в состав Ученого совета ОИЯИ Б. В. Гринева (Государственный фонд фундаментальных исследований Украины, Киев, Украина) и Г. Лаврелашвили (Институт математики им. А. Размадзе, ТГУ, Тбилиси, Грузия).

Заслушав доклад заместителя руководителя Управления научно-организационной работы и международного сотрудничества Д. В. Каманина «О статусе соглашений с ассоциированными государствами, подготовке соглашений с Францией и другими государствами», КПП одобрил усилия дирекции Института по повышению статуса Арабской Республики Египет, Республики Сербии, Южно-Африканской Республики в ОИЯИ до полноправных государств-членов, а также проводимую работу по подготовке к заключению соглашения о сотрудничестве с правительством Французской Республики. КПП принял во внимание задержку продления договора о сотрудничестве с правительством Федеративной Республики Германии, успехи дирекции Института по развитию кооперации с Итальянской Республикой, методическую работу по восстановлению статуса Венгрии в ОИЯИ, предпринимаемые усилия по привлечению Индии, Бразилии и других государств в ОИЯИ.

КПП с интересом заслушал доклад директора ЛИТ В. В. Коренькова «Основные тренды, вызовы и перспективы развития информационных технологий».

КПП поддержал предложение полномочного представителя правительства Республики Польши М. Валигурского назвать одну из аллей площадки ЛЯП в честь академика А. Хрынкевича.

СЕССИИ УЧЕНОГО СОВЕТА ОИЯИ

22–23 февраля состоялась 123-я сессия Ученого совета ОИЯИ под председательством директора Института В. А. Матвеева и профессора Института ядерной физики им. Г. Неводничанского и Центра онкологии М. Валигурского (Краков, Польша).

В. А. Матвеев сделал подробный доклад, в котором были отражены последние важнейшие события в деятельности Института в контексте мировой фунда-

ментальной ядерно-физической науки, представлены решения сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ (ноябрь 2017 г.), результаты выполнения научной программы ОИЯИ в первом году нового семилетнего плана, главные события в международном сотрудничестве Института, а также затронуты некоторые организационные вопросы.

Ученый совет заслушал доклады «SOLCRYS — новая лаборатория для структурных исследований на

польском синхротроне SOLARIS: предлагаемая концепция» и «Взаимодополняемость рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей от синхротронов, потенциал синергии между ИБР-2 и SOLARIS», представленные директором SOLARIS М. Станкевичем и директором ЛНФ В. Н. Швецовым.

Ученый совет также заслушал доклад «Статус и перспективы развития Лаборатории информационных технологий», представленный директором ЛИТ В. В. Кореньковым.

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

Ученый совет заслушал доклады, посвященные деятельности Европейского комитета по сотрудничеству в области ядерной физики (NuPECC) и его долгосрочному плану «Перспективы в ядерной физике», представленные предыдущим и действующим председателями этого комитета А. Бракко (Италия) и М. Левитовичем (Франция), а также лучшие научные доклады молодых ученых, рекомендованные ПКК.

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

На сессии состоялись выборы на должности директоров ЛНФ и ЛИТ, а также утверждение в должностях заместителей директора ЛТФ.

Были объявлены вакансии на должности в дирекциях лабораторий ОИЯИ.

Общие положения резолюции. Заслушав доклад директора ОИЯИ В. А. Матвеева, Ученый совет высоко оценил большое количество высококачественных физических результатов, полученных в 2017 г. учеными ОИЯИ на экспериментальных установках Института, а также на ускорителях и реакторах других центров и в различных коллаборациях.

Ученый совет отметил успешное развитие научно-исследовательской инфраструктуры ОИЯИ, в частности, мегапроекта NICA, фабрики сверхтяжелых элементов, спектрометрического комплекса реактора ИБР-2, одобрив усилия дирекции и коллектива ОИЯИ по достижению важных этапов создания и совершенствования этих установок.

Ученый совет также с удовлетворением отметил существенный рост уровня международной осведомленности об ОИЯИ и о его флагманских проектах. Проект NICA уже включен в дорожную карту ESFRI и в долгосрочный план NuPECC, и необходимо приложить все усилия, чтобы он стал частью европейской стратегии по физике частиц. Синтез сверхтяжелых элементов ОИЯИ является ведущей программой в мире. ИБР-2 признан частью европейской нейтронной дорожной карты. Нейтринные исследовательские проекты на Калининской АЭС и на озере

Байкал также являются флагманскими программами и должны быть в дорожной карте APPECS. Ученый совет поддержал эту тенденцию, высоко оценив внимание дирекции ОИЯИ к рекомендациям Ученого совета относительно интеграции этих установок в европейскую и мировую научно-исследовательскую инфраструктуру.

Ученый совет отметил рекомендации состоявшегося 2 февраля 2018 г. заседания наблюдательного совета по проекту NICA на ближайшие несколько лет по структуре управляющих органов, финансовому обеспечению, научной программе и по вопросам сооружения комплекса NICA.

Ученый совет ожидает завершения первой фазы, предусматривающей строительство фабрики СТЭ, и проведения первых экспериментов в октябре-ноябре 2018 г. согласно представленному на предыдущей сессии Ученого совета плану-графику выполнения работ.

Ученый совет отметил проведение 9–12 октября 2017 г. в ОИЯИ 10-го заседания группы старших должностных лиц Глобальной сети исследовательских инфраструктур, подчеркнув важность ознакомления участников этого совещания с наиболее крупными объектами научной инфраструктуры Института.

Ученый совет одобрил решение Генеральной Ассамблеи ООН объявить 2019 г. Международным годом Периодической таблицы химических элементов и ожидает активного участия ОИЯИ, внесшего выдающийся вклад в открытие новых сверхтяжелых элементов, в этих торжествах, в том числе по линии ЮНЕСКО.

Ученый совет одобрил работу, проводимую дирекцией ОИЯИ, по разработке Кодекса профессиональной этики сотрудников ОИЯИ и Положения о реализации права ОИЯИ самостоятельно присуждать ученые степени и выдавать соответствующие дипломы.

Сотрудничество с Национальным центром синхротронного излучения SOLARIS Ягеллонского университета в Кракове (Польша). Заслушав доклады «SOLCRYS — новая лаборатория для структурных исследований на польском синхротроне SOLARIS: предлагаемая концепция» и «Взаимодополняемость рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей от синхротронов, потенциал синергии между ИБР-2 и SOLARIS», представленные директором SOLARIS М. Станкевичем и директором ЛНФ В. Н. Швецовым, Ученый совет поддержал идею создания лаборатории структурных исследований макромолекул и новых материалов, принадлежащей ОИЯИ, в одной из стран-участниц Института — Польше. Отметив, что реализация этого плана усилит экспериментальные возможности ОИЯИ и Ягеллонского университета в исследованиях по физике твердого тела и биологии, Ученый совет предложил разработать детальный проект, включающий

планируемую научную программу, с учетом мировой кооперации в области использования синхротронного излучения, а также хотел бы заслушать на следующей сессии доклад о согласованной обеими сторонами детальной концепции новой лаборатории.

Статус и перспективы развития ЛИТ. Заслушав доклад «Статус и перспективы развития Лаборатории информационных технологий», представленный директором ЛИТ В.В. Кореньковым, Ученый совет приветствовал работы по проекту Многофункционального информационно-вычислительного комплекса, направленному на обеспечение дальнейшего развития сетевой и вычислительной инфраструктуры для проведения научных исследований в ОИЯИ и в странах-участницах в соответствии с Семилетним планом развития ОИЯИ на 2017–2023 гг.

Ученый совет одобрил развитие суперкомпьютерных вычислений (НРС), новых архитектур и принципов организации вычислений, которые ведут к инновационным изменениям в стратегии научных исследований, отметив, что ключевой основой научной ИТ-экосистемы является распределенная программно-конфигурируемая НРС-платформа, объединяющая суперкомпьютерные (гетерогенные), грид- и облачные технологии.

Ученый совет также одобрил активное участие ЛИТ в выполнении приоритетных задач ОИЯИ и государств-членов, в частности, связанных с мегапроектом NICA.

Деятельность NuPECC и его долгосрочный план по ядерной физике. Ученый совет заслушал доклады, посвященные деятельности Европейского комитета по сотрудничеству в области ядерной физики (NuPECC) и его долгосрочному плану «Перспективы в ядерной физике», представленные предыдущим и действующим председателями этого комитета А. Бракко (Италия) и М. Левитовичем (Франция).

В плане хорошо представлены перспективы создания ядерно-физических установок, с особым вниманием к комплексам FAIR, ISOL (SPIRAL2, ISOLDE, SPES), ELI-NP, NICA и фабрике СТЭ, а также рекомендации по научным вопросам, которые будут решаться на этих установках. В частности, в плане отмечается важность проектов NICA и фабрики СТЭ в европейской дорожной карте по ядерной физике, подчеркивается роль теоретических и прикладных исследований, научных исследований и разработок по будущим проектам, а также образования молодых ученых.

Являясь членом NuPECC, ОИЯИ активно участвовал в разработке долгосрочного плана и будет одной из основных движущих сил на этапе его выполнения. Предложенная NuPECC реализация этого плана на европейском и международном уровнях согласуется с Семилетним планом развития ОИЯИ на

2017–2023 гг. и послужит укреплению связей между ОИЯИ и всем научным сообществом по ядерной физике в Европе.

Рекомендации в связи с работой ПКК. Ученый совет поддержал рекомендации, выработанные на сессиях программно-консультативных комитетов в январе-феврале 2018 г., и предложил дирекции ОИЯИ учесть их при подготовке Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 2019 г.

Вопросы физики частиц. Отметив успешную подготовку источника тяжелых ионов «Крион-6Т» к работе в сеансе нуклотрона, Ученый совет поддержал программу своевременной модернизации существующих элементов ускорительного комплекса, в частности модернизацию линейного ускорителя ЛУ-20 и связанное с этим существенное повышение интенсивности пучков.

Ученый совет принял к сведению информацию руководства проекта о вынужденной остановке 55-го сеанса нуклотрона из-за неисправности системы охлаждения сверхпроводящих магнитов и шагах, сделанных на основании произошедшей аварии, для предотвращения ее повторения в будущем.

Ученый совет с удовлетворением отметил успехи в развитии ключевых элементов инфраструктуры ЛФВЭ, в том числе модернизацию системы питания пучковых каналов, запуск новой системы управления ускорителем нуклотрон, ввод в эксплуатацию нового гелиевого ожигателя, работы по модернизации и наращиванию мощности криогенного комплекса, подготовку к монтажу бустерного синхротрона и работы по подготовке магнитной системы коллайдера, а также в создании дорожной карты строительства центра NICA.

Ученый совет приветствовал планы проведения трехдневного совещания заинтересованных сторон в ОИЯИ в апреле 2018 г. для официального объявления о начале работы международных коллабораций MPD и BM@N и всемерно поддержал инициативу по созданию программы грантов для привлечения новых исследований и их поддержки на комплексе NICA.

Ученый совет приветствовал усилия, предпринимаемые руководством ОИЯИ и лаборатории для усиления участия групп из Китая в создании электромагнитного калориметра MPD, и рекомендовал сосредоточиться на оптимизации параметров и дизайна детектора с целью завершения технического проекта ECAL. Отметив продвижение в создании ярма магнита для установки MPD, Ученый совет выразил беспокойство в связи с задержкой в сроках доставки магнита в ОИЯИ, подчеркнув, что контракт должен быть выполнен без дополнительных задержек.

Ученый совет одобрил ввод в эксплуатацию нового оборудования для BM@N, в том числе трековых детекторов GEM большой площади, однако вновь выразил обеспокоенность недостатком персонала для

глубокого анализа данных недавних сеансов. Ученый совет ожидает проведения 55-го сеанса нуклотрона и работы установки VM@N на пучках ионов источника «Крион-6Т», а также результатов изучения короткодействующих корреляций.

Ученый совет поддержал рекомендации об одобрении новых проектов и продолжении текущих научных работ по физике частиц во временных рамках, предложенных в материалах ПКК. В частности, Ученый совет одобрил план официальной организации коллаборации SPD и подготовки концептуального проекта эксперимента при участии теоретиков к январю 2019 г. Ученый совет поддержал продолжение участия ОИЯИ в программах модернизации детекторов ATLAS и CMS до конца 2020 г., а также принятый ПКК подход в оценке проекта Bogexino/SOX/DarkSide, в соответствии с которым три эксперимента с разными физическими задачами и временными рамками были включены в один проект. Ученый совет рекомендовал продолжить анализ данных эксперимента Bogexino до конца 2019 г. Что касается SOX, то в связи с потенциальными задержками авторам следует представить детальный проект на сессии ПКК для принятия рекомендации. Относительно DarkSide 20k Ученый совет попросил авторов представить дирекции ОИЯИ общую стратегию для рассмотрения ПКК, которая позволит провести тщательную оценку всех аспектов проекта, связанных с наукой, вкладом и составом группы, инвестициями и графиком работ.

Вопросы ядерной физики. Ученый совет высоко оценил результаты научных исследований, выполненных в рамках темы «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика», включающей шесть отдельных проектов. Изучаемые редкие процессы включают поиск безнейтринного двойного бета-распада (проекты GERDA (G&M) и SuperNEMO), эксперименты с реакторными антинейтрино (проекты DANSS и GEMMA-III), прямой поиск частиц темной материи (проект EDELWEISS-LT) и изучение нейтрино высоких энергий из космоса с глубоководным нейтринным телескопом на озере Байкал (проект «Байкал-GVD»). Отметив, что во всех проектах получены результаты мирового уровня, Ученый совет поддержал общее направление развития темы, когда участие в престижных международных проектах обеспечивает доступ к передовым разработкам для развития домашних нейтринных экспериментов на двух основных экспериментальных базах — в лабораториях, расположенных на Калининской АЭС и на озере Байкал.

Ученый совет рекомендовал продолжить систематическую поддержку этих проектов и исследовательских программ на 2019–2021 г., а проект «Байкал» на более длительный срок — до конца 2023 г., подчеркнув важность дальнейшего совершенствования экспериментальной базы в ОИЯИ и на озере

Байкал и обеспечения достаточных людских ресурсов для проведения своевременного анализа данных.

Ученый совет отметил прогресс в сооружении фабрики СТЭ. Монтаж циклотрона ДЦ-280 проходит успешно, и его завершения планируется достичь в конце первого полугодия 2018 г. Пусконаладочные работы будут завершены к середине 2018 г. Ввод в эксплуатацию ускорителя ДЦ-280 начнется в сентябре 2018 г.

Существенный прогресс также достигнут в создании экспериментальных установок, включая мишенный блок, сепараторы и детектирующие системы. В частности, изготовлен и доставлен в Дубну новый газонаполненный сепаратор, его монтаж запланирован на январь-март 2018 г. Проведение первых тестовых экспериментов намечено на октябрь-ноябрь 2018 г.

Наряду с созданием экспериментальных установок значительные усилия ЛЯР и ОИЯИ направлены на процесс лицензирования, который необходимо завершить до начала экспериментов по синтезу и исследованию сверхтяжелых элементов.

Ученый совет поддержал хорошо продуманное решение дирекции ЛЯР, обеспечивающее продолжение работы У-400 в течение нескольких лет и проведение экспериментов на газонаполненном сепараторе ГНС-1. Эксперименты по спектроскопии и изучению реакций на установке SHELS и новых элементов на сепараторе ГНС-1 будут являться взаимодополняющими.

В 2016 г. на циклотроне У-400М был запущен новый фрагмент-сепаратор ACCULINNA-2. Он был протестирован на первичном пучке ^{15}N для получения различных вторичных пучков радиоактивных изотопов. Интенсивности вторичных пучков оказались в 25 раз выше, чем на предыдущем сепараторе ACCULINNA-1. Ученый совет одобрил план, согласно которому ACCULINNA-2 станет главной установкой для изучения экзотических ядер в ЛЯР ОИЯИ.

Ученый совет высоко оценил результаты, полученные в рамках завершающейся темы «Теория структуры ядра и ядерных реакций» по основным направлениям исследований: структура ядер, удаленных от полосы стабильности, взаимодействие ядер при низких энергиях, динамика слияния, малочастичные системы, ядерная динамика при релятивистских энергиях, свойства горячей и плотной ядерной материи. Ученый совет отметил, что эти исследования тесно связаны с основными экспериментальными программами, реализуемыми на установках в ОИЯИ и в других центрах, и поддержал плавный переход на продолжение исследований по теории ядра в рамках новой темы «Теория ядерных систем» на 2019–2023 г., в которой будет отражен широкий комплексный подход к различным аспектам ядерной структуры и ядерных реакций в соответствии с программой экспериментальных исследований в ОИЯИ,

а также на других установках, работающих или находящихся на этапе создания, таких как FAIR, SPES, HIE-ISOLDE, SPIRAL2 и ELI-NP.

Вопросы физики нейтрино. После презентаций различных нейтринных экспериментов, представленных на данной сессии председателями ПКК по ядерной физике и по физике частиц, Ученый совет подтвердил свою рекомендацию, чтобы все текущие и недавно запланированные нейтринные эксперименты были представлены и обсуждены на совместном заседании этих двух ПКК для выработки более скоординированной программы по физике нейтрино и, следовательно, более согласованного и эффективного выполнения приоритетных исследований.

Вопросы физики конденсированных сред. Отметив прогресс в обсуждении научного обоснования нового источника нейтронов ОИЯИ взамен реактора ИБР-2 после его останковки, Ученый совет приветствовал продолжение дискуссий в тесной связи с научной программой ЛНФ.

Ученый совет с интересом принял к сведению принципы конструкции и параметры одной из возможных концепций нового источника, представленные на сессии ПКК по физике конденсированных сред, в которой подкритическая сборка из ^{237}Np с механической модуляцией реактивности, управляемая импульсным протонным ускорителем (супербустером), выступает в качестве возможного варианта будущей установки. В случае успешной реализации такой источник может занять одно из лидирующих мест в мире среди высокопоточных импульсных источников в середине текущего века. Вместе с тем Ученый совет согласился с мнением ПКК о том, что однозначная позиция в отношении физической концепции нового источника нейтронов была бы преждевременной на данном этапе.

Ученый совет одобрил план-график подготовки к созданию нового нейтронного источника ОИЯИ, предложенный ПКК по физике конденсированных сред. Ученый совет рекомендовал продолжить работу по изучению других вариантов установки наряду с четким анализом параметров нового источника с точки зрения сильных и слабых сторон, возможностей и потенциальных угроз в отношении предполагаемой долгосрочной программы пользователей.

Ученый совет высоко оценил ход модернизации существующих, а также создание новых спектрометров ИБР-2, что значительно расширит области исследований и сделает спектрометры более привлекательными для потенциальных пользователей. Ученый совет поддержал планы дальнейшего развития спектрометрического комплекса ИБР-2, в которых учтены специфические параметры реактора (высокий поток, длительный импульс, доступность криогенного замедлителя), что гарантирует поддержание установок на уровне, сопоставимом с другими ведущими исследовательскими центрами мира. Уче-

ный совет особо отметил прогресс в совершенствовании нейтронного дифрактометра высокого давления ДН-6, предназначенного для исследования микрообразцов в экстремальных условиях, разделив мнение ПКК о том, что продолжающееся совершенствование установки должно оставаться одной из первоочередных задач развития всего комплекса спектрометров ИБР-2 в настоящее время.

Ученый совет одобрил усилия ЛНФ, предпринимаемые для осуществления программы на высоком международном уровне, считая, что программа пользователей является ключевым инструментом обеспечения позиций ИБР-2 на мировой арене в качестве одного из ведущих источников нейтронов, и предложил дирекции лаборатории оказывать дальнейшую поддержку этой важной деятельности с учетом рекомендаций ПКК о необходимости обновления веб-приложений, используемых в настоящее время в рамках профессиональной системы, поддерживающей работу авторов, рецензентов и руководства ЛНФ, а также о необходимости требовать представления отчетов об экспериментах всеми поддержанными заявителями в качестве обратной связи.

Доклады молодых ученых. Ученый совет с одобрением заслушал доклады молодых ученых, которые были выбраны программно-консультативными комитетами для представления на данной сессии: «Чувствительный метод регистрации нейтронов посредством йодсодержащих сцинтилляторов», «Предел на эффективный магнитный момент солнечных нейтрино по данным эксперимента *Wogehino*», и поблагодарил докладчиков: Д. В. Пономарева (ЛЯП) и А. В. Вишневу (ЛЯП) соответственно.

О составах ПКК. По предложению дирекции ОИЯИ Ученый совет назначил А. Мая (INP, Краков, Польша) и В. В. Несвижевского (ILL, Гренобль, Франция) в состав ПКК по ядерной физике, каждого сроком на три года.

Награды и премии. Ученый совет утвердил решение жюри о присуждении премии им. Б. М. Понтекорво профессорам Дж. Фольи (Университет и INFN, Бари, Италия) и Э. Лизи (INFN, Бари, Италия) за новаторский вклад в развитие глобального анализа осцилляционных данных различных экспериментов.

Ученый совет утвердил решение жюри о присуждении ежегодных премий ОИЯИ за лучшие научные, научно-методические и научно-технические прикладные работы.

Выборы и объявление вакансий на должности в дирекциях лабораторий ОИЯИ. Ученый совет избрал В. Н. Швецова директором ЛНФ и В. В. Коренькова директором ЛИТ, каждого на второй пятилетний срок. Ученый совет объявил вакансии на должности заместителя директора ЛНФ и заместителя директора ЛИТ. Утверждение в должностях состоится на следующей сессии Ученого совета в сентябре 2018 г.

Ученый совет утвердил Н. В. Антоненко, М. Гнатича и А. П. Исаева в должностях заместителей директора ЛТФ до окончания полномочий директора ЛТФ Д. И. Казакова.

20–21 сентября состоялась 124-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 подробный доклад, посвященный приоритетам развития Института в ходе текущего семилетнего периода 2017–2023 гг., главным целям исследовательской программы ОИЯИ, решениям сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ (март 2018 г.) и событиям в международном сотрудничестве Института.

Ученый совет заслушал доклады о ходе выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. по главным разделам, представленные вице-директором ОИЯИ Р. Ледницким (физика частиц и информационные технологии), вице-директором ОИЯИ и директором ЛФВЭ В. Д. Кекелидзе (проект NICA), вице-директором ОИЯИ М. Г. Иткисом (ядерная физика), вице-директором ОИЯИ Б. Ю. Шарковым (физика конденсированных сред и радиационная биология), главным инженером ОИЯИ Б. Н. Гикалом (развитие инженерной инфраструктуры) и директором УНЦ ОИЯИ С. З. Пакуляком (образование).

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).

Состоялось вручение премии им. Б. М. Понтекорво ОИЯИ и дипломов лауреатам премий ОИЯИ за 2017 г. Было утверждено решение жюри о присуждении премии им. В. П. Дзелепова. Ученый совет заслушал лучшие научные доклады молодых ученых, рекомендованные ПКК.

На сессии состоялись выборы на должности директора ЛЯП, а также утверждение в должностях заместителей директоров ЛНФ и ЛИТ. Были объявлены вакансии на должности в дирекциях лабораторий ОИЯИ.

Общие положения резолюции. Ученый совет принял к сведению всесторонний доклад директора ОИЯИ В. А. Матвеева, отметил усилия дирекции ОИЯИ по достижению главных целей научных исследований в области физики частиц, ядерной физики, физики конденсированных сред и радиационной биологии. Ученый совет особо подчеркнул важность консолидации тематики собственных экспериментов, а также экспериментов в рамках международных партнерских программ со значительным вкладом сотрудников ОИЯИ.

Ученый совет одобрил принятые приоритеты в развитии установок ОИЯИ, обеспечивающие Институту необходимую основу для сохранения уникального положения среди ведущих центров физических исследований и для дальнейшей интеграции в европейские и мировые научно-исследовательские программы, с удовлетворением отметив, что комплекс NICA и фабрика сверхтяжелых элементов (СТЭ) включены в дорожную карту ESFRI и в долгосрочный план NuPECC, а ИБР-2 стал частью европейской нейтронной дорожной карты. Другие флагманские программы ОИЯИ — нейтринные исследовательские проекты на Калининской АЭС и на озере Байкал — следует интегрировать в мировую исследовательскую инфраструктуру, а также приложить все усилия для включения ОИЯИ в качестве элемента европейской стратегии по физике частиц в партнерстве с ЦЕРН.

Ученый совет приветствовал работу дирекции ОИЯИ по развитию инженерной инфраструктуры Института, а также меры по поддержке образовательной деятельности и реализации кадровой и социальной политики ОИЯИ, считая эти направления деятельности исключительно важными для достижения стратегических целей Института.

Ученый совет одобрил шаги по развитию международного сотрудничества ОИЯИ, в частности, укрепление связей с европейскими партнерами, установление новых партнерских взаимодействий с Китаем и расширение горизонтов сотрудничества в Латинской Америке и Африке, а также программу стажировок «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» и сотрудничество с научными и образовательными организациями Израиля.

Ученый совет ожидает активного участия ОИЯИ и его партнеров в мероприятиях, которые будут проводиться в рамках Международного года Периодической таблицы химических элементов в 2019 г.

О ходе выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. Ученый совет с большим одобрением отметил доклады о ходе выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. по главным разделам, высоко оценив предпринимаемые усилия по реализации семилетнего плана, однако, учитывая увеличивающееся количество представляемых новых научных тем и проектов, подчеркнул необходимость консолидации научной программы Института в рамках главных задач семилетнего плана развития и ожидает регулярного информирования о дальнейшем выполнении семилетнего плана, особенно в отношении проектов NICA и фабрики СТЭ.

Рекомендации в связи с работой ПКК. Ученый совет поддержал рекомендации, выработанные на сессиях программно-консультативных комитетов в июне 2018 г., и просил дирекцию ОИЯИ учесть эти рекомендации при формировании Проблемно-

тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ на 2019 г.

Вопросы физики частиц. Ученый совет высоко оценил успехи в реализации проекта «Нуклотрон–NICA», отметив хорошую работу источника тяжелых ионов «Крион-6Т» и значительные улучшения структуры пучка, при этом призвав команду ускорителя и далее улучшать эмиттанс выведенного пучка. Ученый совет приветствовал прогресс, достигнутый в строительстве комплекса коллайдера NICA, усилия руководства ЛФВЭ и ОИЯИ, направленные на его своевременное завершение, и устойчивое развитие других направлений этого флагманского проекта.

Ученый совет поздравил руководство NICA с организацией первого совещания по сотрудничеству в рамках экспериментов MPD и BM@N, которое состоялось в ОИЯИ 11–13 апреля 2018 г., считая его важным этапом в реализации данных экспериментов и в открытии проекта NICA для международного сотрудничества. Ученый совет с удовлетворением отметил большой интерес международного научного сообщества к экспериментам MPD и BM@N, о чем свидетельствует прибытие на совещание примерно 200 участников и большое количество новых групп, присоединяющихся к сотрудничеству. Ученый совет одобрил разработанную на совещании четкую дорожную карту по созданию структуры и управления коллаборациями MPD и BM@N и поддержал усилия руководства по обеспечению финансирования для участников коллабораций NICA.

Ученый совет высоко оценил предпринимаемые совместные усилия по подготовке технических проектов для подсистем MPD, вместе с тем настоятельно призвал команду MPD завершить работу над проектом электромагнитного калориметра ECAL, включая результаты моделирования для недавно принятой проективной геометрии, и как можно скорее выработать подробный сценарий для своевременного строительства и ввода в эксплуатацию ECAL.

Ученый совет высоко оценил успешный ввод в эксплуатацию детекторов GEM большой площади и первых кремниевых станций вершинного детектора установки BM@N, поддержал рекомендации ПКК по физике частиц, призвав команду сосредоточиться на анализе большой статистики экспериментальных данных, собранных в недавнем сеансе работы нуклотрона с пучками ядер аргона и криптона, и на завершении компоновки детектора, включающей установку вакуумной трубы через экспериментальную базу. Ученый совет также поздравил коллаборацию с реализацией первых измерений короткодействующих корреляций в ядрах углерода с использованием обратной кинематики на установке BM@N и ожидает завершения физического анализа этих результатов.

Ученый совет одобрил рекомендации ПКК по утверждению новых проектов и продолжению текущих проектов в области физики частиц в предлагаемые сроки. В частности, продолжение проектов HyperNIS, ALPOM-2 и DSS, а также участие ОИЯИ в экспериментах NA62 и STAR утверждены до конца 2021 г. с первым приоритетом.

Ученый совет одобрил рекомендации ПКК по продолжению участия ОИЯИ в экспериментах NA61 и HADES до конца 2021 г. со вторым приоритетом, поддержав, в частности, предложение ПКК о сокращении бюджета поездок для NA61, поскольку в 2019 и 2020 гг. не будет сеансов, и предложение команде ОИЯИ в HADES сфокусироваться на выполнении аналогичных измерений дилептонов в проекте NICA.

Ученый совет особо отметил важные результаты, достигнутые группой ОИЯИ в сотрудничестве с ЦЕРН в рамках проекта «Прецизионная лазерная метрология для ускорителей и детекторных комплексов», однако согласился с мнением ПКК о том, что группа должна реализовать свой опыт в проекте NICA, поддержав рекомендацию о продолжении этого проекта до конца 2021 г. со вторым приоритетом.

Ученый совет одобрил рекомендацию ПКК об утверждении нового проекта под названием «ARIEL: физика для будущих e^+e^- -коллайдеров» до конца 2021 г. с третьим приоритетом. В то же время, хотя теоретические расчеты, выполненные в рамках проекта, могут быть полезны для будущего электрон-позитронного коллайдера, Ученый совет разделил обеспокоенность ПКК по поводу жесткой международной конкуренции в области предлагаемых исследований, а также других неопределенностей, которые могли бы повлиять на ожидаемый эффект от данного исследования.

Вопросы ядерной физики. Ученый совет с удовлетворением отметил, что автономные наладочные работы по циклотрону ДЦ-280, который является центральной частью фабрики СТЭ, близки к завершению. Ввод ДЦ-280 в эксплуатацию и проведение первых тестовых экспериментов запланированы на конец 2018 г. Наряду с созданием экспериментальных установок значительные усилия направлены на процесс лицензирования, который должен быть завершен до начала первых экспериментов.

Ученый совет рекомендовал дирекциям ОИЯИ и ЛЯР приложить все необходимые усилия для обеспечения своевременного завершения строительства, лицензирования и ввода в эксплуатацию фабрики СТЭ в 2018 г. Дирекции ЛЯР рекомендовано установить тщательный контроль во время ввода в эксплуатацию основных систем и установок фабрики СТЭ, чтобы обеспечить ее надежную работу в соответствии с проектными параметрами, а также сосредоточить усилия на подготовке экспериментов первого дня.

Ученый совет одобрил проведение первого эксперимента на новом фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2, нацеленного на изучение свойств ${}^7\text{H}$ в реакции ${}^8\text{He}(d, {}^3\text{He}){}^7\text{H}$, и рекомендовал выделить необходимое время на пучке ускорителя У-400М.

Ученый совет одобрил научные цели и прогресс по монтажу магнитного анализатора высокого разрешения (МАВР), рекомендовав завершить сопряжение всех его механических и электрических систем и провести наладку в эксперименте на пучке с тем, чтобы проверить достижение проектных параметров.

Ученый совет выразил обеспокоенность медленным ходом создания новых циклотронов SC202 и рекомендовал установить более тесное сотрудничество с Институтом физики плазмы Китайской академии наук в Хэфэе. Ученый совет поддержал рекомендацию ПКК по физике частиц о продлении темы «Совершенствование фазотрона ЛЯП и разработка циклотронов для фундаментальных и прикладных исследований» до конца 2019 г., отметив, однако, отсутствие фундаментальных аспектов в исследованиях по этой теме. Ученый совет ожидает, что новый подробный план будет завершён к следующему году и что детальный план-график создания компактного циклотрона SC202 будет представлен на рассмотрение ПКК.

Вопросы физики нейтрино. Ученый совет приветствовал решение ПКК по физике частиц и ядерной физике провести совместное заседание по физике нейтрино и темной материи 22 января 2019 г. Это приведет к созданию более скоординированной программы по физике нейтрино и, следовательно, к более согласованному и эффективному выполнению приоритетных исследований.

Вопросы физики конденсированных сред. Ученый совет принял к сведению альтернативный вариант создания нового источника нейтронов ОИЯИ, представленный на сессии ПКК по физике конденсированных сред, и рекомендовал всесторонне рассмотреть предложенную физическую схему, основанную на использовании подкритического бустера с активной зоной из диоксида плутония и неразмножающей вольфрамовой мишени, при разработке общей концепции нового источника нейтронов. Ученый совет приветствовал начало обсуждения актуальной научной программы на новом источнике и, в частности, разработку научного обоснования использования замедлителей ультрахолодных и очень холодных нейтронов на этой установке. Ученый совет выразил намерение совместно с ПКК продолжить отслеживать разработку общей концепции нового источника нейтронов ОИЯИ и его научной программы.

Ученый совет принял к сведению деятельность группы при дирекции ЛНФ по разработке концепции новой лаборатории для структурных исследований макромолекул и новых материалов в Национальном центре синхротронного излучения SOLARIS Ягел-

лонского университета в Кракове (Польша). Отметив, что такая лаборатория могла бы способствовать расширению парка экспериментальных установок ОИЯИ, что особенно важно с точки зрения взаимодополняемости существующих нейтронных и перспективных рентгеновских методов, Ученый совет в то же время согласился с рекомендацией ПКК продолжить работу по анализу реализуемости технического проекта и параметров, требуемых для будущих экспериментов в такой лаборатории.

Ученый совет поддержал рекомендации ПКК по рассмотренным темам и проектам, в частности, одобрил успешное завершение проекта «Изоотно-идентифицирующая рефлектометрия на ИЯУ ИБР-2», результатом которого стала реализация на реакторе ИБР-2 принципиально нового метода для исследований процессов диффузии изотопов в слоистых наноструктурах, и согласился с закрытием этого законченного проекта.

Ученый совет ожидает повторного рассмотрения доработанного предложения по открытию нового проекта «Создание установки для проведения измерений с тестовыми пучками электронов в ЛЯП. Линак-200», полагая, что авторы разработают детальный научный проект в рамках компетенции ПКК по физике конденсированных сред или представят его на рассмотрение другого ПКК.

Одобрив достижения в ходе выполнения завершающейся темы «Теория конденсированных сред», Ученый совет согласился с открытием новой темы «Теория сложных систем и перспективных материалов» на 2019–2023 гг., при этом подчеркнул возможность более тесной связи проводимых теоретических исследований с экспериментальными программами ОИЯИ.

Другие вопросы. В отношении рассмотренного концептуального проекта исследовательского центра протонной терапии в ОИЯИ Ученый совет отметил важность дальнейшего развития инструментов и методов протонной терапии в Институте и поддержал идею о ведущей роли ОИЯИ в распространении культуры протонной терапии в странах-участницах. Учитывая результаты обсуждения работ, проводимых совместно с китайскими коллегами по созданию медицинского циклотрона SC202, а также текущее состояние фазотрона, Ученый совет рекомендовал дирекции Института проработать возможность реализации в ОИЯИ проекта компактной терапевтической установки для протонной терапии.

Общие вопросы. Ученый совет отметил усилия УНЦ ОИЯИ по координации и поддержке системы подготовки кадров и развитию образовательных программ в рамках завершающейся темы «Организация, обеспечение и развитие образовательной программы ОИЯИ». В рамках этой темы, в частности, решается одна из основных задач и функций ОИЯИ — привлечение в Институт талантливой молодежи и

партнерских научно-исследовательских организаций стран-участниц. Для этого в ОИЯИ создаются условия для прикрепления бакалавров, магистров и аспирантов из университетов стран-участниц Института для подготовки ими диссертаций. УНЦ организует и проводит совместно с лабораториями ОИЯИ практики различного уровня, что способствует привлечению талантливой молодежи и обеспечению преемственности научных школ Института. Ученый совет рекомендовал продолжить эту деятельность в рамках новой темы «Организация, обеспечение и развитие программы подготовки кадров в ОИЯИ», предложенной на период 2019–2023 гг., усилив взаимодействие с ведущими университетами стран-участниц для вовлечения молодежи во флагманские проекты ОИЯИ.

Доклады молодых ученых. Ученый совет с одобрением заслушал доклады молодых ученых, которые были выбраны программно-консультативными комитетами для представления на данной сессии: «Устойчиво ли третье семейство компактных звезд к адронным структурам в смешанной фазе?», «Слияние-деление и квазиделение в реакции $^{32}\text{S} + ^{197}\text{Au}$ при энергии вблизи кулоновского барьера», «Анализ работоспособности туннельного полевого транзистора на базе графена при наличии краевых вакансий», и поблагодарил докладчиков А. С. Айрияна (ЛИТ), Ю. М. Харку (ЛЯР) и А. А. Глебова (ЛТФ). Ученый совет будет приветствовать такие доклады и в будущем.

Награды и премии. Ученый совет поздравил профессоров Дж. Фольи (Университет и INFN, Бари, Италия) и Э. Лизи (INFN, Бари, Италия) с присуждением премии им. Б. М. Понтекорво за новаторский вклад в развитие глобального анализа осцилляционных данных различных экспериментов и поблагодарил их за превосходные выступления.

Ученый совет утвердил решение жюри о присуждении премии им. В. П. Желепова профессору В. И. Комарову (ОИЯИ) за пионерские работы по созданию первого канала для протонной терапии на синхротронном ОИЯИ.

ЗАСЕДАНИЯ ФИНАНСОВОГО КОМИТЕТА ОИЯИ

Заседание Финансового комитета состоялось 23–24 марта в Дубне под председательством представителя Республики Болгарии С. Харизановой.

Финансовый комитет заслушал доклад директора Института В. А. Матвеева по выполнению плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ в 2017 г. и о планах деятельности на 2018 г. Комитет одобрил работу дирекции и коллектива ОИЯИ, направленную на развитие научно-исследовательской инфраструктуры Института, в частности, на реализацию мегапроекта NICA, ввод

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

Избрание сопредседателя Ученого совета. Ученый совет избрал профессора К. Борчу сопредседателем Ученого совета сроком на три года.

Выборы и объявления вакансий в дирекциях лабораторий ОИЯИ. Ученый совет согласился с предложением директора ОИЯИ В. А. Матвеева перенести выборы директора Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова, ранее объявленные на сентябрь 2018 г., на полтора года до 127-й сессии Ученого совета в феврале 2020 г. Новая дата выборов будет объявлена на следующей сессии Ученого совета в феврале 2019 г.

Ученый совет избрал В. А. Беднякова директором Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Желепова (ЛЯП) на второй пятилетний срок.

Ученый совет объявил вакансии на должности заместителей директора ЛЯП, утверждение в которых состоится на следующей сессии Ученого совета в феврале 2019 г.

Ученый совет утвердил О. Куликов, Н. Кучерку и Е. В. Лычагина в должностях заместителей директора Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка (ЛНФ) до окончания срока полномочий директора ЛНФ В. Н. Швецова.

Ученый совет утвердил Я. Бушу и Т. А. Стриж в должностях заместителей директора Лаборатории информационных технологий (ЛИТ) до окончания срока полномочий директора ЛИТ В. В. Коренькова. Ученый совет объявил вакансию на должность третьего заместителя директора ЛИТ, утверждение в которой состоится на следующей сессии Ученого совета в феврале 2019 г.

Ученый совет объявил вакансии на должности директора Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина и директора Лаборатории радиационной биологии. Выборы состоятся на 126-й сессии Ученого совета в сентябре 2019 г.

в эксплуатацию фабрики сверхтяжелых элементов, развитие нейтринной программы и совершенствование спектрометрического комплекса ИБР-2. Комитет отметил значительное количество новых значимых физических результатов, полученных на экспериментальных установках ОИЯИ, а также в других центрах и в международных коллаборациях.

Финансовый комитет поддержал работу дирекции Института над Соглашением о сотрудничестве в области строительства и эксплуатации лаборатории структурных исследований макромолекул и новых материалов в Национальном центре синхротрон-

ного излучения SOLARIS Ягеллонского университета в Кракове с учетом результатов рассмотрения данной инициативы на сессиях ПКК по физике конденсированных сред и Ученого совета ОИЯИ.

Финансовый комитет принял к сведению подписание письма о намерениях между ОИЯИ и правительством Французской Республики, создающего условия для вхождения Французской Республики в состав государств, участвующих в ОИЯИ на основании соглашений о сотрудничестве на правительственном уровне.

Финансовый комитет приветствовал усилия дирекции Института, направленные на подготовку научного и инженерно-технического персонала для крупных высокотехнологичных проектов ОИЯИ и стран-участниц Института, а также на развитие и поддержку образовательной деятельности Института в целом.

По докладу главного бухгалтера Института С. Н. Доценко «Об исполнении бюджета ОИЯИ за 2017 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП отметить сбалансированное исполнение бюджета ОИЯИ по доходам и расходам в 2017 г.

Финансовый комитет заслушал доклад заместителя руководителя Финансово-экономического управления Института М. П. Васильева «О проекте уточненного бюджета ОИЯИ на 2018 г.» и рекомендовал КПП утвердить уточненный бюджет ОИЯИ на 2018 г. с общей суммой доходов и расходов 268,79 млн долларов США.

По докладу председателя рабочей группы А. Хведелидзе «Об итогах заседания рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ от 22 марта 2018 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП принять к сведению информацию дирекции Института об исполнении плана мероприятий по итогам аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2016 г.

В целях обеспечения надлежащего финансирования деятельности ОИЯИ Финансовый комитет рекомендовал вынести на рассмотрение КПП вопрос о завершении 1 января 2020 г. переходного периода, предусмотренного в Финансовом протоколе к Уставу ОИЯИ.

Финансовый комитет рекомендовал КПП поручить дирекции Института подготовить проект порядка зачета стоимости поставок оборудования, приборов, материалов, услуг и отдельных работ по заказам Института в счет уплаты долевых взносов государств-членов ОИЯИ до 1 июня 2018 г. для рассмотрения на очередном заседании рабочей группы, а также доработать и ввести в действие до 1 июня 2018 г. Положение о программах сотрудничества между ОИЯИ и научными организациями государств-членов.

Финансовый комитет рекомендовал КПП одобрить программу совершенствования закупочной деятельности ОИЯИ, поручить дирекции Института

продолжить работу в соответствии с приказом по ОИЯИ «Об инициировании процесса выхода ОИЯИ из состава учредителей (акционеров) юридических лиц, ликвидации некоммерческих организаций, созданных с участием ОИЯИ», подготовить уточненную редакцию проекта регламента внесения корректировок в бюджет ОИЯИ и направить его в государства-члены ОИЯИ в рамках организации очередных заседаний Финансового комитета и КПП в ноябре 2018 г.

По докладу вице-директора Института Р. Ледницкого «О выборе аудиторской организации по проведению проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2017 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить ООО АК «Корсаков и Партнеры» аудитором ОИЯИ на 2017 г., а также план аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2017 г., предложенный дирекцией ОИЯИ.

Финансовый комитет с интересом заслушал доклад директора ЛРБ Е. А. Красавина «Ускорители ОИЯИ и проблемы радиационного риска при пилотируемых космических полетах».

Заседание Финансового комитета состоялось 16–17 ноября в Бухаресте (Румыния) под председательством представителя Республики Болгарии С. Харизановой.

Финансовый комитет заслушал доклад директора Института В. А. Матвеева по выполнению плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ в 2018 г. и о планах деятельности на 2019 г. Комитет одобрил работу дирекции и коллектива ОИЯИ, направленную на консолидацию усилий ученых и специалистов Института на приоритетных проектах Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг., интеграцию ведущих проектов ОИЯИ в международные и, прежде всего, европейские стратегические программы с целью создания благоприятных условий для участия в экспериментальных исследованиях на создаваемых в ОИЯИ передовых базовых установках и научных комплексах. Финансовый комитет высоко оценил ход реализации флагманских научных программ ОИЯИ, отметив достижение в 2018 г. важных этапов в развитии научно-исследовательской инфраструктуры Института и значительное количество актуальных физических результатов, полученных учеными ОИЯИ на установках Института и в экспериментах, выполняемых в рамках международных партнерских программ.

Финансовый комитет одобрил действия дирекции Института, направленные на формирование долгосрочной стратегии развития ОИЯИ на период до 2030 г.

Члены комитета приветствовали усилия дирекции Института по созданию условий для подготовки высококвалифицированного научного и инженерно-технического персонала для ОИЯИ, в частности,

планируемое в 2019 г. начало работы Международной инженерной школы — совместного проекта ОИЯИ и государственного университета «Дубна», а также проработку и детальное обсуждение реализации права ОИЯИ по самостоятельному присуждению ученых степеней.

По докладу заместителя руководителя Финансово-экономического управления Института М. П. Васильева «О проекте бюджета ОИЯИ на 2019 г., о проекте взносов государств-членов ОИЯИ на 2020, 2021, 2022 гг.» Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить бюджет ОИЯИ на 2019 г. с общей суммой доходов и расходов 232 112,4 тыс. долларов США, а также разрешить директору Института в 2019 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. Финансовый комитет также рекомендовал КПП утвердить шкалу взносов, размер взносов и выплату задолженности государств-членов ОИЯИ на 2019 г.

Финансовый комитет рекомендовал КПП определить ориентировочные размеры бюджета ОИЯИ по доходам и расходам на 2020 г. в сумме 208,53 млн долларов США, на 2021 г. в сумме 212,50 млн долларов США и на 2022 г. в сумме 217,65 млн долларов США, а также ориентировочные суммы взносов государств-членов ОИЯИ на 2020, 2021 и 2022 гг.

По докладу директора ЛФВЭ В. Д. Кекелидзе и вице-директора Института Р. Ледницкого «О проекте бюджета по использованию целевых средств Российской Федерации, выделяемых в соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и международной межправительственной научно-исследовательской организацией Объединенным институтом ядерных исследований о создании и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA, на 2019 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить бюджет по использованию целевых средств Российской Федерации, выделяемых в соответствии с данным соглашением на 2019 г., в сумме 2 311 471,1 тыс. рублей.

По докладу председателя рабочей группы А. Хведелидзе «Об итогах заседания рабочей группы при председателе КПП по финансовым вопросам ОИЯИ от 19 октября 2018 г.» Финансовый комитет рекомендовал КПП утвердить регламент внесения корректировок в бюджет ОИЯИ, поручить дирекции Института доработать проект порядка зачета стоимости поставок оборудования, приборов, материалов, услуг и отдельных работ по заказам Института в счет уплаты долевых взносов государств-членов ОИЯИ и направить уточненную редакцию проекта порядка зачета в государства-члены ОИЯИ в рамках организации заседания Финансового комитета и сессии КПП в марте 2019 г.

Финансовый комитет рекомендовал КПП поручить дирекции Института подготовить новую редакцию проекта Положения о научно-исследовательских и образовательных программах сотрудничества Института с научными организациями и университетами государств-членов ОИЯИ с учетом замечаний, высказанных членами рабочей группы, и ввести в действие с 1 января 2020 г., а также поручить дирекции Института до 1 марта 2019 г. подготовить и направить полномочным представителям проекты уточненных нормативных документов, регламентирующих закупочную деятельность ОИЯИ. Финансовый комитет также рекомендовал сохранить действующую практику удержания налога на доходы физических лиц — работников ОИЯИ, являющихся гражданами государств-членов ОИЯИ.

По докладу директора аудиторской компании «Корсаков и Партнеры» Д. А. Корсакова «Об итогах проведения аудиторской проверки финансовой деятельности Института за 2017 г. и анализе исполнения дирекцией Института плана мероприятий по итогам проведения аудиторской проверки финансовой деятельности ОИЯИ за 2016 г.» Финансовый комитет рекомендовал Комитету полномочных представителей утвердить аудиторское заключение и бухгалтерский отчет ОИЯИ за 2017 г.

Финансовый комитет с интересом заслушал доклад главного инженера Института Б. Н. Гикала «Развитие инженерной инфраструктуры для выполнения научной программы ОИЯИ».

СЕССИИ ПРОГРАММНО-КОНСУЛЬТАТИВНЫХ КОМИТЕТОВ

47-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике состоялась 17–18 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 122-й сессии Ученого совета Института (сентябрь 2017 г.) и решениях Комитета полномочных представителей (ноябрь 2017 г.).

ПКК заслушал отчеты по проектам, выполняемым в рамках темы «Неускорительная нейтринная физика и астрофизика», и предложения по их продлению. Тема включает шесть проектов, направленных на изучение редких явлений, связанных со слабым взаимодействием, в которых применяются методы современной ядерной спектроскопии.

Проект GERDA (G&M) посвящен поиску двойного безнейтринного бета-распада ^{76}Ge с открытыми Ge-детекторами в жидком аргоне. Результаты ана-

лиза данных позволили установить предел на период полураспада двойного безнейтринного бета-распада ^{76}Ge более $8,0 \cdot 10^{25}$ лет. Начата подготовка нового крупномасштабного германиевого эксперимента LEGEND (до 1 тонны ^{76}Ge), расчетная чувствительность которого составит 10^{28} лет.

Многолетнее участие ОИЯИ в эксперименте NEMO привело к получению фундаментальных результатов мирового уровня для двухнейтринного и безнейтринного двойного бета-распада обогащенных изотопов ^{48}Ca , ^{82}Se , ^{96}Zr , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{130}Te и ^{150}Nd . Детектор нового поколения SuperNEMO будет иметь модульный дизайн с возможностью одновременного измерения нескольких изотопов на уровне чувствительности к периоду полураспада $T_{1/2}(2\beta_0\nu) \geq 10^{26}$ лет. ОИЯИ играет ключевую роль в проекте, особенно в создании калориметра, системы VETO, программ моделирования и обработки данных и в разработке методов очистки изотопов.

ПКК заслушал доклад по созданию глубоководного нейтринного телескопа на озере Байкал (проект «Байкал-GVD»). Вторая фаза эксперимента «Байкал-GVD» предполагает создание новой исследовательской инфраструктуры, основной целью которой будет изучение потока нейтрино от астрофизических объектов. В 2016–2017 гг. коллаборацией «Байкал» были развернуты два полномасштабных кластера с 576 оптическими модулями. К концу 2021 г. планируется запустить в эксплуатацию 10 полномасштабных кластеров с 2880 оптическими модулями, что позволит зарегистрировать порядка 30 астрофизических событий с энергиями выше 100 ТэВ и провести детальное изучение сигнала, обнаруженного коллаборацией IceCube.

Проект DANSS нацелен на создание относительно компактного нейтринного детектора, который размещен вблизи активной зоны промышленного реактора на Калининской АЭС и применяется для поиска осцилляции нейтрино в стерильное состояние, а также для мониторинга ядерного реактора. На основе других сцинтилляционных элементов планируется разработать и создать два новых нейтринных детектора S^3 (S-cube) с улучшенными параметрами. Они будут обладать более высоким энергетическим разрешением. Первый детектор будет собран в IEAP STU (Прага) и установлен на АЭС в Темелине (Чехия), а второй будет работать совместно с большим детектором DANSS на Калининской АЭС.

ПКК заслушал доклад о проекте GEMMA-III с реакторными нейтрино, также осуществляемом сотрудниками ОИЯИ на Калининской АЭС. Проект GEMMA нацелен на изучение свойств реакторных нейтрино с помощью низкопороговых сверхчистых германиевых детекторов. В частности, производится поиск магнитного момента нейтрино и когерентного рассеяния нейтрино на ядрах вещества. Экспериментальная установка будет расположена под реакто-

ром №3 КАЭС на расстоянии 10 м от центра активной зоны на специальном подъемном механизме.

ПКК заслушал отчет о последних результатах эксперимента EDELWEISS. В эксперименте инновационные криогенные HPGe-боллометры в низкофоновой установке используются для прямого поиска слабо взаимодействующих массивных частиц (WIMP) из галактического гало, считающихся основными кандидатами на роль темной материи. Целью новой фазы эксперимента EDELWEISS-LT является поиск спин-независимого рассеяния на нуклонах так называемых легких WIMP, актуальность поиска которых связана с новыми теоретическими моделями, отдающими предпочтение WIMP с массой меньше $10 \text{ ГэВ}/c^2$.

Отметив, что во всех проектах получены результаты мирового уровня, ПКК рекомендовал продолжить систематическую поддержку этих экспериментов до конца 2021 г., а проекта «Байкал-GVD» — до конца 2023 г., а также расширять международные контакты с коллаборацией KM3NET для разработки общих механизмов взаимодействия и включения в дорожные карты ESFRI и APPEC.

ПКК заслушал доклад о состоянии работ по сооружению фабрики сверхтяжелых элементов. Ввод в эксплуатацию ускорителя ДЦ-280 начнется в сентябре 2018 г. Существенный прогресс достигнут в создании экспериментальных установок, включая мишенный блок, сепараторы и детектирующие системы. Проведение первых тестовых экспериментов намечено на октябрь–ноябрь 2018 г. Наряду с созданием экспериментальных установок, значительные усилия направлены на процесс лицензирования, который должен быть завершен до начала экспериментов по синтезу и исследованиям сверхтяжелых элементов.

ПКК поддержал коллектив ЛЯР в решении, обеспечивающем продолжение работы У-400 в течение нескольких лет и проведение экспериментов на газонаполненном сепараторе ГНС-1 и установке SHELS.

ПКК заслушал доклад о подготовке первых экспериментов на новом фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2. Фрагмент-сепаратор был протестирован на первичном пучке ^{15}N для получения различных вторичных пучков радиоактивных изотопов, интенсивности которых оказались в 25 раз выше, чем на предыдущем сепараторе ACCULINNA-1. Таким образом, ACCULINNA-2 становится базовой установкой для изучения экзотических ядер в ЛЯР ОИЯИ.

ПКК принял к сведению отчет по завершающейся теме «Теория ядерной структуры и ядерных реакций» и предложение по открытию темы «Теория ядерных систем». ПКК отметил результаты, полученные по основным направлениям исследований и плавный переход на новую тему, которую следует тесно связать с физикой, представляющей большой интерес для фабрики СТЭ и фрагмент-сепаратора

ACCULINNA-2 в ОИЯИ, а также с исследованиями на других установках, работающих или находящихся на этапе ввода в эксплуатацию, таких как FAIR, SPES, NIE-ISOLDE, SPIRAL2 и ELI-NP. ПКК рекомендовал закрыть тему «Теория ядерной структуры и ядерных реакций» после ее завершения в 2018 г. и одобрил новую тему «Теория ядерных систем» на 2019–2023 гг.

На сессии были заслушаны научные доклады «Изучение завихренности и поляризации гиперонов в столкновениях ядер в диапазоне энергий NICA», «Использование реакций многонуклонных передач для синтеза нейтронно-избыточных ядер» и «Анализ содержания мышьяка и ртути нейтронно-активационным методом в человеческих останках XVI–XVII вв. из некрополей Московского Кремля», представленные В. Д. Тонеевым, А. В. Карповым и А. Ю. Дмитриевым соответственно.

ПКК рекомендовал рассмотреть и оценить результаты, полученные с мишенной сборки «Quinta», и дальнейшую программу экспериментов с мишенью BURT в рамках проекта E&T&RM на специальном совещании экспертов, организованном дирекцией ОИЯИ.

ПКК ознакомился с представлением новых результатов и проектами молодых ученых в области ядерной физики. Были отмечены лучшие стендовые сообщения: «Чувствительный метод регистрации нейтронов посредством йодсодержащих сцинтилляторов», представленное Д. В. Пономаревым, «Использование $(p, 4n)$ реакционного потенциала для производства медицинских изотопов протонами средних энергий: генератор радионуклидов $^{90}\text{Mo} \rightarrow ^{90}\text{Nb}$ », представленное А. Мариновой, и «Использование сцинтилляций в аргоне для активного подавления фона в экспериментах GERDA (фаза II) и LEGEND», представленное Е. А. Шевчиком. Доклад «Чувствительный метод регистрации нейтронов посредством йодсодержащих сцинтилляторов» был рекомендован для представления на сессии Ученого совета в феврале 2018 г.

47-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред состоялась 22–23 января под председательством профессора Д. Л. Нады.

Председатель ПКК сделал обзор доклада, представленного на сессии Ученого совета ОИЯИ в сентябре 2017 г., о выполнении рекомендаций предыдущей сессии ПКК. Вице-директор ОИЯИ М. Г. Иткис проинформировал ПКК о резолюции 122-й сессии Ученого совета Института (сентябрь 2017 г.) и о решениях Комитета полномочных представителей ОИЯИ (ноябрь 2017 г.).

ПКК с интересом заслушал доклад Н. Кучерки о разработке научного обоснования нового источника нейтронов ОИЯИ. ПКК поддержал деятельность ЛНФ в этом направлении, отметив, что при

разработке уделяется пристальное внимание требованиям научного сообщества в контексте современных наук, а также проводимые обсуждения научного обоснования нового источника и рекомендовал их продолжение.

ПКК с удовлетворением отметил доклад В. Л. Аксенова «Высокопоточный импульсный источник нейтронов ОИЯИ в 20-летней перспективе» и принял к сведению принципы конструкции и параметры одной из возможных концепций источника нейтронов — супербустера. ПКК выразил мнение, что подкритическая сборка из ^{237}Np с механической модуляцией реактивности, управляемая протонным ускорителем, может выступать в качестве возможной концепции будущего источника нейтронов. В случае успешной реализации такой источник займет одно из лидирующих мест в мире среди высокопоточных импульсных источников. В то же время ПКК рекомендовал продолжить работу по изучению других вариантов установки наряду с четким анализом параметров нового источника с точки зрения сильных и слабых сторон, возможностей и потенциальных угроз в отношении предполагаемой долгосрочной программы пользователей. ПКК предложил план-график подготовки к созданию нового нейтронного источника ОИЯИ с расчетными сроками.

ПКК принял к сведению доклад Д. П. Козленко о состоянии комплекса спектрометров ИБР-2 и планах по его развитию, высоко оценил существенную модернизацию спектрометров, а также развитие новых инструментов, что расширяет область исследований и делает спектрометры более привлекательными для потенциальных пользователей. ПКК рекомендовал продолжить совершенствование спектрометров ИБР-2 с учетом современных тенденций в развитии методов нейтронного рассеяния.

ПКК заслушал доклад Е. В. Лукина о работах на нейтронном дифрактометре высокого давления ДН-6, предназначенном для исследования микробразцов в экстремальных условиях. Принимая во внимание, что дифрактометр ДН-6 по своим параметрам становится одной из лучших установок в мире для нейтронных исследований материалов в условиях экстремальных воздействий, ПКК рекомендовал продолжить развитие ДН-6 и в будущем ввести эту установку в реализацию программы пользователей ЛНФ.

ПКК принял к сведению всесторонний доклад Д. Худобы о ходе работ по реализации программы пользователей ЛНФ, одобрил усилия, предпринимаемые для осуществления программы на высоком международном уровне, подчеркнув, что программа пользователей является ключевым инструментом обеспечения позиций ИБР-2 на мировой арене в качестве одного из ведущих источников нейтронов. ПКК предложил дирекции ЛНФ обновить используемые для экспертной оценки веб-приложения до уровня профессиональной системы, поддерживающей работу заявителей, рецензентов и руководства ЛНФ,

и настоятельно требовать представления отчетов об экспериментах всеми поддержанными заявителями.

ПКК с интересом заслушал доклад В. Н. Швецова о концепции лаборатории структурных исследований макромолекул и новых материалов на синхротроне SOLARIS Ягеллонского университета в Кракове. Посчитав плодотворной идею о создании такой лаборатории в одной из стран-участниц, ПКК предложил дирекциям лабораторий Института более детально проработать научное обоснование предполагаемого сотрудничества с точки зрения уже сформировавшихся требований пользователей и существующего ландшафта синхротронных исследований и рекомендовал дирекции ОИЯИ создать совместно с Ягеллонским университетом рабочую группу из представителей обеих организаций с участием заинтересованных представителей научных центров стран-участниц ОИЯИ для выработки концепции лаборатории и перспективной научной программы.

ПКК с интересом заслушал научные доклады «Исследования объектов культурного наследия с помощью нейтронного имиджинга на реакторе ИБР-2» и «Плоский туннельный полевой транзистор на основе графена: влияние краевых вакансий на работоспособность», представленные И. А. Сапрыкиной и В. Л. Катковым соответственно.

ПКК принял к сведению информацию Т. И. Иванкиной о международной конференции «Исследования конденсированных сред на ИБР-2» (Дубна, 9–12 октября 2017 г.) и рекомендовал продолжить практику проведения подобных международных совещаний.

Лучшим стендовым сообщением на сессии ПКК была признана работа «Водорастворимые комплексы на основе фуллеренов для противораковой терапии и нейродегенеративных заболеваний», представленная Е. А. Кизимой. ПКК также отметил высокий уровень двух других стендовых сообщений: «Исследование кристаллической и магнитной структуры сложных наноструктурированных оксидов переходных металлов в широком диапазоне температур», представленное Н. М. Белозеровой, и «Процессы кластерообразования фуллеренов C_{60} и C_{70} в смеси толуол/*N*-метил-2-пирролидон согласно исследованиям методами МУРН, МУРР и ДСР», представленное Т. Нагорной.

48-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 31 января – 1 февраля под председательством профессора И. Церруа.

Председатель ПКК представил краткое сообщение о выполнении рекомендаций предыдущей сессии. Вице-директор ОИЯИ Р. Ледницки проинформировал ПКК о резолюции 122-й сессии Ученого совета ОИЯИ (сентябрь 2017 г.) и решениях Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (ноябрь 2017 г.).

ПКК отметил успехи в развитии ускорительного комплекса «Нуклотрон–NICA» и поздравил коллектив ЛФВЭ с успешной подготовкой источника тяжелых ионов «Крион-6Т» к работе в 55-м сеансе нуклотрона. Отмечая непрерывный ввод в эксплуатацию нового оборудования, ПКК поддержал программу своевременной модернизации существующих элементов ускорительного комплекса, в частности модернизацию ЛУ-20 и связанное с этим существенное повышение интенсивности пучков. ПКК отметил успехи в развитии ключевых элементов инфраструктуры, в том числе модернизацию системы питания пучковых каналов, запуск новой системы управления ускорителем нуклотрон, ввод в эксплуатацию нового гелиевого ожижителя, работы по модернизации и наращиванию мощности криогенного комплекса, подготовку к монтажу бустерного синхротрона и работы по подготовке магнитной системы коллайдера. ПКК приветствовал достижения в создании строительной инфраструктуры коллайдерного комплекса и дорожной карты строительства центра NICA.

Вместе с тем ПКК выразил обеспокоенность проблемами, возникшими в системе охлаждения сверхпроводящих магнитов, которые привели к вынужденной остановке 55-го сеанса нуклотрона. Комитет отметил усилия лаборатории по максимально быстрому проведению восстановительных работ на криогенно-гелиевой установке и их успешному завершению. ПКК удовлетворен информацией руководства проекта о предпринятых на основании произошедшей аварии шагах для предотвращения ее повторения в будущем.

ПКК высоко оценил недавние инициативы по привлечению к участию в экспериментах MPD и VM@N сотрудников из других институтов. Комитет приветствовал планы проведения трехдневного совещания заинтересованных сторон в ОИЯИ в апреле 2018 г. для официального объявления о начале работы международных коллабораций MPD и VM@N и в целом поддержал инициативу по созданию программы грантов для привлечения новых исследований на комплексе NICA и их поддержки.

ПКК удовлетворен значительным продвижением в создании ярма магнита для установки MPD, но обеспокоен задержкой в сроках доставки магнита в ОИЯИ. ПКК призвал членов команды обеспечить своевременное выполнение контракта, исключая какие-либо задержки. Комитет одобрил усилия, предпринимаемые руководством ОИЯИ и лаборатории для усиления участия китайских групп в создании электромагнитного калориметра MPD. ПКК приветствовал ввод в эксплуатацию нового оборудования установки VM@N, в том числе трековых детекторов GEM большой площади. ПКК вновь выразил беспокойство недостатком персонала для глубокого анализа данных, полученных в недавних сеансах. ПКК ожидает проведения 55-го сеанса и его результатов как по методической части, связан-

ной с работой установки на пучках ионов источника «Крион-6Т», так и по физической программе изучения короткодействующих корреляций.

ПКК отметил прогресс в ходе работ по реализации проекта SPD и одобрил предложенный план подготовки концептуального проекта эксперимента SPD при участии теоретиков, который будет представлен на сессии ПКК в январе 2019 г., и действий по формированию коллаборации SPD.

Что касается участия групп ОИЯИ в модернизации детекторов на ЛНС, ПКК одобрил информацию о вводе в эксплуатацию производственного участка по изготовлению камер Micro-megas в ОИЯИ для мюонного спектрометра ATLAS и высоко оценил создание второго участка для производства мюонных камер меньшего размера для «домашних» проектов. Комитет с удовлетворением отметил достижения группы ОИЯИ, участвующей в первой фазе модернизации детектора CMS и научно-исследовательских разработках для HL-LHC, и рекомендовал продолжить участие ОИЯИ в обоих проектах до конца 2020 г.

ПКК заслушал отчет о работах по проекту Wogexino/SOX/DarkSide и высоко оценил широкий спектр важных результатов, полученных в эксперименте Wogexino, также отметив, что Wogexino, SOX и DarkSide — три эксперимента с разными задачами и временными рамками. Учитывая заинтересованность в продолжении программы Wogexino для pp -, гео- и CNO-нейтрино, комитет рекомендовал группе продолжить анализ данных до конца 2019 г. Что касается проекта SOX, то в связи с потенциальными задержками ПКК предложил участникам представить подробный отчет о состоянии проекта на следующей сессии комитета, чтобы принять решение о возможной рекомендации. ПКК отметил научный интерес к предложению о поиске темной материи в рамках проекта DarkSide 20k. Однако, учитывая различные научные возможности в развитии Wogexino, масштаб и сложность эксперимента, ПКК рекомендовал авторам предложения и руководству ОИЯИ сначала создать глобальную стратегию, которая будет представлена комитету на следующей сессии для того, чтобы обеспечить возможность всесторонней оценки всех аспектов проекта, связанных с наукой, вкладом и соответствием состава группы, инвестициями и сроками.

ПКК с интересом заслушал доклады о научных результатах, полученных группами ОИЯИ в экспериментах на ЛНС: отметил успехи в каонной фемтоскопии, в изучении ультрапериферических взаимодействий $Pb + Pb$ и в испытаниях электромагнитного калориметра ALICE PHOS с новыми модулями электроники TQDC-16E, созданными группой ОИЯИ; высоко оценил новые результаты по поиску физики за пределами Стандартной модели в конечных состояниях $Z\gamma$, измерения дифференциального сечения совместного рождения W/Z с тяжелыми квар-

ками, поиск состояний пентакварка в распадах Λ_b -барионов и исследования $B_c(2S)$ -мезонов в эксперименте ATLAS, а также значительный вклад группы ОИЯИ в эксперименте CMS в изучение рождения димюонных состояний и многоструйных событий в Стандартной модели и в контексте поисков BSM.

ПКК заслушал доклад «Теорема факторизации и дуальность: от режима низких энергий к высоким энергиям», представленный И. В. Аникиным.

ПКК рассмотрел 30 стендовых сообщений по физике частиц молодых ученых ЛИТ, ЛФВЭ и ЛЯП и выбрал сообщение «Предельная величина эффективного магнитного момента солнечных нейтрино из данных Wogexino» А. В. Вишневой для представления в качестве доклада на сессии Ученого совета в феврале 2018 г. ПКК вновь рекомендовал молодым участникам в своих презентациях сосредоточиться на результатах научной работы, выполненной лично ими.

ПКК принял к сведению сообщение о мерах, предпринятых группой COMPASS в ответ на рекомендации, данные ПКК на предыдущей сессии. В частности, состав группы теперь сокращен на 25 %, а командировочные расходы на 10 %. И хотя этого недостаточно, ПКК удовлетворен тем, что последующие сокращения будут реализованы после завершения сеанса 2018 г. на SPS ЦЕРН. Комитет также удовлетворен тем, что эти изменения позволят группе более активно участвовать в проекте SPD.

48-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред состоялась 14–15 июня под председательством профессора Д. Л. Нады.

Д. Л. Надь представил обзор выполнения рекомендаций предыдущей сессии ПКК. Вице-директор ОИЯИ Б. Ю. Шарков проинформировал ПКК о резолюции 123-й сессии Ученого совета (февраль 2018 г.) и решениях Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (март 2018 г.).

ПКК заслушал доклад об альтернативном варианте нового источника нейтронов ОИЯИ. Изложенная физическая концепция источника подразумевает использование подкритического бустера с активной зоной из диоксида плутония, обеспечивающей критичность на уровне не более 0,98, и неразмножающей мишени из вольфрама. ПКК рекомендовал продолжить разработку общей концепции нового источника нейтронов на основе представленных подходов.

Приняв к сведению доклад о научной программе по ядерной физике, предлагаемой для нового источника нейтронов ОИЯИ, ПКК отметил, что очень холодные и ультрахолодные нейтроны представляют большой интерес для фундаментальных физических исследований, и рекомендовал начать разработку научного обоснования использования замедлителей

очень холодных и ультрахолодных нейтронов на новом источнике нейтронов ОИЯИ.

ПКК принял к сведению информацию о разработке концепции новой лаборатории для структурных исследований макромолекул и новых материалов в Национальном центре синхротронного излучения SOLARIS Ягеллонского университета в Кракове. Подчеркнув, что новые технические возможности, которые будут доступны в лаборатории, станут частью научно-экспериментальной базы ОИЯИ, что представляется особенно важным с точки зрения взаимодополняемости существующих нейтронных и перспективных рентгеновских методов, ПКК рекомендовал продолжить работу по анализу реализуемости технического проекта и параметров, требуемых для будущих экспериментов.

Заслушав информацию о ходе работ по подготовке стратегического плана развития ОИЯИ на перспективу до 2030 г. и далее, ПКК одобрил шаги, предпринятые по формированию состава подгрупп по физике конденсированных сред и нейтронной физике, а также по радиобиологии и астробиологии и планов работы на 2018–2019 гг., рекомендовав подгруппам регулярно представлять информацию о своей работе на будущих сессиях ПКК.

Приняв к сведению отчет о завершающемся проекте «Изотопно-идентифицирующая рефлектометрия на ИЯУ ИБР-2», ПКК с удовлетворением отметил, что изотопно-идентифицирующая рефлектометрия (ИИР) — принципиально новый метод, разработанный для исследований процессов диффузии изотопов в слоистых наноструктурах, успешно реализован на ИЯУ ИБР-2. Учитывая успешное завершение работ в этом направлении, ПКК рекомендовал закрыть данный проект.

ПКК рассмотрел предложение об открытии нового проекта «Создание установки для проведения измерений с тестовыми пучками электронов в ЛЯП. Линак-200» и поддержал деятельность ЛЯП по созданию новых типов детекторов элементарных частиц, требующихся для экспериментов на будущих ускорителях. В связи с тем, что в предложении не было представлено научное обоснование проекта, соответствующее компетенции данного ПКК, комитет рекомендовал авторам проекта разработать научное обоснование в рамках компетенции ПКК по физике конденсированных сред или представить проект на рассмотрение другого ПКК.

Приняв к сведению отчет по завершающейся теме «Теория конденсированных сред» и предложение об открытии новой темы «Теория сложных систем и перспективных материалов», ПКК высоко оценил результаты, полученные по основным направлениям исследований и приветствовал связь выполняемых теоретических исследований с экспериментальными программами ОИЯИ, поддержал продолжение исследований в рамках новой темы и укрепление сотрудничества с экспериментальными группами ОИЯИ и

стран-участниц Института с целью поднять его на более высокий уровень. ПКК рекомендовал закрыть завершающуюся тему и открыть новую на период 2019–2023 гг.

ПКК принял к сведению отчет по завершающейся теме «Организация, обеспечение и развитие образовательной программы ОИЯИ» и рассмотрел предложение об открытии новой темы «Организация, обеспечение и развитие программы подготовки кадров в ОИЯИ». Отметив, что Учебно-научный центр осуществляет общую координацию и поддержку системы подготовки кадров и образовательных программ ОИЯИ в рамках действующей темы, в частности, для решения одной из основных задач и функций ОИЯИ — привлечения в Институт талантливой молодежи и партнерских научно-исследовательских организаций стран-участниц, ПКК рекомендовал закрыть завершающуюся тему и открыть новую на период 2019–2023 гг.

Приняв к сведению концептуальный проект исследовательского центра протонной терапии в ОИЯИ, ПКК предложил дирекции ОИЯИ разработать проект новой терапевтической установки с применением пучков протонов, которая может выступать в качестве пилотного проекта для последующего применения подобного опыта в странах-участницах ОИЯИ, а также служить в образовательных целях для подготовки специалистов в области протонной терапии.

ПКК с интересом заслушал научные доклады «90 лет комбинационному рассеянию: поверхностно-усиленные карты микро-КАРС органических молекул», «Солитоны и автоволны в биополимерах», «Исследование структурных и динамических особенностей липидных мембран методами нейтронного и рентгеновского рассеяния», представленные Г. М. Арзуманяном, А. Н. Бугаем и Д. В. Соловьевым соответственно.

Лучшим стендовым сообщением на сессии ПКК было признано сообщение «Анализ работоспособности туннельного полевого транзистора на базе графена при наличии краевых вакансий», представленное А. А. Глебовым. ПКК также отметил высокий уровень двух других стендовых сообщений: «Роль рекристаллизации в формировании треков ионов в диэлектриках», представленное Р. А. Рымжановым, и «Исследования квазивероятностных распределений Вигнера», представленное В. Абгаряном.

49-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 18–19 июня под председательством профессора И. Церруя.

Вице-директор ОИЯИ Р. Леднички проинформировал ПКК о резолюции 123-й сессии Ученого совета и решениях Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ.

ПКК с интересом заслушал доклады о разработке стратегического плана долгосрочного разви-

тия ОИЯИ в области физики частиц и в области физики релятивистских тяжелых ионов и спиновой физики, высоко оценив усилия дирекции ОИЯИ по установлению приоритетов и формированию стратегических перспективных планов ОИЯИ.

ПКК поздравил коллектив ЛФВЭ с успешным завершением 55-го сеанса на нуклотроне. В частности, ПКК отметил хорошую работу источника тяжелых ионов «Крион-6Т» и значительные улучшения структуры пучка, призвав команду ускорителя улучшить эмиттанс выведенного пучка. ПКК с удовлетворением отметил успехи в проведении строительных работ на ускорительном комплексе NICA и усилия руководства лаборатории и Института по их плановому завершению. Комитет приветствовал устойчивое развитие различных направлений этого флагманского проекта.

ПКК высоко оценил сообщение директора ЛФВЭ В. Д. Кекелидзе о первом коллаборационном совещании экспериментов MPD и BM@N, проведенном в ОИЯИ 11–13 апреля 2018 г. Комитет с удовлетворением отметил большой интерес международного научного сообщества к экспериментам MPD и BM@N, о чем свидетельствует прибытие на совещание около 200 участников и большое количество новых групп, которые присоединяются к сотрудничеству. ПКК одобрил дорожную карту по созданию структуры и управления коллаборациями MPD и BM@N.

ПКК высоко оценил предпринимаемые усилия по подготовке технических проектов для подсистем MPD, в частности для детектора FHCAL, и призвал команду MPD завершить работу над техническим проектом электромагнитного калориметра ECAL, включая результаты моделирования для недавно принятой проективной геометрии. ПКК с удовлетворением отметил улучшенную эффективность работы установки BM@N, большую статистику экспериментальных данных, полученных в недавнем сеансе нуклотрона с пучками ядер аргона и криптона, и исследование короткодействующих корреляций в эксперименте с углеродным пучком. ПКК рекомендовал команде сосредоточиться на анализе полученных данных и на завершении работ над конфигурацией детектора. ПКК с интересом заслушал отчет о первом измерении короткодействующих корреляций в ядре углерода с использованием обратной кинематики в установке BM@N и поздравил коллаборацию с реализацией этого проекта, с нетерпением ожидая результатов физического анализа.

ПКК поздравил команду NA61 с успешной защитой трех кандидатских и двух докторских диссертаций. Вместе с тем комитет считает, что бюджет на поездки, представляющий собой большую часть запрашиваемых ресурсов, относительно высок, особенно учитывая, что в 2019 и 2020 гг. на SPS не будет сеансов. Полагая, что запрос на командировки будет значительно сокращен, ПКК рекомендовал продол-

жить участие ОИЯИ в эксперименте NA61 до конца 2021 г. со вторым приоритетом.

ПКК принял к сведению результаты эксперимента NA62, нацеленного на поиск и измерение очень редкого каонного распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$, высоко оценил наблюдение первого события-кандидата распада и публикацию первых результатов по поиску тяжелых нейтральных лептонов. Чтобы смягчить влияние свойств пучка (фон и интенсивность) на чувствительность эксперимента, коллаборация предпринимает ряд корректирующих мер, которые, как ожидается, сумеют все же сохранить этот уникальный эксперимент на переднем крае в данной области исследований. По этой причине ПКК рекомендовал продолжить участие Объединенного института в эксперименте NA62 до конца 2021 г. с первым приоритетом.

ПКК принял к сведению отчет о проекте Nucleon-Nucleus по изучению самых легких нейтроноизбыточных гиперядер и рекомендовал продолжить проект до конца 2021 г. с первым приоритетом.

ПКК принял к сведению, что в эксперименте ALPOM-2 впервые получен набор данных об азимутальных асимметриях для реакций перезарядки поляризованного нейтрона $n + \text{CH}_2 \rightarrow n + X$, а также для таких анализаторов поляризации, как углерод, сцинтиллятор (CH) и медь. ПКК посчитал эти результаты очень важными для экспериментов в JLab и рекомендовал продолжить проект ALPOM-2 до конца 2021 г. с первым приоритетом.

Приняв к сведению отчет об эксперименте DSS на внутренней мишени нуклотрона, ПКК призвал коллаборацию найти финансирование для надлежащей модернизации экспериментальной установки, хорошего охвата детектором фазового пространства и рекомендовал продолжить проект DSS до конца 2021 г. с первым приоритетом.

Оценив результаты, полученные группой ОИЯИ в эксперименте STAR при изучении корреляций антипротон–антипротон и лямбда–лямбда с высокой статистикой и при анализе масштабных свойств спектров заряженных адронов, и участие ОИЯИ в модернизации детектора плоскости события, ПКК также отметил подготовку к «фазе II сканирования энергии пучка». ПКК призвал коллектив поделиться опытом с командой MPD и рекомендовал продолжить участие ОИЯИ в эксперименте STAR до конца 2021 г. с первым приоритетом.

ПКК принял к сведению отчет об эксперименте HADES в GSI/FAIR, сфокусированном на точной спектроскопии e^+e^- -пар, возникающих в реакциях, вызываемых протонами, пионами и тяжелыми ионами в диапазоне кинетических энергий пучка 1–3,5 ГэВ. Комитет призвал команду ОИЯИ переключить внимание на изучение дилептонов в NICA и рекомендовал продолжить участие ОИЯИ в эксперименте HADES до конца 2021 г. со вторым приоритетом.

Приняв к сведению отчет о реализации проекта «Прецизионная лазерная метрология для ускорителей и детекторных комплексов», ПКК посчитал, что группа должна реализовать свой опыт в проекте NISA, и рекомендовал продолжить этот проект до конца 2021 г. со вторым приоритетом.

ПКК с интересом заслушал предложение по открытию нового проекта «ARIEL: физика на будущих e^+e^- -коллайдерах». Считая, что теоретические расчеты, выполненные в рамках проекта, могут быть полезны для любого будущего электрон-позитронного коллайдера, ПКК отметил имеющиеся серьезные проблемы: неопределенность в выборе будущей машины (машин) за пределами HL-LHC, ограниченные возможности CLIC для изучения бозона Хиггса, жесткую международную конкуренцию по предлагаемым исследованиям, которая может повлиять на ожидаемый результат этой работы. ПКК рекомендовал утвердить этот проект до конца 2021 г. с третьим приоритетом.

ПКК принял к сведению предложение о продолжении темы «Дубненская международная школа современной теоретической физики» (DIAS-TH) и высоко оценил деятельность, направленную на образование молодых ученых и студентов, а также регулярную организацию специальных курсов, лекций, семинаров и школ. ПКК рекомендовал продолжить деятельность DIAS-TH в рамках этой темы до конца 2023 г. с первым приоритетом.

ПКК принял к сведению предложения об открытии двух новых тем: «Фундаментальные взаимодействия полей и частиц» и «Современная математическая физика: гравитация, суперсимметрия и струны» до конца 2023 г. Учитывая высокую научную продуктивность участвующих групп и обоснованные планы будущих исследований, ПКК рекомендовал утвердить новые темы с первым приоритетом.

ПКК рассмотрел стендовые сообщения по проблемам физики частиц, подготовленные молодыми учеными ЛИТ, ЛТФ, ЛФВЭ, ЛЯП, и выбрал презентацию «Устойчиво ли третье семейство компактных звезд к адронным структурам в смешанной фазе?» А. С. Айрияна для доклада на сессии Ученого совета в сентябре 2018 г.

48-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике состоялась 20–21 июня под председательством профессора М. Левитовича.

М. Левитович представил новых членов ПКК А. Мая и В. В. Несвижевского, а также сделал краткое сообщение о выполнении рекомендаций предыдущей сессии. Вице-директор ОИЯИ М. Г. Иткис проинформировал ПКК о резолюции 123-й сессии Ученого совета (февраль 2018 г.) и решениях Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (март 2018 г.).

Программно-консультативные комитеты по физике частиц и по ядерной физике предложили про-

вести совместное заседание по физике нейтрино и темной материи, которое запланировано на 22 января 2019 г. Повестка дня будет подготовлена председателями обоих ПКК в тесном сотрудничестве с дирекцией ОИЯИ.

ПКК принял к сведению отчет о результатах работ, проводимых в рамках темы «Совершенствование фазотрона ЛЯП (ОИЯИ) и разработка циклотронов для физических и прикладных исследований», сфокусированных на разработке и совершенствовании циклотронов, используемых в адронной терапии. В настоящее время фазотрон работает в основном на медицинские исследования, однако в течение нескольких лет запланирован его вывод из эксплуатации из-за больших расходов на эксплуатацию и обслуживающий персонал. Фазотрон планируется заменить на сверхпроводящий изохронный циклотрон SC202, который разработан в сотрудничестве ОИЯИ и Института физики плазмы Китайской академии наук (Хэфэй). ПКК рекомендовал продлить тему «Совершенствование фазотрона ЛЯП и разработка циклотронов для физических и прикладных исследований» до конца 2019 г. и ожидает, что в следующем году будет готов новый проект, нацеленный на своевременную реализацию компактного циклотрона SC202.

Приняв к сведению информацию по завершающейся теме «Организация, обеспечение и развитие образовательной программы ОИЯИ» и по открытию новой темы «Организация, обеспечение и развитие программы подготовки кадров в ОИЯИ», ПКК отметил результаты, достигнутые УНЦ по подготовке научных и инженерных кадров для реализации масштабных проектов как на базе лабораторий Института, так и в научно-исследовательских центрах государств-членов ОИЯИ. Было особо отмечено успешное проведение Летней студенческой программы ОИЯИ, обеспечивающей стабильный приток заинтересованной молодежи на практику в Институт. ПКК по ядерной физике поддержал рекомендации 48-й сессии ПКК по физике конденсированных сред (14–15 июня 2018 г.) по открытию новой темы «Организация, обеспечение и развитие программы подготовки кадров в ОИЯИ».

ПКК заслушал доклад о статусе и системе обеспечения качества работ по сооружению циклотрона ДЦ-280, который является центральной частью фабрики сверхтяжелых элементов. Начало комплексных пусконаладочных работ ускорителя ДЦ-280 с пучком ионов намечено на сентябрь 2018 г., а проведение первых тестовых экспериментов и ввод в эксплуатацию запланированы на конец 2018 г. ПКК рекомендовал дирекции ОИЯИ и ЛЯР сконцентрировать ресурсы для своевременного завершения строительства, лицензирования и ввода в эксплуатацию фабрики СТЭ в 2018 г. ПКК предложил дирекции ЛЯР использовать систему обеспечения качества, разработанную в ЛЯР, во время работ по пуску,

наладке и вводу в эксплуатацию основных систем фабрики СТЭ, а также рекомендовал сосредоточить усилия на подготовке первых экспериментов и представить доклад о запланированной научной программе на следующем заседании ПКК.

Заслушав доклад о первых экспериментах, выполненных на новом фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2, ПКК одобрил проведение первоочередного эксперимента по изучению свойств ${}^7\text{H}$ в реакции ${}^8\text{He}(d, {}^3\text{He}){}^7\text{H}$ на этой установке.

ПКК заслушал доклад о создании магнитного анализатора высокого разрешения (МАВР), который включает в себя магнит со ступенчатыми полюсами МСП-144. Для увеличения телесного угла магнито-оптической системы анализатора МАВР перед магнитом МСП-144 устанавливается дублет квадрупольных линз. В настоящее время завершаются монтажные работы систем анализатора и трассировки пучков ионов в экспериментальном зале У-400. Анализатор МАВР позволит физикам ЛЯР с большей эффективностью и высоким разрешением по энергии проводить анализ продуктов ядерных реакций со стабильными и радиоактивными пучками и исследовать структуру экзотических ядер в разных областях масс. ПКК рекомендовал в ближайшее время завершить испытание всех его систем и провести эксперимент на пучке, чтобы проверить, достигнуты ли проектные параметры.

ПКК с интересом заслушал доклад «Суперкомпьютер "Говорун" — новые перспективы для гетерогенных вычислений в ядерной физике» и отметил существенный прогресс в развитии высокопроизводи-

тельного вычислительного компонента Многофункционального информационно-вычислительного комплекса ОИЯИ. ПКК поддержал усилия ЛИТ по разработке суперкомпьютера «Говорун» как одного из важнейших инструментов для дальнейшего развития экспериментальной и теоретической физики в ОИЯИ и странах-участницах.

На заседании были заслушаны научные доклады «Современный уровень развития и перспективы нейтронно-активационного анализа на реакторе ИБР-2», «Исследование приповерхностных слоев твердых тел с помощью пучков заряженных частиц на электростатическом генераторе ЭГ-5» и «Проявление квазиделения в реакциях с тяжелыми ионами», представленные М. В. Фронтасьевой, А. П. Кобзевым и А. К. Насировым соответственно.

ПКК ознакомился с представлением новых результатов и проектами молодых ученых в области ядерной физики. Были отмечены лучшие стендовые сообщения: «Слияние-деление и квазиделение в реакции ${}^{32}\text{S} + {}^{197}\text{Au}$ при энергии вблизи кулоновского барьера», представленное Ю. М. Харкой, «Спектроскопия изотопов трансфермиевых элементов в Дубне: состояние и перспективы», представленное А. А. Кузнецовой, и «Ориентация статически деформированных ядер в реакциях многонуклонных передач», представленное В. В. Сайко. Доклад «Слияние-деление и квазиделение в реакции ${}^{32}\text{S} + {}^{197}\text{Au}$ при энергии вблизи кулоновского барьера» был рекомендован для представления на сессии Ученого совета в сентябре 2018 г.



ПРЕМИИ И ГРАНТЫ

Премия им. В. П. Дзелепова присуждена доктору физико-математических наук В. И. Комарову (ОИЯИ) за пионерские работы по созданию первого канала для протонной терапии на синхротроне ОИЯИ.

Премия им. Б. М. Понтекерво присуждена профессору Ф. Халзену (Висконсинский университет, Мадисон, США) за ведущую роль в создании детектора IceCube и экспериментальное открытие космологических нейтрино сверхвысоких энергий.

Большая золотая медаль им. М. В. Ломоносова присуждена Российской академией наук академику Ю. Ц. Оганесяну (ОИЯИ) за фундаментальные исследования в области взаимодействия сложных ядер и экспериментальное подтверждение гипотезы существования «островов стабильности» сверхтяжелых элементов.

ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ОИЯИ

I. В области теоретической физики

Первые премии

1. «Многомерные суперсимметричные механики, уравнение Виттена–Дийкграафа–Верлинде–Верлинде и его обобщение».

Авторы: С. О. Кривонос, О. Лехтенфельд, А. О. Сутулин.

2. «Вихревые возбуждения в ядрах».

Авторы: Я. Квасил, В. Кляйниг, В. О. Нестеренко, П.-Г. Рейнхард, А. Репко.

Вторая премия

«Описание низкоэнергетического рождения мезонов на встречных e^+e^- -пучках и в распадах тау-лептона в рамках расширенной модели Намбу–Иона-Лазинио».

Авторы: М. К. Волков, А. В. Арбузов, А. А. Пивоваров, К. Нурлан.

II. В области экспериментальной физики

Первые премии

1. «Исследование свойств нейтрино из реакции pp -цикла на Солнце с помощью детектораorexino».

Авторы: А. В. Вишнева, О.Ю. Смирнов, А.П. Сотников.

2. «Корреляция структуры и физических свойств в упорядоченных сплавах на основе железа».

Авторы: А.М. Балагуров, И.А. Бобриков, С.В. Сумников, И. С. Головин, В. В. Палачева.

Вторая премия

«Проявление кластерной структуры ядер ${}^9\text{Be}$ в механизме их взаимодействия».

Авторы: С. М. Лукьянов, А. С. Деникин, В. А. Маслов, М. А. Науменко, Ю. Э. Пенионжкевич, Я. Мразек, В. Тржаска, К. Мендибаев, Н. К. Скобелев, Ю. Г. Соболев.

III. В области научно-методических исследований

Первая премия

«Проект ACCULINNA-2: физические аспекты и технические решения».

Авторы: А. А. Безбах, Л. В. Григоренко, М. С. Головков, А. В. Горшков, С. А. Крупко, С. И. Сидорчук, С. В. Степанцов, Г. М. Тер-Акопьян, А. С. Фомичев, П. Г. Шаров.

IV. В области научно-технических прикладных исследований

Первая премия

«Структура и свойства водных растворов фуллеренов C_{60} и C_{70} для биологических применений».

Авторы: Е. А. Кизима, В. И. Петренко, О. И. Иванов, М. В. Авдеев, В. Л. Аксенов, Л. А. Булавин, Ю. И. Прилуцкий.

Вторая премия

«Определение элементного состава молдавских вин и почв методом нейтронного активационного анализа».

Авторы: И. Зиньковская, О. Куликов, М. В. Фронтасьева, С. Ф. Гундорина, О. Дулиу, Р. Стурза.

V. Поощрительные премии

1. «Эффекты симметрии в квантовых точках».

Авторы: Р. Г. Назмитдинов, М. Динейхан, Н. С. Сионович, А. Пуенте.

2. «Исследование структуры протона в жестких *pp*-процессах рождения прямых фотонов или векторных бозонов, сопровождающихся образованием тяжелых струй».

Авторы: В. А. Бедняков, С. Бродски, Г. И. Лыкасов, А. В. Липатов, Я. Смиеско, С. Токар.

3. «Открытие и перспективы исследования переходной динамики в трехчастичных распадах экзотических ядер».

Авторы: Т. А. Голубкова, Л. В. Григоренко, М. В. Жуков, П. Г. Шаров.

4. «Позиционно-чувствительная двойная ионизационная камера для изучения деления ядер».

Авторы: Ш. Зейналов, П. В. Седьшев, О. В. Сидорова, В. Н. Швецов, Л. А. Светов.

ГРАНТЫ

В 2018 г. сотрудники Объединенного института ядерных исследований получили финансовую поддержку Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), Российского научного фонда, Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Фонда развития теоретической физики и математики «Базис» для реализации ряда научных проектов.

Российский фонд фундаментальных исследований профинансировал научные проекты ОИЯИ в рамках следующих конкурсов: «Конкурс проектов фундаментальных научных исследований» (23 проекта), «Конкурс научных проектов, выполняемых молодыми учеными (Мой первый грант)» (8 проектов), «Конкурс на лучшие научные проекты междисциплинарных фундаментальных исследований» (2 проекта), «Конкурс ориентированных фундаментальных исследований по актуальным междисциплинарным темам» (1 проект).

Ряд научных проектов ОИЯИ профинансирован РФФИ в рамках международных конкурсов: совместно с Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Армении (1 проект), совместно с Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (1 проект), совместно с Национальным научным фондом Болгарии (2 проекта), совместно с Департаментом науки и технологии правительства Индии (3 проекта), совместно с Государственным фондом естественных наук Китая (1 проект), совместно

с Министерством науки, технологии и окружающей среды Республики Кубы (1 проект), совместно с Министерством культуры, образования, науки и спорта Монголии (1 проект), совместно с Немецким научно-исследовательским сообществом (2 проекта), совместно с Национальным центром научных исследований Франции (3 проекта).

РФФИ оказал финансовую поддержку ОИЯИ в проведении 7 научных конференций в рамках конкурсов «Организация и проведение конференций и научных мероприятий на территории России» и «Организация российских и международных молодежных научных мероприятий».

Российский научный фонд профинансировал научные проекты ОИЯИ в рамках конкурсов «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (7 проектов), «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» (2 проекта), «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» (1 проект).

По совместному конкурсу исследовательских проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Объединенного института ядерных исследований в 2018 г. профинансировано 15 проектов.

Фондом развития теоретической физики и математики «Базис» по программе «Научная мобильность» профинансирован 1 проект по конкурсу «Visitor» («Приглашенный ученый»).

2018

**МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ
И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО**





НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Основные итоги 2018 г. по международному научно-техническому сотрудничеству Объединенного института ядерных исследований отражают следующие данные:

— проведены совместные исследования с научными центрами стран-участниц, а также международными и национальными организациями других стран по 42 темам первого приоритета;

— для решения вопросов сотрудничества и участия в научных совещаниях и конференциях Объединенный институт командировал 3277 специалистов;

— для совместных работ и консультаций, а также для участия в совещаниях, конференциях, школах в ОИЯИ было принято 2010 специалистов;

— организовано и проведено 59 международных научных конференций и школ, 18 рабочих и 13 организационных совещаний.

Международное сотрудничество ОИЯИ оформлено соответствующими соглашениями и договорами. Его развитие предусматривает проведение совместных экспериментов на базовых установках физических центров, получение научных результатов, подготовку общих публикаций участников сотрудничества, поставку оборудования и технологий для заинтересованных сторон и многое другое.

19 января ОИЯИ посетил президент Новой монгольской академии доктор Ж. Галбадрах и заведующий кафедрой естественных наук Нового монгольского института технологий О. Нямсурэн. Гостей сопровождал руководитель национальной группы Монголии О. Чулуунбаатар.

Состоялась встреча в дирекции с участием М. Г. Иткиса, А. С. Сорина, Д. В. Каманина, Е. А. Красавина, А. В. Белушкина и Д. Сангаа, в ходе которой, в частности, шла речь о подготовке международной конференции «Современные тенденции в естественных науках и передовые научно-образовательные технологии» (20–24 августа, Улан-Батор). В визит-центре ОИЯИ гости прослушали ознакомительную лекцию об образовательных программах ОИЯИ и деятельности Учебно-научного центра, а также Лаборатории информационных тех-

нологий, Лаборатории радиационной биологии и Лаборатории теоретической физики.

2 февраля в Лаборатории физики высоких энергий прошло заседание наблюдательного совета по мегасайенс-проекту NICA. В совет входят представители ОИЯИ, а также Российской Федерации: Министерства финансов, Министерства образования и науки, Российской академии наук, правительства Московской области.

Это заседание наблюдательного совета было вторым по счету (первое состоялось 20 ноября 2016 г. в Кракове в рамках выездной сессии КПП ОИЯИ). В нем приняли участие президент РАН А. М. Сергеев, заместитель министра образования и науки Г. В. Трубников, директор ОИЯИ В. А. Матвеев, представители правительства РФ, полномочный представитель правительства Болгарии Л. Костов, вице-директор ОИЯИ и руководитель дирекции проекта NICA Р. Ледницки, директор ЛФВЭ ОИЯИ и руководитель проекта В. Д. Кекелидзе, главный ученый секретарь ОИЯИ А. С. Сорин.

Принятые в ходе заседания решения наблюдательного совета были связаны с программой развития проекта на ближайшие несколько лет, со структурой руководящих органов проекта, финансовым обоснованием, формулировкой научной программы и программы создания сооружения. Члены наблюдательного совета побывали на фабрике сверхпроводящих магнитов и стройплощадке NICA, в здании синхротрона, где начаты работы по созданию бустера, посетили установку VM@N, на которой уже проводятся эксперименты на выведенных пучках нукло-трона. Экспертам рассказали о работах, связанных с созданием многоцелевого детектора MPD, а также о разработке детектора SPD.

14 февраля в штаб-квартире ЮНЕСКО в Париже с участием представительной делегации ОИЯИ состоялся круглый стол, посвященный празднованию 20-летия сотрудничества ОИЯИ и ЮНЕСКО и открытию новых сверхтяжелых элементов Периодической таблицы химических элементов. В рамках

круглого стола его участники обсудили перспективы дальнейшего взаимодействия ОИЯИ и ЮНЕСКО в свете современных проблем развития мировой науки и естественно-научного образования.

Участников заседания приветствовал директор отделения по научной политике и наращиванию потенциала ЮНЕСКО Д. Накашима, вице-директор ОИЯИ М. Г. Иткис, заместитель министра образования и науки РФ Г. В. Трубников, а также бывший президент IUPAC Н. П. Тарасова.

Вице-директор ОИЯИ М. Г. Иткис представил доклад об истории, текущих и перспективных проектах ОИЯИ, академик Ю. Ц. Оганесян рассказал о работах в ОИЯИ по открытию сверхтяжелых элементов, а директор УНЦ С. З. Пауляк — о международных студенческих программах, реализуемых в Институте.

Круглый стол завершился дискуссией о современных тенденциях развития мировой фундаментальной науки, в том числе путях и средствах повышения интереса к научной деятельности среди молодежи.

15 февраля в Российском центре науки и культуры в Париже прошло рабочее совещание «День ОИЯИ во Франции», посвященное 60-летию установления научных контактов ОИЯИ и Франции с момента визита в Дубну выдающегося французского физика и общественного деятеля Ф. Жолио-Кюри. Совещание, организованное Центром научных исследований (CNRS) Франции, было направлено на расширение сотрудничества ОИЯИ с французскими научными организациями.

В делегацию ОИЯИ входили представители дирекции Института, руководства лабораторий, Учебно-научного центра и отдела международных связей, а также ряд научных экспертов. Российскую сторону и КПП ОИЯИ представлял заместитель министра образования и науки РФ Г. В. Трубников.

В совещании приняли участие более 90 представителей французских научных центров, университетов и диппредставительств ряда стран-участниц ОИЯИ. Научная программа «Дня ОИЯИ во Франции» охватывала широкий круг научных вопросов, включая теоретическую физику, физику тяжелых ионов, исследования с нейтронами, радиобиологию. В рамках совещания состоялся круглый стол по образовательным вопросам, обсуждались пути привлечения молодежи в науку и роль ОИЯИ в этом процессе.

Было подписано письмо о намерениях правительства Франции и Объединенного института ядерных исследований заключить меморандум о взаимопонимании, ратифицировано соглашение о продлении сотрудничества ОИЯИ и IN2P3, имеющего 45-летнюю историю, а также подписаны документы о продлении соглашений о сотрудничестве по проектам GDRI EUREA и LIA JoULE.

16 февраля в CNRS прошла очередная сессия совместного координационного комитета IN2P3–

ОИЯИ, в ходе которой, в частности, был утвержден план на 2018 г. по совместным проектам.

20 февраля Объединенный институт посетила делегация Центра промышленности Республики Болгарии в Москве во главе с заместителем председателя центра Ц. Генчевым.

В конференц-зале Лаборатории ядерных реакций гости встретились с ведущими специалистами ОИЯИ, в том числе со своими соотечественниками, работающими в Дубне, узнали об исследованиях, ведущихся в ОИЯИ, реализуемых проектах, а также проинформировали о деятельности своей организации. В выступлениях участников встречи были затронуты вопросы организации поставок и закупочной деятельности Института, участия предприятий стран-участниц в тендерах, проводимых ОИЯИ. Болгарские гости обсудили возможность наладить прямую связь с руководством Института для продвижения болгарских компаний и активизации участия болгарских предприятий в будущих тендерах, объявляемых ОИЯИ, в частности, в строительстве коллайдера NICA, в развитии инфраструктуры.

21 февраля состоялось подписание Соглашения между ОИЯИ и Академией естественных и гуманитарных наук Израиля. Соглашение предусматривает развитие взаимодействия в области экспериментальной и теоретической физики, астрофизики, ядерной физики и физики частиц, сопутствующих технологий.

Подписанию предшествовал обмен мнениями, в котором участвовали председатель Израильского комитета по физике высоких энергий профессор Э. Рабинович, председатель Израильского комитета по ядерной физике профессор И. Церруя, директор ОИЯИ академик В. А. Матвеев, вице-директора М. Г. Иткис и Р. Ледниcki, В. Д. Кекелидзе, А. С. Сорин, Д. В. Каманин. Стороны отметили плодотворность сотрудничества и итоги предыдущего соглашения 2013–2017 гг. между ОИЯИ и Академией наук Израиля, в рамках которого, в частности, в Израиле совместно с Институтом Вейцмана было проведено совещание по физике высоких энергий, а сейчас израильские ученые задействованы в работах по проекту NICA.

28 февраля ОИЯИ посетила представительная делегация Республики Кубы. В состав делегации входили заместитель министра науки, технологий и окружающей среды Кубы Д. Алонсо Медерос, чрезвычайный и полномочный посол Кубы в РФ Х. Пеньяльвер Порталь, президент Агентства по атомной энергии и передовым технологиям (AENTA), директор Центра прикладных технологий и ядерного развития (CEADEN) А. Диас Гарсиа, помощник председателя AENTA по финансово-экономическим вопросам Х. Луис Дона, специалист по международным отношениям Министерства науки, технологий и окружающей среды К. Мендес, советник-посланник по

сольства Кубы в Москве Р. Сайяс Бу. В Объединенном институте кубинскую делегацию сопровождал старший научный сотрудник ЛЯП ОИЯИ профессор А. Лейва Фабело.

В дирекции ОИЯИ гостей приветствовали директор академик В. А. Матвеев, вице-директор М. Г. Иткис, главный ученый секретарь А. С. Сорин, заместитель начальника отдела международных связей А. А. Котова и сотрудник этого отдела О. Н. Белова. Директор ОИЯИ выразил кубинской стороне глубокие соболезнования от лица Института в связи с трагической кончиной полномочного представителя правительства Кубы в ОИЯИ Ф. К. Диас-Баларта.

А. С. Сорин рассказал об основных направлениях научных исследований и прикладных работ в ОИЯИ, а также о базовых установках Института. В ходе беседы были затронуты вопросы дальнейшего развития сотрудничества Кубы и ОИЯИ, в том числе в плане подготовки инженерных кадров, а также за счет увеличения числа молодых кубинских ученых, направляемых в ОИЯИ для учебы и участия в исследованиях.

Гости посетили несколько лабораторий Института и провели встречу с кубинскими сотрудниками ОИЯИ, на которой смогли узнать об их научной работе и жизни в Дубне.

20 марта по приглашению Агентства по атомной энергии Венгрии делегация ОИЯИ приняла участие в семинаре, организованном Венгерским ядерным обществом, с целью развития деловых контактов и укрепления сотрудничества ОИЯИ с венгерскими исследовательскими организациями.

Со стороны ОИЯИ в семинаре приняли участие начальник отдела международных связей Д. В. Каманин, председатель Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред Д. Л. Надь и начальник отделения физики конденсированных сред Лаборатории нейтронной физики А. В. Белушкин.

Семинар открыл генеральный директор Агентства по атомной энергии Венгрии Д. Фихтенгер. Дубненская делегация представила в своих докладах возможности Института для развития международного научно-технического сотрудничества, историю научных связей Венгрии и ОИЯИ, а также научные исследования, ведущиеся на комплексе спектрометров реактора ИБР-2. Венгерской стороной была представлена исследовательская инфраструктура Института ядерных исследований АТОМКИ Венгерской академии наук. Новые направления сотрудничества были обозначены в докладе об участии венгерского Центра им. Ю. Вигнера в проекте NICA. Президент Венгерского ядерного общества М. Ордог представил основные направления деятельности этой организации. Семинар завершился круглым столом, объединившим всех заинтересованных участников семинара в дискуссии о мерах по поддержке сотрудничества Вен-

грии с ОИЯИ и путях привлечения в совместные проекты молодых венгерских ученых.

11–13 апреля в ОИЯИ проходило первое коллаборационное совещание по экспериментам MPD и VM@N на установке NICA. В нем приняли участие представители более 40 научных центров из 19 стран мира — директора научных центров, руководители лабораторий, ведущие теоретики мира. В ходе совещания участники были ознакомлены с ходом работ, планами реализации мегапроекта NICA и обсудили возможности объединения усилий и ресурсов.

Открывая совещание, директор ОИЯИ академик В. А. Матвеев отметил огромную заинтересованность в новых идеях и новых подходах для реализации проекта NICA. Вице-директор ОИЯИ, директор ЛФВЭ В. Д. Кекелидзе также подчеркнул важность интеллектуального ресурса в решении поставленных задач. В двух экспериментах, VM@N и MPD, которые уже реализуются с участием международного сообщества, предоставляется самый широкий спектр исследовательских возможностей. Совещание явилось очередным доказательством растущего интереса международного научного сообщества к исследованиям на комплексе NICA, о чем свидетельствует прибытие на совещание около 200 участников и большое количество новых групп, которые присоединяются к сотрудничеству.

Помимо пленарных заседаний в ходе совещания были организованы экскурсии на стройплощадку NICA, на фабрику сверхпроводящих магнитов, в детекторные лаборатории. В результате обсуждений и дискуссий были выработаны уставы коллабораций MPD и VM@N, которые поддержали 29 организаций из 14 стран. Был избран специальный комитет для подбора кандидатов на позиции руководителей коллабораций. Намечены сроки проведения выборов — осень 2018 г., на следующем совещании коллабораций MPD и VM@N.

14 мая в зеленом зале Дома международных совещаний открылась 11-я стажировка молодых ученых и специалистов из стран СНГ, организованная Международным инновационным центром нанотехнологий СНГ при поддержке Межгосударственного фонда гуманитарного сотрудничества государств-участников СНГ.

В 2018 г. для прохождения стажировки в Дубну приехали научные сотрудники, преподаватели, инженеры, аспиранты, студенты из Азербайджана, Армении, Белоруссии, Казахстана, Киргизии, Молдовы, Таджикистана, Узбекистана и Украины. В программе стажировки — экскурсии в лаборатории ОИЯИ, лекции по физике частиц, физике высоких энергий, физике конденсированных сред с обзором методов, применяемых в изучении материалов, химии, радиобиологии. Целый день был посвящен знакомству со структурой ОИЯИ, работой подразделений и служб.

Участниками стажировки были созданы исследовательские команды, объединившие молодых ученых, работающих по схожей тематике, для выполнения практических работ в лабораториях, обмена исследовательским и научно-организационным опытом, установления контактов, выработки новых подходов и идей. Для этого в программе был предусмотрен специальный командный тренинг и деловые игры.

В ходе стажировки в формате круглого стола обсуждались актуальные вопросы, связанные с научной деятельностью, научно-образовательные мероприятия, которые проводятся на территории СНГ, поддержка инновационных проектов. Состоялась встреча участников с представителями Объединения молодых ученых и специалистов ОИЯИ и Советом молодых ученых Московской области. В университете «Дубна» участники посетили Центр прототипирования и Инжиниринговый центр, ознакомились с опытом инновационного менеджмента и коммерциализации разработок в Особой экономической зоне, нанотехнологическом центре «Дубна» и инновационном территориальном кластере «Ядерно-физические и нанотехнологии». Стажировка завершилась защитой проектов и вручением сертификатов.

16 мая НИЯУ МИФИ посетили научный руководитель ЛЯР ОИЯИ академик Ю. Ц. Оганесян, начальник сектора ЛЯР профессор Ю. Э. Пенионжкевич, директор УНЦ С. З. Пакуляк, ректор университета «Дубна» Д. В. Фурсаев.

Обсуждались вопросы подготовки технических кадров для мегапроектов ОИЯИ. В частности, говорилось о необходимости усиления инженерной подготовки выпускников дубненского университета и о создании в нем инженерной школы. Стороны договорились вести работу по расширению традиционного сотрудничества НИЯУ МИФИ с ОИЯИ и с университетом «Дубна» в сфере инженерной подготовки студентов.

В заключение встречи ректор МИФИ М. Н. Стриханов вручил выдающемуся выпускнику МИФИ академику Ю. Ц. Оганесяну орден «За заслуги перед МИФИ».

18 мая ОИЯИ посетили члены Генеральной ассамблеи Европейского консорциума по физике частиц в астрофизике (АРПЕС) С. Лёрэ (CEA Saclay, IRFU, Франция) и Ф. Моля (DESY, Гамбург, Германия).

Гости из АРПЕС познакомились с основными проектами ОИЯИ, посетили лаборатории нейтронной физики, ядерных реакций и физики высоких энергий. С. Лёрэ выступила на общепитетском семинаре в ЛЯР с презентацией на тему «Практическое применение и социальные выгоды ядерной физики», в которой были охвачены такие сферы, как ядерная энергетика, здравоохранение, безопасность, космос, окружающая среда и материаловедение.

На встрече в дирекции ОИЯИ с участием вице-директора Б. Ю. Шаркова, заместителя руководителя Финансово-экономического управления М. П. Васильева, начальника отдела международных связей (ОМС) Д. В. Каманина, заместителя начальника ОМС А. А. Котовой были рассмотрены перспективы развития сотрудничества, в частности, возможность включения одного из флагманских проектов ОИЯИ «Байкал-GVD» в дорожную карту Европейского стратегического форума по исследовательским инфраструктурам (ESFRI). Гости отметили, что этот проект уже привлек внимание АРПЕС и, по мнению членов организации, он представляет большой научный интерес. Участники встречи констатировали, что намеченные совместные шаги послужат более широкому распространению информации о научных исследованиях и возможностях ОИЯИ в европейских странах.

18 мая с однодневным ознакомительным визитом ОИЯИ посетила делегация Филиппинского института ядерных исследований (ФИЯИ) для установления научных контактов и развития сотрудничества. В состав делегации входили директор ФИЯИ Карло А. Арчилля, глава отдела ядерных исследований Л. В. Абад, глава отдела технологических процессов А. Е. Л. Конджарес, а также президент «MARDAS Corporation» Д. Э. Раниль. Делегацию сопровождали представители госкорпорации «Росатом».

В дирекции гостей приветствовали вице-директор М. Г. Иткис, начальник отдела международных связей Д. В. Каманин и заместитель начальника ОМС А. А. Котова. Гостям была представлена обзорная информация об ОИЯИ, основных объектах его научной инфраструктуры и направлениях исследований.

Глава филиппинской делегации сообщил, что основная направленность руководимого им института — прикладные исследования. В настоящее время Республика Филиппины нацелена на активное развитие атомной энергетики, создание собственной научной базы в этой области. Поэтому гости выразили большую заинтересованность в образовательных программах ОИЯИ с целью подготовки высококвалифицированных кадров.

Филиппинская делегация посетила реактор ИБР-2 и установку ИРЕН в ЛНФ. В ЛЯР гости были ознакомлены с проводимыми исследованиями, ускорительным комплексом и достижениями ОИЯИ в области синтеза сверхтяжелых элементов. В ЛФВЭ они посетили синхрофазотрон и нуклотрон, побывали на фабрике сверхпроводящих магнитов.

8 июня в Дубне завершилась работа 7-й международной стажировки для руководителей науки и международного сотрудничества «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-7). В числе ее участников были представители министерств, университетов и научных организаций из Вьетнама, Китая, России, Чехии и ЮАР.

Итоги насыщенной программы знакомства с ОИЯИ были подведены на заседании круглого стола с представителями дирекции и руководства Института, в завершение которого директор ОИЯИ академик В. А. Матвеев торжественно вручил участникам сертификаты. В своих выступлениях участники стажировки говорили о ее значительной пользе для себя в профессиональном плане и ярких впечатлениях об Институте в целом. Было отмечено, что JEMS — комфортная среда для установления деловых связей, рождения новых идей и организации совместных проектов.

15 июня делегация ОИЯИ во главе с директором Института академиком В. А. Матвеевым посетила Республику Узбекистан по приглашению президента Академии наук Республики Узбекистан академика Б. С. Юлдашева.

В ходе встречи с государственным советником Президента Республики Узбекистан Р. С. Касымовым обсуждались вопросы сотрудничества с научными и образовательными центрами Узбекистана, а также восстановления полноправного членства Республики Узбекистан в ОИЯИ, были намечены пути совместных действий. Делегация ОИЯИ посетила Академию наук Республики Узбекистан, Институт ядерной физики АН РУз, где прошли встречи и плодотворное обсуждение сотрудничества между учеными ОИЯИ и Узбекистана, в частности, вопросов подготовки 20-й международной конференции коллаборации CMS RDMS, организуемой совместно ОИЯИ, ЦЕРН и Академией наук Узбекистана в Ташкенте и Самарканде в сентябре. По итогам визита состоялся обмен мнениями, были намечены планы по углублению и обновлению программ научно-технического и образовательного сотрудничества между ОИЯИ и Республикой Узбекистан.

Делегация ОИЯИ побывала в уникальном научном комплексе «Солнце», расположенном в горах Тянь-Шаня на высоте 1050 м. С помощью солнечной энергии в течение дня в этой «солнечной печи» может создаваться контролируемая температура до 3000 °С для исследований в области прикладных наук и использования для нужд промышленности и в социальных сферах.

16 июля по приглашению профессора А. И. Малахова и академика Ю. Ц. Оганесяна Лабораторию ядерных реакций им. Г. Н. Флерова посетили президент Международной инженерной академии (МИА) и Российской инженерной академии (РИА), член-корреспондент РАН Б. В. Гусев и вице-президент РИА профессор А. А. Сперанский.

Во время беседы гости ознакомились с работами, проводимыми в ЛЯР в области синтеза сверхтяжелых элементов, а также обсудили вариант разработанной в РИА модели Периодической системы элементов.

Значительная часть встречи была посвящена вопросам подготовки в России и, в частности, в ОИЯИ

инженерных кадров и создания в университете «Дубна» Международной инженерной школы. Участники встречи договорились позднее вернуться к этому вопросу для более детального обсуждения предложений по реализации программы подготовки инженерных кадров, столь необходимых в ОИЯИ для успешной реализации проектов NICA и DRIBs-III.

В заключение академик Ю. Ц. Оганесян показал готовый к пуску новый ускоритель — циклотрон тяжелых ионов ДЦ-280, предназначенный для существенного продвижения в области синтеза новых элементов. Он также кратко познакомил гостей с планами будущих исследований на комплексе, получившем название «фабрика сверхтяжелых элементов».

17 июля ОИЯИ посетили посол Италии в РФ П. К. Терраччано, атташе по науке А. Спаллони, первый советник отдела по продвижению итальянской культуры, науки и языка и координации консульской сети посольства В. Феррара, а также делегация Национального центра ядерной физики Италии (INFN) во главе с президентом Ф. Феррони и вице-президентом А. Мазьеро. Гости познакомились с лабораториями Института, институтской частью города и ОЭЗ, встретились с дирекцией ОИЯИ.

В ходе пресс-конференции, организованной для городских СМИ, посол Италии выразил уверенность в том, что «сотрудничество будет продолжаться, принося свои плоды, и становиться все крепче». Президент INFN Ф. Феррони упомянул, в частности, что сверхпроводящий магнит для проекта NICA изготавливается специалистами INFN в Генуе, и подчеркнул готовность развивать сотрудничество.

26–27 июля ОИЯИ посетил известный ученый, профессор Университета Сайтама А. Мисаки (Япония), который является приглашенным профессором НИИЯФ им. Д. В. Скобельцына МГУ и Алтайского государственного университета.

Знакомство с ОИЯИ для гостя из Японии началось в Лаборатории ядерных проблем с осмотра тестовой площадки гамма-телескопа эксперимента «Тайга», в создании которого он выступает как приглашенный эксперт. Профессор А. Мисаки также посетил отдел по изготовлению фотодетекторов для эксперимента «Байкал» и побывал в мемориальном кабинете Б. М. Понтекорво. После посещения Лаборатории теоретической физики гость побывал в Лаборатории информационных технологий, где ознакомился с суперкомпьютером «Говорун» и провел семинар, посвященный проблеме разнообразия ЛПМ-ливней при экстремально высоких энергиях.

Профессор А. Мисаки передал дирекции ЛИТ протокол о проведении совместных научно-исследовательских работ Объединенным институтом ядерных исследований и Университетом Сайтама (Япония), который предполагает создание теоретической,

математической и вычислительной базы для моделирования ЛПМ-ливней в области сверхвысоких энергий, численного исследования их характеристик и структуры с целью решения проблем, возникающих при анализе экспериментальных результатов таких астрофизических проектов, как IceCube, Antares, «Байкал» и «Тайга».

8 августа чрезвычайный и полномочный посол Республики Чили Р. Х. Н. Матурано посетил ОИЯИ с целью ознакомления с Институтом и возможностями научной кооперации. Посла сопровождали инженер Э. Росас и профессор Технического университета Санта-Марии (Вальпараисо) С. Коваленко.

Р. Матурано побывал в лабораториях ядерных реакций, физики высоких энергий, информационных технологий. На встрече в дирекции Института вице-директор ОИЯИ М. Г. Иткис и начальник отдела международных связей Д. В. Каманин рассказали послу о флагманских проектах Института, формах сотрудничества в образовательной сфере, прикладных исследованиях, взаимодействии с научными центрами мира. Бывший сотрудник ЛЯП ОИЯИ С. Коваленко отметил ряд направлений, по которым уже начато сотрудничество между научным центром, созданным при Техническом университете Санта-Марии, и ОИЯИ, в частности, по проекту NISA. Подписан меморандум о взаимопонимании.

28 августа состоялся визит в ОИЯИ представителей Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана во главе с деканом факультета «Энергетическое машиностроение» А. А. Жердевым. Визит был нацелен на поиск возможностей расширения сотрудничества между МГТУ и ОИЯИ в области подготовки высококвалифицированных инженерных кадров для флагманских проектов Объединенного института. Гости побывали на экскурсии в Лаборатории ядерных реакций, где ознакомились с готовящейся к пуску фабрикой сверхтяжелых элементов, а также в Лаборатории физики высоких энергий, где посетили строительную площадку NISA, осмотрели линию сборки и криогенных испытаний сверхпроводящих магнитов.

5 сентября директор ОИЯИ В. А. Матвеев встретился с полномочным представителем правительства Социалистической Республики Вьетнам в ОИЯИ, директором Института физики Вьетнамской академии наук и технологий Ле Хонг Кхьемом, а также с заместителем секретаря партийного комитета Вьетнамской академии наук и технологий Нгуеном Куанг Льемом и специалистом Департамента социальных и естественных наук Министерства науки и технологий Вьетнама Ву Ван Датом, которые прибыли в Дубну для участия в 8-й международной стажировке для научно-административного персонала «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-8).

Встреча в дирекции была посвящена обсуждению предложения вьетнамской стороны о проведении в ноябре 2019 г. во Вьетнаме сессий Комитета полномочных представителей и Финансового комитета ОИЯИ, а также идеи проведения сразу после КПП международной научной конференции. Кроме того, были рассмотрены шаги по активизации сотрудничества, в частности вопросы профессиональной подготовки молодых вьетнамских ученых на базе ОИЯИ. Во встрече участвовали вице-директор ОИЯИ Р. Ледницки, советник дирекции ОИЯИ М. Ю. Туманова, начальник отдела международных связей ОИЯИ Д. В. Каманин и руководитель национальной группы вьетнамских сотрудников в ОИЯИ Нгуен Ван Тьеп. По результатам встречи в дирекции была подготовлена памятная записка.

В начале сентября в ОИЯИ была организована 8-я международная стажировка для научно-административного персонала «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-8). В ней приняли участие специалисты из Болгарии, Ботсваны, Вьетнама, Египта, Италии, ЮАР. Они посетили лаборатории Института, где ознакомились с базовыми установками, узнали о ведущихся фундаментальных и прикладных исследованиях, международном сотрудничестве и образовательных возможностях. Кроме того, большой интерес у участников стажировки вызвала лекция по истории России и советского Атомного проекта, а также экскурсия по достопримечательностям Дубны.

Итоги стажировки были подведены за круглым столом. Участники JEMS-8 поделились впечатлениями и выразили благодарность организаторам. Представители Ботсваны, участвовавшие в стажировке, подписали соглашение о сотрудничестве с ОИЯИ. Всем участникам JEMS-8 были вручены сертификаты и сувениры.

26 сентября ОИЯИ посетила китайская делегация во главе с генеральным директором Национального агентства проекта ITER Министерства науки и технологий Дэлун Ло, а также представители Росатома.

В Лаборатории физики высоких энергий гости ознакомились с создаваемым комплексом NISA и фабрикой сверхпроводящих магнитов, в Лаборатории информационных технологий осмотрели Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс и суперкомпьютер «Говорун». Гости обсудили вопросы сотрудничества с руководством лабораторий ОИЯИ.

2 октября в Доме ученых состоялось торжественное открытие Дней Словакии в ОИЯИ, посвященных 25-летию со дня образования Словацкой Республики и ее участия в Объединенном институте. В числе присутствовавших были представители дирекции и лабораторий Института, словацкого землячества в ОИЯИ, торгово-промышленной палаты

Дубны, ряда градообразующих предприятий и компаний. В церемонии открытия участвовала словацкая делегация, в которую входили представители посольства Словакии в России, компаний Cryomont, Sylex, Cryosoft, TREN SK, NUVIA, SITEL и других фирм, деятельность которых связана с криогеникой, оптическим волокном, суперсовременными приборами для пожаротушения, машиностроением, мониторингом радиационной безопасности, системами управления качеством. Представители фирм выступили с краткими ознакомительными презентациями. Об истории, структуре и основных направлениях деятельности ОИЯИ гостям рассказал вице-директор Р. Ледницки.

Делегация из Словакии в сопровождении руководителей Института и городских предприятий посетила ЛФВЭ, ЛЯР, ЛЯП, ЛИТ.

Вопросы развития сотрудничества были подробно рассмотрены в формате круглого стола: участники обсудили реальные возможности участия словацких компаний в разработке и изготовлении приборов и изделий для физических и экспериментальных установок ОИЯИ.

12–14 октября Объединенный институт ядерных исследований принимал участие в 13-м Московском фестивале НАУКА0+, главная тема которого «Megascience: Россия в мире — Россия для мира». Экспозиция Института — макеты действующих и будущих установок ОИЯИ и выставочные интерактивные стенды — была представлена в Фундаментальной библиотеке МГУ и Экспоцентре на Красной Пресне, где сотрудники Института проводили для школьников мастер-классы по физике, химии, робототехнике. В рамках Золотого лектория в Фундаментальной библиотеке МГУ академик Ю. Ц. Оганесян прочел лекцию об открытии новых сверхтяжелых элементов таблицы Менделеева, а профессор В. Д. Кекелидзе — о вызовах мегасайенс-проекта NICA. В Шуваловском корпусе МГУ лекции читали В. Н. Швецов, Д. В. Наумов, Н. В. Анфимов, М. В. Ширченко.

16–18 октября ОИЯИ посетила польская делегация в составе директора Национального центра исследований и развития М. Хоровского, полномочного представителя правительства Республики Польша в ОИЯИ М. Валигурского, председателя комиссии при полномочном представителе правительства Польши по сотрудничеству с ОИЯИ М. Будзыньского.

Национальный центр исследований и развития занимается управлением и реализацией стратегических программ исследований и разработок в сфере инноваций, осуществляя поддержку и передачу результатов научных исследований в экономику, управление прикладными исследовательскими программами, проектами в области национальной обороны и безопасности. По словам М. Хоровского, еще одна важная сфера деятельности центра — заинтересовать

студентов, аспирантов научными исследованиями и работой в инновационных компаниях.

На встрече в дирекции с участием директора Института академика В. А. Матвеева, вице-директоров ОИЯИ М. Г. Иткиса и В. Д. Кекелидзе, заместителя руководителя УНОРиМС Д. В. Каманина гостей ознакомили с историей, структурой ОИЯИ, направлениями исследований, флагманскими проектами, образовательной деятельностью.

Гости посетили лаборатории ядерных реакций, нейтронной физики и физики высоких энергий, встретились с руководством лабораторий, ознакомились с проектами и установками, на которых работают польские сотрудники, а также совершили обзорную экскурсию по городу.

18 октября состоялся ознакомительный визит в ОИЯИ представительной делегации Чешской Республики, в которую входили члены парламентского Комитета по науке, образованию, культуре, молодежи и спорту во главе с председателем комитета В. Клаусом, представители посольства ЧР в РФ под руководством чрезвычайного и полномочного посла В. Пивоньки, а также заместитель полномочного представителя правительства Чехии в ОИЯИ И. Штекл.

Встреча гостей с руководством Объединенного института состоялась в Доме ученых. Вице-директор ОИЯИ Р. Ледницки выступил с презентацией об Институте, а И. Штекл рассказал об участии Чехии в работе ОИЯИ.

Делегация с интересом ознакомилась с работой чешской фирмы ASARKO по реконструкции корпуса гостиницы на ул. Московской, 2, где проживает большое количество молодых ученых из стран-участниц ОИЯИ. После посещения ЛФВЭ и знакомства с научной инфраструктурой лаборатории гости приняли участие в неформальной встрече с чешскими сотрудниками Института, состоявшейся в ЛЯР, узнали об их жизни и работе в Дубне. На заключительной встрече с дирекцией были подведены итоги визита и намечены планы дальнейшего сотрудничества.

24–26 октября ОИЯИ посетила делегация Центра по изучению тяжелых ионов им. Г. Гельмгольца (GSI, Дармштадт), в состав которой входили технический директор GSI и проекта FAIR Й. Блаурок, руководитель проекта SIS100/SIS18 П. Шпиллер, глава отдела сверхпроводящих магнитов К. Ру, а также сотрудники этого отдела А. Блейле и Э. Фишер. Визит был нацелен на подписание документов о совместных работах в области сверхпроводящих магнитов. Срок действия предыдущего соглашения о сотрудничестве ОИЯИ–GSI истек 1 августа 2018 г., и стороны выразили намерение продолжать и развивать это успешное сотрудничество.

Гости посетили лаборатории ядерных реакций, информационных технологий и физики высоких

энергий. В ЛФВЭ Й. Блаурок прочел ознакомительную лекцию, посвященную системе управления проектом FAIR, ходу работ по проекту и участию в нем ОИЯИ. Рабочая часть визита также включала встречи делегации с руководством ОИЯИ и лабораторий Института.

26 октября по итогам визита было подписано рамочное Соглашение о сотрудничестве между GSI, FAIR и ОИЯИ. В рамках реализации этого соглашения стороны подписали контракт на проведение в ОИЯИ криогенных испытаний сверхпроводящих магнитов ускорителя SIS100.

31 октября в ЛФВЭ был проведен день открытых дверей для знакомства с проектом NICA, организованный Советом молодых ученых и специалистов (СМУиС) ЛФВЭ. Программа включала тематические лекции на английском языке и экскурсии по лаборатории и на стройплощадку NICA. Это был первый опыт проведения мероприятия такого рода в ОИЯИ. Участники были разделены на 6 групп по 13 человек. Заявок на участие было подано гораздо больше, организаторам в силу объективных причин пришлось осуществить отбор в пользу иногородних и студентов вузов, таких как МИФИ и МГУ.

Курс лекций открыл председатель СМУиС ЛФВЭ К. Рослон. Вводную лекцию об ЛФВЭ прочел А. Апарин, а лекцию об ускорительном комплексе и фабрике магнитов — М. Шандов. Доклады об основных экспериментах NICA представили А. Рамздорф (об ионных источниках), П. Батюк (об эксперименте VM@N), Н. Герасиев (об эксперименте MPD), А. Грибовски (об эксперименте SPD). Лекторам были вручены благодарственные сертификаты.

Затем группы участников в сопровождении молодых сотрудников лаборатории отправились с экскурсией на синхрофазотрон, стройплощадку NICA, фабрику сверхпроводящих магнитов, на установку эксперимента с фиксированной мишенью VM@N.

Подводя итоги дня открытых дверей, организаторы и участники отметили, что такая форма популяризации науки востребована.

30 ноября в Доме ученых им. А. П. Александрова в Москве состоялась торжественная церемония присуждения звания почетного доктора НИЦ «Курчатовский институт». Почетное звание присвоено директору ОИЯИ академику В. А. Матвееву, президенту Российской академии наук А. М. Сергееву и ректору Московского государственного университета В. А. Садовничему.

Президент НИЦ «Курчатовский институт» член-корреспондент РАН М. В. Ковальчук вручил дипломы, медали и мантии почетных докторов, подчеркнув, что в 2018 г. почетного звания удостоились блестящие ученые, возглавляющие организации, которые тесно сотрудничают с научно-исследовательским центром. В своей ответной речи В. А. Матвеев отметил, что звание почетного доктора

НИЦ «Курчатовский институт» является честью для любого ученого.

3–7 декабря в ОИЯИ работала 9-я международная стажировка для научно-административного персонала «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-9). В ней участвовали сотрудники профильных министерств, исследовательских и образовательных организаций из Вьетнама, Ирака, Кубы, Руанды и Чили.

По традиции в первый день стажировки дирекция ОИЯИ приветствовала участников JEMS в Доме ученых. Дирекцию представляли вице-директора Б. Ю. Шарков, Р. Леднижки и главный ученый секретарь А. С. Сорин. Участники стажировки рассказали о тех задачах, которые они решают в своих организациях, и о возможностях развития сотрудничества с ОИЯИ. Состоялся первый обмен мнениями по целому ряду актуальных вопросов.

В соответствии с устоявшейся программой участники стажировки знакомились с различными аспектами деятельности ОИЯИ, слушали тематические лекции ведущих специалистов Института, посещали базовые установки. Благодаря активной позиции участников программа была оперативно расширена, в частности, в нее была включена лекция по физике частиц и участию ОИЯИ в крупнейших мировых проектах.

Итоги были подведены на традиционном круглом столе, в ходе которого участники поделились впечатлениями о стажировке, рассказали о ее итогах и своих планах. В числе практических итогов стажировки — выработанные совместно с участниками программы действия и другие документы, которые, в частности, были символически переданы во время круглого стола представителям Ирака и Руанды. Стажировка внесла свой вклад и в планирование ближайших мероприятий на Кубе, в Чили и во Вьетнаме.

7 декабря ОИЯИ посетила совместная делегация Аэрокосмического агентства Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (NASA) и Института медико-биологических проблем (ИМБП) РАН.

В состав делегации NASA входили директор программы по исследованию человека В. Палоски, главный научный руководитель программы Дж. Фогарти, заместитель главного научного руководителя по международному сотрудничеству Л. Вега, научный руководитель отдела исследований человеческих факторов и поведенческой активности Т. Вильямс, директор отдела медицинской политики и этики NASA М. Вейланд, менеджер по интеграции международных научных исследований И. Кофман. ИМБП представляли директор академик О. И. Орлов, сотрудники Т. Н. Агапцева, М. С. Белаковский, Б. И. Мещеряков и В. А. Шуршаков.

В течение ряда лет ИМБП и ОИЯИ в сотрудничестве с МГУ и НИИ медицинской приматологии РАМН проводят на различных животных совместные исследования влияния космических видов излучений, что является одним из предметов научного интереса NASA. В Дубну представители NASA прибыли с целью определить области возможных интересов и направления сотрудничества в исследованиях влияния действия тяжелых заряженных частиц на животных.

Гости совершили экскурсии в лаборатории ОИЯИ. В ЛРБ представители NASA уделили особое внимание исследованиям радиационной безопасности полетов в дальний космос. В ЛФВЭ делегация посетила стройплощадку возводимого ускорительного комплекса NICA и фабрику сверхпроводящих магнитов. В ЛЯР гостям были представлены результаты деятельности по синтезу сверхтяжелых элементов и достижения в этой области, состоялось знакомство с фабрикой сверхтяжелых элементов.

В ходе итоговой встречи делегации с руководством Института было высказано предложение о присоединении ОИЯИ к уже существующей коллаборации NASA – ИМБП РАН. Развитие сотрудничества в этом направлении обсуждалось на итоговом расширенном заседании в ИМБП, которое прошло 13–14 декабря в Москве.

8 декабря в Доме культуры «Мир» состоялся торжественный вечер, организованный посольством Румынии в РФ и ОИЯИ и посвященный 100-летию со дня образования унитарного государства Румыния — 1 декабря 1918 г. Трансильвания объединилась с королевством Румыния в единое государство. Праздник украсило выступление румынского фольклорного ансамбля «Цара Вранчей» (г. Фокшань).

Торжественный вечер открыл необычайный и полномочный посол Румынии в РФ В. Соаре, который посвятил свое выступление обзору исторических событий, предшествовавших великому объединению румын. «Это деяние не одного политика, правительства или какой-то партии, а всего народа, — отметил В. Соаре. — Последние сто лет Румыния поддерживает принципы международного права и добрососедства, выступает за укрепление сплоченности государств, входящих в Европейский союз».

Вице-директор ОИЯИ Р. Ледницки передал поздравления румынскому народу от дирекции Института и зачитал приветствие, в котором, в частности, говорилось: «Посольство Румынии в РФ играет большую роль в расширении сотрудничества Румынии с ОИЯИ. Мы рады приветствовать в ДК "Мир" румынский фольклорный коллектив "Цара Вранчей". Румынские артисты не раз посещали Дубну. В 2010 г. при участии посольства в нашем городе впервые была организована Неделя румынского кино. Нам приятно, что Дубна — первый после Москвы город в гастрольном турне этого ансамбля. Надеемся на продолжение успешного развития куль-

турных связей, а народу Румынии желаем мира, добра и процветания!»

В течение всего концерта на экране большого зала ДК демонстрировались ролики, знакомящие с природными и архитектурными достопримечательностями Румынии, ее народными ремеслами, достижениями в науке, промышленности и спорте.

10 декабря в Доме Правительства Российской Федерации в рамках рабочего визита федерального министра образования и научных исследований Германии А. Карличек состоялись двусторонние переговоры. В состав российской делегации вошли заместитель Председателя Правительства Российской Федерации Т. А. Голикова, помощник Президента РФ А. А. Фурсенко, министр науки и высшего образования М. М. Котюков, первый заместитель министра науки и высшего образования Г. В. Трубников.

В ходе переговоров были обозначены планы научно-технологического сотрудничества на ближайшее десятилетие и подписана дорожная карта сотрудничества двух стран. Стороны договорились приложить серьезные усилия для поддержки талантливой научной молодежи. Немецкие партнеры подтвердили свою готовность участвовать в проектах на базе исследовательского реактора ПИК, а также комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA.

В переговорах приняли участие президент НИЦ «Курчатовский институт» М. В. Ковальчук, директор ОИЯИ В. А. Матвеев, член правления Юлихского научно-исследовательского центра С. Шмидт и научный руководитель Центра по исследованию ионов и антипротонов и Центра по изучению тяжелых ионов им. Г. Гельмгольца П. Джубелино. Представители обеих делегаций приветствовали принятое 6 декабря 2018 г. совместное заявление министров иностранных дел России и Германии о проведении российско-германского года научно-образовательных партнерств в 2019–2020 гг.

12–14 декабря ОИЯИ посетила делегация Республики Кореи: директор отдела планирования и координации Министерства науки, информационно-коммуникационных технологий и планирования будущего Хёхи Ли, старший научный сотрудник этого отдела Со Хён Ким, глава пользовательского центра RAON, профессор факультета физики Университета Сонгюнган Сын У Хон, президент Ассоциации пользователей RAON, профессор факультета электронных дисплеев Университета Хосео Чханбум Мун.

Во время посещения ЛЯР гости ознакомились с фабрикой сверхтяжелых элементов, сепаратором радиоактивных ядер ACCULINNA-2 и наноцентром. Профессор Сын У Хон провел семинар «Статус проекта RAON» — о строительстве нового корейского ускорителя радиоактивных ионов и подготовке первых экспериментов.

В ЛФВЭ делегация посетила стройплощадку коллайдера NICA, детектор VM@N, фабрику сверхпроводящих магнитов. Состоялись также встречи с представителями лабораторий теоретической и нейтронной физики, с руководителями Учебно-научного центра и филиала НИИЯФ МГУ.

На встрече в дирекции ОИЯИ представители Республики Кореи приветствовали вице-директора М. Г. Иткис и Р. Ледницки. Гости выразили заинтересованность в установлении сотрудничества не только в научных исследованиях, но и в сфере подготовки молодых корейских ученых на базе ОИЯИ.

15 декабря в Каире, в Академии наук и технологий Египта, состоялась 8-я сессия объединенного комитета по сотрудничеству АРЕ–ОИЯИ, в которой приняла участие делегация ОИЯИ во главе с вице-директором Р. Ледницким.

Р. Ледницки открыл рабочую программу сессии презентацией об основных событиях в жизни ОИЯИ. Заместитель директора ЛНФ Е. В. Лычагин и заместитель директора ЛИТ Т. А. Стриж представили обзор направлений развития своих лабораторий. Директор УНЦ С. З. Пакуляк и руководитель группы египетских сотрудников в ОИЯИ В. Бадави проинформировали о совместной работе по подготовке молодых научных кадров. Член комиссии по ядерным наукам Египта, профессор Университета Загазига М. Шаир представил анализ организационных вопросов студенческих практик и предложения по дальнейшему развитию этого формата сотрудничества. Начальник отдела международных связей ОИЯИ Д. В. Каманин выступил с презентацией дорожной карты развития сотрудничества ОИЯИ с Египтом. Участники сессии наметили ряд совместных

мероприятий на ближайшие два года. Итогом сессии стало подписание дорожной карты, что, по общему мнению сторон, является отправной точкой нового этапа кооперации.

26 декабря состоялось заседание НТС ОИЯИ, которое было открыто сообщением директора ЛЯР С. Н. Дмитриева о первом пучке ускоренных тяжелых ионов, полученном на циклотроне ДЦ-280 — базовой установке фабрики сверхтяжелых элементов. Доклад начальника отдела международных связей Д. В. Каманина был посвящен вопросам расширения горизонтов международного сотрудничества ОИЯИ.

Вице-директор ОИЯИ Б. Ю. Шарков проинформировал членов НТС о новом специализированном международном конкурсе ОИЯИ для молодых ученых. Созданный консультативный комитет (председатель В. А. Матвеев, заместитель председателя Б. Ю. Шарков), в который вошли ведущие ученые ОИЯИ, будет осуществлять прием и рассмотрение заявок от лабораторий ОИЯИ.

Председатель НТС Р. В. Джолос познакомил участников заседания с проектом решения по вопросу об инновационной деятельности. НТС рекомендовал дирекции ОИЯИ продолжить разработку концепции инновационной деятельности, в частности, предложил сформировать при главном инженере ОИЯИ совет по инновациям для рассмотрения представленных лабораториями разработок, имеющих инновационную перспективу, а также группу в Управлении Института, основной задачей которой будет поддержка и продвижение инновационных проектов на технологических рынках стран-участниц ОИЯИ.

С докладом об итогах уходящего года выступил директор ОИЯИ В. А. Матвеев.

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ ОИЯИ

Среди научных конференций и рабочих совещаний, организованных ОИЯИ в 2018 г., наиболее крупными были двенадцать.

С 29 января по 3 февраля в университете «Дубна» прошла юбилейная 25-я Международная междисциплинарная конференция «*Математика. Компьютер. Образование*». С самого начала Объединенный институт ядерных исследований выступает соорганизатором этой серии конференций, целью которых является объединение усилий работников науки и высшей школы, сохранение традиций российской науки и образования, повышение квалификации научных и педагогических кадров в области математического моделирования и информационных технологий, привлечение молодежи в сферу науки и образования. В 2018 г. в конференции приняли участие более двухсот представителей вузов и научных организаций. В рамках конференции были заслушаны пленарные доклады ведущих ученых, проведены стендо-

вые сессии, круглые столы, мастер-классы по современным информационным технологиям и математическому моделированию в биологии, методике преподавания, математике. При поддержке Российского фонда фундаментальных исследований был проведен уже ставший традиционным симпозиум с международным участием «Биофизика сложных систем: вычислительная и системная биология, молекулярное моделирование, медицинская биофизика». Наряду с традиционными секциями прошли тематические круглые столы «Большие данные и облачные технологии. Искусственный интеллект и квантовый компьютинг», «Цифровая экономика» и «Электронные образовательные ресурсы и технологии».

29 января пленарное заседание началось с обзорного доклада ректора государственного университета «Дубна» Д. В. Фурсаева «Гравитационные волны: наши знания о Вселенной на пороге перемен». В докладе были отражены современные представления о процессах во Вселенной и перспективы

их дальнейшего изучения. Заседание продолжил директор ОИЯИ академик В. А. Матвеев, который рассказал о стратегических направлениях развития ОИЯИ, междисциплинарных исследованиях, объединяющих современные перспективные области физики и биологии. 30 и 31 января пленарные заседания включали доклады, касающиеся анализа больших данных. В докладе «Структура алгоритмов — вызов для вычислительных наук» В. В. Воеводин (МГУ им. М. В. Ломоносова) рассказал о проблемах, возникающих при создании новых алгоритмов для анализа больших данных. Директор ЛИТ, зав. кафедрой распределенных информационно-вычислительных систем университета «Дубна» В. В. Кореньков сделал обзорный доклад о тенденциях развития распределенных вычислений и аналитики больших данных. Тема анализа больших данных была продолжена в докладе П. В. Зрелова (ЛИТ) «Технология и аналитика больших данных». Яркий доклад «Квантовое превосходство. Что нас ждет после появления универсального квантового компьютера», вызвавший большое количество вопросов и дискуссию, был сделан Р. В. Душкиным (Москва). 1 февраля на посвященном моделированию сложных биологических систем заседании А. Н. Бугай (ЛРБ) рассказал о новых подходах к моделированию радиационно-индуцированных нарушений в нервной системе. 2 февраля доклады пленарного заседания были посвящены памяти академика Н. Н. Моисеева.

В рамках конференции при поддержке фонда «Русский мир» был проведен общероссийский семинар «Русский научный язык». В центре внимания — проблема сохранения и возрождения роли русского языка в развитии науки. Среди участников — профессиональные филологи и лингвисты, а также представители самых разных научных специальностей — математики, физики, биологи из разных городов России. Ученые поделились собственным опытом научных исследований, преподавания, написания статей. На конференции было принято решение создать рабочую группу по русскому языку в науке. Начата разработка рекомендаций, направленных на популяризацию науки на русском языке. Предполагается, что эта работа будет вестись в тесном контакте с учеными, издателями научной литературы, научными фондами и представителями власти.

Необходимо отметить гостеприимство и организационные усилия университета «Дубна» и ОИЯИ по приему участников конференции, демонстрационное обеспечение докладов, организацию видеотрансляции заседаний и представление видеоматериалов на YouTube-портале университета.

С 27 мая по 2 июня в местечке Рощино на Валдае проходил *20-й Международный семинар по физике высоких энергий «Кварки» («Кварки-2018»)*. Организаторами семинара выступали Институт ядерных исследований РАН (Троицк) и Объединенный

институт ядерных исследований. Международный семинар «Кварки» является одной из крупнейших российских площадок для представления и обсуждения новейших результатов исследований в области теоретической физики частиц и космологии. Семинар проводится один раз в два года, начиная с 1980 г. Нынешний семинар собрал 180 участников, в том числе около 40 иностранных ученых из Швейцарии, Франции, Германии, Италии, США, Канады, Японии и других стран. Каждый из участников представил результаты своей научной работы в рамках пленарного или секционного доклада.

Широкая программа семинара включала в себя такие актуальные направления, как физика за пределами Стандартной модели (редкие процессы, феноменология бозона Хиггса, экзотика); космология и астрофизика частиц; теория гравитации и ее модификации; физика нейтрино; квантовая хромодинамика, сильные взаимодействия; избранные вопросы математической физики; новейшие результаты избранных экспериментов.

Особое внимание на семинаре было уделено наиболее актуальным в настоящее время вопросам, таким как аксиноподобная и ультралегкая темная материя, астрофизика гравитационных волн, АдС/КТП феноменология, аномалии в данных Большого адронного коллайдера, нарушение лоренц-инвариантности и условия энергодоминантности, духовые неустойчивости и т. п. В рамках семинара ряд приглашенных российских и международных экспериментальных групп, исследовательская деятельность которых связана с тематикой семинара, представили свои новейшие результаты, что способствовало тесному и эффективному взаимодействию между теоретиками и экспериментаторами.

Таким образом, на международном семинаре «Кварки-2018» были представлены наиболее актуальные теоретические и экспериментальные результаты, обсуждение которых определяет и координирует дальнейшее развитие всех соответствующих областей физики как внутри страны, так и на мировом уровне. В рамках мероприятия молодые ученые имели возможность не только представить свои перспективные работы научному сообществу, но и узнать об актуальных направлениях исследований и их текущем статусе. Часть молодых ученых получила полную или частичную финансовую поддержку для участия в семинаре, что позволит вовлечь их в активную научную работу.

С 28 мая по 1 июня в Сиане (Китай) проходил ежегодный *Международный семинар по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-26)*. В 2018 г. впервые соорганизаторами ISINN, кроме его основателя и многолетнего организатора — Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, стали Северо-Западный институт ядерных технологий (NINT) и Сианьский Цзютун университет (XJTU), а также

Китайское общество радиационной физики (CNS). Семинар привлек внимание специалистов из основных ядерных центров Китая — Китайской академии инженерной физики, Китайского института радиационной защиты, Китайского института атомной энергии, Института физики высоких энергий, университетов Ланьчжоу, Пекина, Сычуаня и др. В нем приняли участие около 170 человек из 12 стран. По традиции участвовала большая группа исследователей из стран-участниц ОИЯИ, а также из Египта, Италии, Пакистана, США, Франции, Южной Кореи и Японии. По тематике семинара было сделано 23 приглашенных доклада, 47 устных и представлено 64 постера.

Открывая семинар, сопредседатель оргкомитета директор NINT профессор Донвей Хей подчеркнул, что ему очень приятно видеть участников ISINN-26 в Сиане — столице древнего Китая, игравшей важную роль связующего звена между Западом и Востоком. Директор ЛНФ ОИЯИ В. Н. Швецов поблагодарил китайских коллег за проделанную работу по организации ISINN-26 — конференции, которая уже 26 лет ежегодно собирает специалистов из многих стран мира. С приветственными словами выступили руководитель департамента международных связей и обменов XJTU профессор Ли Лянг и почетный председатель ISINN-26 В. И. Фурман (ОИЯИ), которые подчеркнули, что традиционный обмен знаниями между опытными и молодыми исследователями продолжается. А поскольку конференция привлекла большое число молодых людей, значит, нейтронные исследования имеют будущее.

На первых пленарных сессиях с приглашенными докладами выступили В. И. Фурман («Экспериментальные и теоретические аспекты ядерного деления, индуцированного резонансными нейтронами»), В. Н. Швецов («Ядерная планетология»), Джин Ю Тан («Состояние дел на CSNS и установке Back-n White Neutrons»), Дж. Талиенте («Установка n_TOF в ЦЕРН»), П. Гельтенборт («Фундаментальная нейтронная физика в ILL»), Сичао Руан («Прогресс в измерениях ядерных данных в Институте атомной энергии Китая»), Гон Жиань («Перспективы изучения нейтронного рассеяния в Китае»).

Пленарные заседания и приглашенные доклады второго дня семинара были посвящены как вопросам фундаментальной ядерной физики, так и глубоко практическим задачам. Большой интерес вызвали сообщения, посвященные исследованию коллинеарного кластерного деления. Необычные свойства этой экзотической моды ядерного деления до сих пор вызывают активное обсуждение и критические замечания, что, в свою очередь, инициирует новые эксперименты. Оживленную дискуссию вызвали доклады об исследованиях по нейтронно-активационному анализу, о детекторном окружении и оригинальном холодном замедлителе на реакторе ИБР-2М.

Третий и четвертый дни семинара проходили в форме двух параллельных сессий и общей постерной сессии. Доклады ученых из ОИЯИ, России, Китая и других стран охватывали широкий круг вопросов — от нарушения фундаментальных симметрий в ядерном делении до параметров нейтронных источников на сильноточных протонных ускорителях, работающих в России и только что введенных в строй в Китае, и экспериментов на них.

Активное обсуждение вызвали доклады по разработке перспективных экспериментальных методик. Широкая география докладчиков сессии, посвященной применению нейтронно-активационного анализа в экологии и археологии, обеспечила активную дискуссию представленных результатов.

Во время трехчасовой постерной сессии была возможность детально обсудить многие интересные эксперименты, выполненные молодыми китайскими участниками семинара, а также исследователями из других стран.

Итоги конференции на заключительном пленарном заседании подвели директор NINT Донвей Хей и директор ЛНФ ОИЯИ В. Н. Швецов. Они отметили успешный опыт проведения Международного семинара по взаимодействию нейтронов с ядрами ISINN-26 в Китае и выразили надежду на реализацию планов по дальнейшей совместной организации и проведению совещаний этой серии. Успешному проведению ISINN-26 способствовала серьезная финансовая поддержка китайских спонсоров, которая обеспечила, в частности, существенное уменьшение расходов для участников семинара от ОИЯИ.

С 20 июня по 3 июля в местечке Маратеа, к югу от Неаполя (Италия), проходила ежегодная, уже 26-я по счету *Европейская школа по физике высоких энергий (ESHEP-2018)*.

Эта серия школ, хорошо известных в прошлом как «школы ЦЕРН–ОИЯИ», традиционно привлекает большое внимание молодежи благодаря серьезной научной программе, хорошо отработанному формату и тщательному подбору лекторов и лидеров дискуссий.

Важную роль в программе играют и сами слушатели. На школе они представляют постеры о своей работе и, после специального обучения, разбившись на группы, готовят студенческие проекты по представлению научных результатов широкой общественности. Их активность определяет и успех дискуссионных сессий, которые проводятся ежедневно после лекций.

Всего в работе школы 2018 г. приняли участие 105 слушателей, которые были отобраны из более чем 200 кандидатов на основе их научного потенциала и участия в актуальных исследованиях.

Научная программа школы включала базовые лекции по основным направлениям современной физики высоких энергий, представляющим особый ин-

терес и с точки зрения основных направлений исследований ОИЯИ — физики тяжелых ионов и физики нейтрино.

На этот раз в качестве лектора по базовому курсу «Квантовая теория поля и Стандартная модель» от ОИЯИ выступил А. Бедняков, а в качестве лидеров дискуссий — А. Пикельнер и Р. Садыков.

Традиционные лекции о научных программах и перспективах исследований были представлены на школе генеральным директором ЦЕРН Ф. Джанотти и директором ОИЯИ В. А. Матвеевым.

Таким образом, Европейские школы по физике высоких энергий, организуемые совместно ЦЕРН и ОИЯИ, на высоком уровне продолжают выполнять свою научную и культурную миссию, постоянно совершенствуя программу и формы общения со слушателями и общественностью.

С 3 по 5 июля в Дубне работала международная конференция «*Биомониторинг атмосферных загрязнений*» (*BioMAP-8*). Конференции этой серии проходят с 1997 г. раз в три года в разных странах мира: Португалии, Словении, Греции, Аргентине, Турции. BioMAP-8 впервые проводилась в России и была организована сектором нейтронного активационного анализа и окружающей среды ЛНФ ОИЯИ. Биомониторинг — чувствительный, избирательный и удобный метод управления качеством воздуха. Целью этих научных встреч является распространение знаний о методах и стратегиях мониторинга окружающего воздуха. Приглашенными докладчиками конференции стали ведущие ученые и эксперты в области экологии и биомониторинга из Австрии, Великобритании, Норвегии, России и США.

Участников BioMAP-8 приветствовал вице-директор ОИЯИ М. Г. Иткис. Председатель оргкомитета М. В. Фронтасьева (ЛНФ) познакомила с историей проведения этих конференций, а также представила общую картину глобального загрязнения воздуха. На конференции с постерными докладами выступили молодые сотрудники Лаборатории нейтронной физики.

С 9 по 13 июля в Праге (Чехия) на факультете ядерной физики и инженерии Чешского технического университета работал *32-й Международный коллоквиум по групповым теоретическим методам в физике («Group-32»)*, организованный при участии ОИЯИ. Коллоквиум носит междисциплинарный характер и нацелен на объединение усилий экспертов и молодых исследователей из различных областей.

Первый коллоквиум этой серии состоялся в 1972 г. в Марселе, и с тех пор его проведение стало регулярным. В настоящее время групповые теоретические методы находят самое широкое применение в физике — от исследований по физике частиц до физики гравитации, поэтому подобные коллоквиумы по их значимости для развития науки можно сравнить

с Рочестерскими конференциями по физике высоких энергий. Еще одна традиция коллоквиумов восходит к 1978 г., когда была учреждена медаль за выдающиеся заслуги в области развития теоретико-групповых методов, которая была вручена американскому физику-теоретику Юджину Вигнеру. С тех пор эта медаль носит его имя и вручается в качестве признания «выдающегося вклада в понимание физики через теорию групп».

Торжественное открытие мероприятия состоялось в концертном зале Пражской консерватории. Серия коллоквиумов по групповым теоретическим методам в физике традиционно посвящена применению симметрии и групповых теоретических методов в физике, математике и других науках, а также разработке математических инструментов и теорий для развития теории групп и симметрий. За прошедшие годы данная теория была существенно расширена и диверсифицирована благодаря успешному применению групповых теоретических, геометрических и алгебраических методов в науках о жизни и других областях.

В рамках коллоквиума состоялось вручение премии им. Германа Вейля, одного из крупнейших математиков XX в. Премия вручается молодым ученым, выполнившим оригинальную работу значительного научного качества в области понимания физики через теорию симметрий. Торжественная церемония вручения наград состоялась 12 июля в Вифлеемской капелле, являющейся важнейшим культурным и религиозным памятником Праги.

С 10 по 14 сентября в Лаборатории информационных технологий проходила 8-я Международная конференция «*Распределенные вычисления и грид-технологии в науке и образовании*» (*GRID'2018*). Конференция, проводимая каждые два года, представляет собой уникальную площадку для обсуждения широкого спектра вопросов, связанных с использованием и развитием распределенных грид-технологий, гетерогенных и облачных вычислений в различных областях науки, образования, промышленности и бизнеса. Конференция традиционно привлекла многочисленное сообщество российских и зарубежных специалистов, готовых обсудить возникающие задачи и перспективы развития современных информационных технологий. В ее работе приняли участие более 250 ученых из научных центров Белоруссии, Болгарии, Германии, Грузии, Китая, Молдовы, Румынии, Словакии, Франции, Чехии, Швеции и др. Россия была представлена участниками из более чем 30 университетов и исследовательских центров. Работали 11 секций, на которых обсуждались вопросы, связанные с развитием технологий распределенных вычислений, облачных технологий, гетерогенных вычислений, добровольных вычислений и аналитики больших данных.

Финансовую поддержку проведению конференции оказала дирекция ОИЯИ, также спонсорами и партнерами конференции выступили Huawei, IBS Platformix, «Ниагара Компьютерс», Supermicro, Jet infosystems, Schneider Electric, NVIDIA, Dell EMC, RSC Group, Intel, Cisco, Extreme Networks, Softline. Информационную поддержку оказали PARALLEL.RU, издательство «Открытые системы» и международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование».

Конференцию открыл директор ОИЯИ В. А. Матвеев докладом, посвященным современному состоянию и перспективам развития Института. Докладчик подчеркнул, что информационная инфраструктура ОИЯИ — одна из динамично развивающихся базовых установок Института, а примечательным достижением 2018 г. является ввод в эксплуатацию суперкомпьютера «Говорун».

Пленарную сессию открыл председатель оргкомитета конференции директор ЛИТ В. В. Кореньков докладом о текущем состоянии и перспективах развития Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК) ОИЯИ. Особое внимание в докладе было уделено распределенным вычислениям, выполняемым в сотрудничестве с ЦЕРН, BNL, FNAL, FAIR, Китаем и государствами-членами ОИЯИ, а также планам развития МИВК как центра научного компьютеринга для междисциплинарных исследований, проводимых в ОИЯИ и странах-участницах, в том числе и для мегасайенс-проектов, таких как NICA.

На конференции было представлено 33 пленарных, более 120 секционных и 26 стендовых докладов. Были проведены плодотворные обсуждения и дискуссии, предложены новые IT-проекты, направленные на развитие распределенных и высокопроизводительных вычислений, а также сложились новые направления сотрудничества ЛИТ с организациями, университетами России и стран-участниц ОИЯИ. Презентации сделанных докладов, электронный вариант сборника тезисов и фотоматериалы размещены на сайте конференции <http://grid2018.jinr.ru>.

В рамках конференции прошла международная школа «Научный компьютеринг, аналитика больших данных и технологии машинного обучения для мегасайенс-проектов», нацеленная на привлечение молодых ученых, аспирантов и студентов к решению IT-задач, связанных с различными аспектами мегапроектов в области физики высоких энергий, ознакомление с современными методами аналитики больших данных, технологиями машинного обучения на высокопроизводительных вычислительных системах, применяемыми для решения этих задач. Лекционная и обучающая программы школы позволили участникам увидеть все аспекты исследований, связанных с большими данными, на примере мегапроекта NICA и экспериментов на Большом адронном коллайдере как главных источников больших данных в физике

высоких энергий. В рамках школы были организованы учебные курсы по распределенным системам сбора, обработки, управления и хранения информации, использованию высокопроизводительных и высокоскоростных вычислительных систем (суперкомпьютеров, компьютерных кластеров) для обработки и моделирования данных физических экспериментов, в том числе методами машинного обучения. Участники школы имели возможность послушать пленарные доклады известных в мире ученых и специалистов в области грид-технологий и распределенных вычислений, представленные на конференции.

В школе приняли участие 46 студентов, специализирующихся в области информационных технологий, из ведущих вузов стран-участниц ОИЯИ, а также Суэцкого университета (Египет). Все студенты получили сертификаты участников школы.

С 10 по 15 сентября в Петрозаводске, столице Республики Карелии (Россия), был проведен международный симпозиум по одной из самых важных и стремительно развивающихся областей ядерной физики — физике экзотических структур ядер — «*EXON'2018*». Его организаторами были пять крупнейших научных центров, которые являются ведущими центрами по изучению экзотических структур ядер: Объединенный институт ядерных исследований (Дубна), Исследовательский центр RIKEN (Япония), Национальный центр GANIL (Франция), Центр по изучению тяжелых ионов им. Г. Гельмгольца GSI (Германия), Национальная лаборатория сверхпроводящих циклотронов (Мичиган, США). Именно поэтому представители этих пяти ведущих мировых центров стали сопредседателями оргкомитета симпозиума — Ю. Ц. Оганесян (ОИЯИ), Х. Энио (RIKEN), А. Навин (GANIL), К. Шейденбергер (GSI) и Г. Боллен (MSU).

Симпозиум был проведен при активной поддержке участников из Петрозаводского государственного университета (ПетрГУ).

В настоящее время чрезвычайно затратные и сложные физические эксперименты с использованием больших ускорителей частиц не могут быть осуществлены одной, даже очень развитой экономически, страной. Поэтому эти исследования проводятся в тесном сотрудничестве научных центров нескольких стран, каждый из которых вносит свой финансовый и интеллектуальный вклад в строительство крупнейших объектов. Эти фундаментальные исследования и методы, которые используются в них, имеют большое значение также для различных областей науки и техники, таких как нанотехнология, медицина, микроэлектроника. Примерами этого являются Большой адронный коллайдер Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) и коллайдер NICA (Дубна).

В этих центрах ученые создают и изучают ядра в экстремальных условиях — ядра при высокой

энергии возбуждения («горячие» ядра), сильно деформированные (супер- и гидродеформированные ядра с необычной формой конфигурации), сверхтяжелые ядра с количеством протонов $Z > 110$, ядра с чрезмерно высоким числом нейтронов (нейтронно-избыточные ядра) или протонов (протонно-избыточные ядра). Изучение свойств ядерной материи в экстремальных условиях дает важную информацию о свойствах микромира и возможность имитировать различные процессы, протекающие во Вселенной.

В симпозиуме EXON'2018 приняли участие более 130 ученых из 18 стран, большинство из которых являются ведущими экспертами в области ядерной физики. Самые представительные делегации были из Японии, Китая, Франции и США. Исследовательские центры этих стран заинтересованы в сотрудничестве с ОИЯИ и научными центрами России.

В научную программу были включены различные доклады по важным областям физики экзотических и сверхтяжелых ядер, а также о новых проектах самых больших экспериментальных объектов и ускорительных комплексов. Кроме того, были организованы дискуссии с участием ведущих ученых различных исследовательских центров мира. Они обсудили вопросы сотрудничества в области фундаментальной физики тяжелых ионов и прикладных исследований.

Отдельный день симпозиума был посвящен существующим и будущим ускорительным комплексам для тяжелых ионов и радиоактивных ядер в ведущих научных центрах мира. Пять лабораторий-соучредителей симпозиума в настоящее время создают новое поколение ускорителей, которые позволят значительно продвинуться в синтезе и изучении свойств новых экзотических ядер.

Перед открытием симпозиума в течение двух дней была проведена школа «Современная ядерная физика и ядерная медицина», на которой ведущие профессора ОИЯИ прочитали лекции по современным проблемам ядерной физики и ядерной медицины для студентов, аспирантов и профессоров ПетрГУ.

Всего на EXON'2018 было представлено около 80 устных и 30 стендовых докладов. Все они опубликованы в специальном выпуске в научно-техническом издательстве World Scientific Publishing.

С 17 по 22 сентября в Дубне прошел 24-й Международный Балдинский семинар по проблемам физики высоких энергий «*Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика*», организованный Лабораторией физики высоких энергий и Лабораторией теоретической физики ОИЯИ. Семинар был поддержан Международным союзом теоретической и прикладной физики (IUPAP) и Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ).

В 2018 г. семинар собрал рекордное количество участников — 259, из них 73 — молодые физики. Общее число докладов 183, включая 47 пленарных

докладов. В работе семинара приняли участие ученые из Азербайджана, Армении, Белоруссии, Болгарии, Бразилии, Германии, Ирана, Италии, Казахстана, Молдовы, Монголии, Польши, России, Словакии, США, Украины, Узбекистана, Франции, Чехии, Эстонии, Японии.

Открыл семинар директор ОИЯИ академик В. А. Матвеев. Он напомнил, что этот семинар был организован академиками М. А. Марковым и А. М. Балдиным в 1969 г. и регулярно раз в два года проводится в Дубне, получив в среде физиков название «Балдинская осень». В. А. Матвеев подчеркнул роль А. М. Балдина в становлении релятивистской ядерной физики в ОИЯИ, отметил важность проведения подобных семинаров для развития науки в ОИЯИ и поддержки таких проектов, как NICA, и пожелал успешной работы участникам семинара.

Директор Лаборатории физики высоких энергий В. Д. Кекелидзе в своем выступлении подчеркнул высокую оценку, данную IUPAP семинару, а также пожелал успехов участникам семинара, интересных докладов и полезных дискуссий.

Перед началом заседаний по поручению президента Российской инженерной академии и Международной инженерной академии Б. В. Гусева сопредседатель оргкомитета семинара профессор А. И. Малахов вручил диплом действительного члена Международной инженерной академии болгарскому ученому И. И. Цакову за активное участие в инженерных проектах в ОИЯИ и других мировых научных центрах.

Традиционно на семинаре были представлены доклады практически от всех известных коллабораций в мире, успешно работала секция по задачам, связанным с реализацией проекта NICA в ОИЯИ. Большое количество докладов было посвящено методическим разработкам, выполняемым в рамках проекта NICA. Темой специальной секции на семинаре стало изучение экзотических ядер в релятивистских пучках. С особым интересом были выслушаны и обсуждены доклады на секции по поляризационным явлениям и спиновой физике. Этот интерес был вызван рядом сообщений, связанных с успешно прошедшим в прошлом году на нуклотроне сеансом на пучке поляризованных дейтронов.

Доклады многих молодых ученых были сделаны на высоком научном уровне. Это касается большого числа результатов по моделированию экспериментов на коллайдере NICA и по анализу данных, полученных на нуклотроне и в международных коллаборациях.

На одном из заседаний семинара А. В. Зарубин выступил с презентацией книги итальянских физиков А. Нисати и Г. Тонелли «Открытие бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере», изданной в ОИЯИ на русском языке.

Традиционно на последнем пленарном заседании были сделаны обзоры современного состояния по ак-

туальным проблемам не только в физике высоких энергий. Ознакомиться с докладами можно на сайте семинара <http://relnp.jinr.ru/ishepp/index.html>.

В рамках культурной программы для участников семинара в Доме ученых ОИЯИ был организован прекрасный концерт лауреатов международных и российских конкурсов под руководством профессора Московской государственной консерватории им. П. И. Чайковского М. Гришиной, а также экскурсия в Воскресенский Новоиерусалимский монастырь (г. Истра).

Со 2 по 4 октября впервые в Дубне работало *международное рабочее совещание по нейтринным телескопам очень большого объема (VLVnT-2018)*. Это регулярная, восьмая по счету встреча специалистов в области нейтринной и многоканальной астрономии, оборудования для современных и будущих крупномасштабных детекторов в воде и во льду. В Дубне встретились более 120 специалистов из научных центров Бельгии, Германии, Голландии, Италии, Китая, Новой Зеландии, России, США, Франции, Чехии, Швеции, Японии и ОИЯИ. Темы обсуждения — астрофизика нейтрино высоких энергий, методические аспекты и оборудование нейтринных телескопов Antares, Baikal-GVD, IceCube, Km³NeT, осцилляции нейтрино, исследования окружающей среды с помощью нейтрино и др.

Выступления всех участников совещания сопровождались активной дискуссией. На совещании был представлен ряд докладов по проекту «Байкал-GVD»: о ходе работ по созданию детектора и планах на ближайший год, а также о результатах первых экспериментов на нем. Общий обзор о байкальском проекте на совещании сделал В. Айнутдинов (ИЯИ РАН), а первые результаты представил Ж.-А. Джилкибаев (ИЯИ РАН).

23 октября в Доме ученых ОИЯИ состоялся *международный научно-мемориальный семинар, посвященный 110-летию со дня рождения лауреата Нобелевской и государственных премий, организатора и многолетнего руководителя Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ академика И. М. Франка*. В семинаре приняли участие сотрудники Лаборатории нейтронной физики и других лабораторий ОИЯИ, друзья Ильи Михайловича и члены многочисленной семьи Франков из нескольких стран мира.

Открывая семинар, директор ОИЯИ академик В. А. Матвеев кратко рассказал о роли Ильи Михайловича Франка в организации Лаборатории нейтронной физики и становлении ОИЯИ и о том большом пути, который прошла лаборатория за годы, когда ее возглавлял И. М. Франк. Директор ЛНФ В. Н. Швецов рассказал о личных впечатлениях от встреч с И. М. Франком и о той замечательной атмосфере, которую он застал, придя в лабораторию молодым физиком.

Научная часть семинара открылась докладом одного из пионеров создания импульсных источников нейтронов профессора Дж. Карпентера (Аргоннская национальная лаборатория, США). А. И. Франк посвятил свой доклад проблемам нейтронной оптики, остановившись на ряде нерешенных проблем этой области науки, столь близкой научным интересам И. М. Франка.

Яркий и весьма эмоциональный доклад, посвященный проблемам симметрии в молекулярной биологии, сделал профессор Московского университета В. А. Твердислов. Директор НИИЯФ МГУ профессор М. И. Панасюк посвятил свой доклад проблемам космических нейтронов и их радиационному воздействию на космические аппараты и человеческий организм в условиях космоса.

Вторая часть семинара носила мемориальный характер. Доктор М. Сульман, председатель шведского Института международных отношений, многие годы бывший исполнительным директором фонда Нобеля, сделал очень интересный доклад о системе присуждения нобелевских премий и особенностях работы нобелевских комитетов. Особое внимание он уделил истории присуждения Нобелевской премии по физике 1958 г. И. Е. Тамму, И. М. Франку и П. А. Черенкову.

Доклады П. Скорера и А. Г. Франк были посвящены истории семьи Франк, вынужденно разделенной в 1922 г. В заключительной части семинара с короткими воспоминаниями выступили сотрудники лаборатории и гости семинара, близко знавшие Илью Михайловича.

24 октября участники семинара посетили ЛНФ им. И. М. Франка, обновленный кабинет Ильи Михайловича, познакомились с фотографиями из его архива. На Введенском кладбище в Москве участники семинара возложили цветы на могилу ученого.

29–30 октября в Лаборатории физики высоких энергий проходило *2-е коллаборационное совещание по экспериментам MPD и BM@N на строящемся ускорительном комплексе NICA*. В нем приняли участие около 180 человек из Азербайджана, Белоруссии, Болгарии, Германии, Грузии, Израиля, Китая, Мексики, Польши, России, Словакии, Узбекистана, Франции, Чехии, Южной Кореи — представители научных центров, заинтересованных в участии в этих экспериментах. На первом совещании (апрель 2018 г.) был утвержден устав и избран специальный комитет во главе с профессором И. Церруя для подбора кандидатов на руководящие позиции коллабораций. На нынешнем совещании были проведены выборы, рассмотрены и обсуждены текущее состояние и планы работ по экспериментам.

На открытии совещания с приветственным словом к участникам обратился вице-директор ОИЯИ Р. Ледниcki. Были представлены три подробных обзора: по проекту NICA (В. Д. Кекелидзе), экс-

перименту MPD (В.М. Головатюк) и эксперименту VM@N (М. Н. Капишин). В этот же день состоялись выборы. Споксменом эксперимента MPD избран профессор Варшавского политехнического университета А. Кищель. Коллаборацию VM@N возглавил начальник сектора научно-экспериментального отдела MPD М. Н. Капишин.

Во второй день совещания заседания коллабораций проходили по отдельности. Обсуждались ход работ, планы, технические и производственные подробности.

В настоящее время в коллаборации MPD участвуют представители нескольких стран. Наиболее важные партнеры — это Россия, Китай, Польша, Мексика, Болгария и Грузия. В коллаборацию

VM@N входит Россия (ИТЭФ, «Курчатовский институт», МГУ, ИЯФ СО РАН, МИФИ), из научных центров других стран — Пражский университет (Чехия), Варшавский технологический институт (Польша), Тюбингенский университет (Германия), три университета из Китая, а также институты из Молдавии и Болгарии, всего 17 организаций-участников.

Следующий этап, как отметил В. Д. Кекелидзе, — заключение соглашений с конкретными институтами, которые присоединятся к коллаборациям, с указанием вклада того или иного института или научной группы: интеллектуального (анализ данных, развитие IT-технологий) или материального — в создание детектора и его обслуживание.

УЧАСТИЕ В МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНФЕРЕНЦИЯХ

В 2018 г. ученые и специалисты Объединенного института ядерных исследований приняли участие в 480 международных конференциях и совещаниях.

Наиболее крупные делегации представляли Институт на рабочем совещании по активным мишеням и времяпроекции камерам для высокоинтенсивных пучков тяжелых ионов в ядерной физике (Сантьяго-де-Компостела, Испания); Летней школе по байесовскому выводу, основам и приложениям (Беттис-Бей, ЮАР); 11-м совещании коллаборации JUNO (Наньцзян, Китай); совещании NuSPRASEN по ядерным реакциям в теории и экспериментах (Варшава, Польша); совещании коллаборации PARIS в Варшаве (Варшава, Польша); совещании «Квантовые электродинамические и хромодинамические эффекты в атомной и адронной физике» (Ланьчжоу, Китай); 35-м совещании коллаборации HADES (Дармштадт, Германия); научном семинаре «Археология Подмосковья» (Москва, Россия); рабочем совещании коллаборации NOvA (Остин, США); «Дни LHC в Белоруссии 2018» (Минск, Белоруссия); 52-й Зимней школе Санкт-Петербургского института ядерной физики РНЦ КИ по теоретической физике (Рошино, Россия); рабочем совещании коллаборации PANDA в GSI 2018 (I) (Дармштадт, Германия); 31-м совещании целевой группы Международной программы UNECE по влиянию загрязнения воздуха на растительность и урожайность (Дессау-Рослау, Германия); 11-й Международной конференции по качеству воздуха — науке и применению (Барселона, Испания); 52-й Школе ПИЯФ по физике конденсированного состояния (Сестрорецк, Россия); Международном совещании по адронной структуре и спектроскопии (IWHSS 2018) (Бонн, Германия); 31-м совещании коллаборации CBM (Дармштадт, Германия); Школе-конференции молодых ученых «Ильинские чтения» (к 90-летию академика РАН Л. А. Ильина) (Москва, Россия); 24-й Всероссийской научной конференции

студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-24) (Томск, Россия); совещании «Спонтанное и индуцированное деление очень тяжелых и сверхтяжелых ядер» (Тренто, Италия); Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2018» (Москва, Россия); совещании по ускорительному комплексу NICA (Франкфурт, Германия); 8-й Всероссийской конференции «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем» (Москва, Россия); 11-й ежегодной конференции «Полиномиальная компьютерная алгебра» (PCA'2018) (Санкт-Петербург, Россия); совещании коллаборации SuperNEMO (Орсе, Франция); аналитическом совещании коллаборации Daya Bay (Пекин, Китай); совещании по неупругому рассеянию нейтронов (Spectrina-2018) (Гатчина, Россия); семинаре Фонда им. Вильгельма и Эльзы Хереус «Формфакторы барионов: где мы находимся?» (Бад-Хоннеф, Германия); 9-й Международной конференции по ускорителям частиц (IPAC-2018) (Ванкувер, Канада); 6-й Международной конференции по сверхпроводимости и магнетизму (Анталья, Турция); совещании в рамках проекта CREMLIN (WP4) «Инжиниринг для новых нейтронных приборов и окружения образца» (Петергоф, Россия); 18-й Радиохимической конференции (RADCHEM) (Марианске-Лазне, Чехия); 27-й Международной конференции по ультра-релятивистским ядро-ядерным столкновениям (Венеция, Италия); Всероссийской конференции по проблемам динамики, физики частиц, физики плазмы и оптоэлектроники (Москва, Россия); Международном семинаре по позиционно-чувствительным нейтронным детекторам (PSND-2018) (Юлих, Германия); Европейском совещании по эксперименту JUNO (Страсбург, Франция); международной конференции «Физика жидкого состояния: современные проблемы» (PLMMP-2018) (Киев, Украина); 25-м Международном семинаре «Нелинейные явле-

ния в сложных системах. Фракталы, хаос, фазовые переходы, самоорганизация» (Минск, Белоруссия); 25-м совещании коллаборации СОМЕТ (Токай, Япония); 5-й Международной конференции «Аналитические и наноаналитические методы для биомедицинской науки и науки об окружающей среде» (IC-ANMBES'2018) (Брашов, Румыния); Международном семинаре по физике частиц в нейтронных источниках (Гренобль, Франция); 16-й Всероссийской школе-семинаре «Волновые явления в неоднородных средах» им. А. П. Сухорукова (Красновидово, Россия); Европейской конференции «Радиоактивные ионные пучки» (EURORIB'2018) (Жьен, Франция); 2-м Международном совещании по ядерным эмульсиям для нейтринных исследований и поиска слабозаимодействующей массивной частицы (Анакапри, Италия); 28-й Международной конференции по физике нейтрино и астрофизике (Neutrino-2018) (Гейдельберг, Германия); заключительной конференции по проекту CREMLIN (Гамбург, Германия); 11-й Международной конференции по моделированию, имитационному расчету хаотической динамики и применениям (Chaos'2018) (Рим, Италия); 15-й Международной конференции по физике мезонов (Meson'2018) (Краков, Польша); совещании коллаборации DarkSide на острове Сардиния (Кальяри, Италия); Международной школе по внутриядерной физике (56-й курс: «От гравитационных волн к квантовой электродинамике, квантовой динамике полей и квантовой хромодинамике») (Эриче, Италия); 61-м совещании ICFA по динамике пучка: по адронным пучкам высокой интенсивности и яркости (NB2018) (Тэджон, Республика Корея); 6-й Международной конференции по радиации и применениям в различных областях исследований (RAD'2018) (Охрид, Македония); 12-й Международной конференции «Ионная имплантация и другие применения ионов и электронов» (Казимеж-Дольны, Польша); 37-м Международном совещании по теории ядра (IWNT37-2018) (Боровец, Болгария); международной конференции «Ядро-2018» (68-й Конференции по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра) (Воронеж, Россия); 10-м Международном симпозиуме по быстрым тяжелым ионам в материи и 28-й Международной конференции по атомным столкновениям в твердых телах (SHIM-ICACS'2018) (Кан, Франция); международной конференции «Поляризованные нейтроны для исследований конденсированных сред» (PNCMI'2018) (Абингтон, Великобритания); 7-й Международной конференции «Новые горизонты физики» (ICNFP-2018) (Колимбари, Греция); 39-й Международной конференции по физике высоких энергий (ICHEP-2018) (Сеул, Республика Корея); 26-м Расширенном европейском симпозиуме по космическим лучам и 35-й Российской конференции по космическим лучам (26th E+CRS/35th RCRC) (Барнаул, Белокуриха, Россия); конференции по классическим и квантовым инте-

грируемым системам (Протвино, Россия); 23-й Международной конференции по компьютеру в физике высоких энергий и ядерной физике (CHEP'2018) (София, Болгария); 22-й Международной конференции по проблемам нескольких тел в физике (FB22) (Кан, Франция); 18-м Международном балканском семинаре по прикладной физике и материаловедению (IBWAP'2018) (Констанца, Румыния); 12-м совещании коллаборации JUNO (Пекин, Китай); совещании коллаборации EXPERT 2018 (Острава, Чехия); международной конференции «Квантовая теория поля и гравитация» (QFTG18) (Томск, Россия); международной конференции «Структура адронов и КХД: от низких к высоким энергиям», посвященной памяти Л. Н. Липатова (HSQCD'2018) (Гатчина, Россия); совещании разработчиков проекта JOIN2 (Гамбург, Германия); 53-й Закопанской конференции по ядерной физике (Закопане, Польша); Европейской конференции по ядерной физике (Болонья, Италия); 27-й Международной конференции по криогенной инженерии и Международной конференции по криогенным материалам (ICEC27-IVMC'2018) (Оксфорд, Великобритания); конференции «История нейтрино» (Париж, Франция); 23-м Международном совещании по ECR ионным источникам (Катания, Италия); 23-м Международном симпозиуме по спиновой физике (SPIN'2018) (Феррара, Италия); 29-й конференции по линейным ускорителям (LINAC'2018) (Пекин, Китай); 9-й Российской конференции по радиохимии («Радиохимия-2018») (Санкт-Петербург, Россия); конференции по использованию рассеяния нейтронов в конденсированных средах (РНИКС-2018) (Петергоф, Россия); совещании коллаборации NOvA (Батавия, США); 12-й Международной конференции по физике перспективных материалов (ICPAM-12) (Ираклион, Греция); международной конференции и школе «Современные тенденции в физике конденсированного состояния» (к 100-летию Г. Б. Абдуллаева) (Баку, Азербайджан); конференции «Критическая точка и начало деконфайнмента» (CPOD'2018) (Корфу, Греция); 25-м совещании по ядерной физике «Структура и динамика атомных ядер» (Казимеж-Дольны, Польша); 32-м совещании коллаборации CBM (Дармштадт, Германия); международной конференции «Биомембраны-2018» (Долгопрудный, Россия); 26-й Российской конференции по ускорителям заряженных частиц (RuPAC-2018) (Протвино, Россия); Малом трехстороннем совещании по теоретической физике (Птичье, Словакия); Московском фестивале науки (в рамках 8-го Всероссийского фестиваля «Наука 0+») (Москва, Россия); 14-й Международной конференции по технологии ускорителей тяжелых ионов (HIAT'2018) (Ланьчжоу, Китай); 13-м Международном симпозиуме по электронно-лучевым ионным источникам и ловушкам (EBIST'2018) (Шанхай, Китай); семинаре Фонда им. Вильгельма и Эльзы Хереус по физике частиц

с холодными и ультрахолодными нейтронами (Бад-Хоннеф, Германия); 6-й Международной конференции «Коллективные движения в ядрах в экстремальных условиях» (COMEX6) (Кейптаун, ЮАР); конференции «Медленный контроль 2018» (Варшава, Польша); Симпозиуме по ядерной науке и конференции по медицинской визуализации (IEEE NSS/MIC 2018) (Сидней, Австралия); общем совещании коллаборации GERDA (Катания, Италия); 8-й Международной конференции по кваркам и ядерной физике (QNP 2018) (Цукуба, Япония); круглом столе UNESCO–ОИЯИ (Париж, Франция); Дне ОИЯИ во Франции (Париж, Франция); заседании координационного комитета по сотрудничеству ОИЯИ–IN2P3 (Париж, Франция); Международной школе по ядерным методам в науке о жизни и окружающей среде (Бечичи (Будва), Черногория); заседании координационного комитета INFN–ОИЯИ (Падуа, Италия); международной школе по ядерной физике «Дни ОИЯИ в Болгарии» (Боровец, Болгария); 20-м Международном семинаре по физике высоких энергий («Кварки-2018») (Валдай, Россия); 26-м Международном семинаре по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-26) (Сиань, Китай); международной конференции «Структура ядра и связанные проблемы» (NSRT-18) (Бургас, Болгария); 7-й ежегодной конференции молодых ученых и специалистов («Алушта-2018») (Алушта, Россия); Европейской школе по физике высоких энергий 2018 (ESHEP) (Марatea, Италия); 32-м Международном коллоквиуме по групповым теоретическим методам в физике (Group32) (Прага, Чехия); Международном совещании по спиновой физике на ускорительном комплексе NICA (SPIN-Praha-2018) (Прага, Чехия); 18-й Международной Байкальской школе по физике элементарных частиц и астрофизике «Вселенная сквозь всегалактическую астрономию» (Большие Коты, Россия); 14-й Международной школе-конференции «Актуальные проблемы физики микромира» (Озеры, Белоруссия); 12-м совместном АРСТР–ЛТФ ОИЯИ совещании «Современные проблемы ядерной физики и

физики элементарных частиц» (Пусан, Республика Корея); международной конференции «Современные тенденции в естественных науках и передовых технологиях в научном образовании» (Улан-Батор, Монголия); 6-й Международной конференции «Модели квантовой теории поля», посвященной памяти профессора А. Н. Васильева (MQFT-2018) (Петергоф, Россия); совместном ЛТФ ОИЯИ–KLTP CAS совещании «Физика сильных взаимодействий» (Санкт-Петербург, Россия); международном совещании «Ускорительный комплекс NICA: проблемы и решения» (Созополь, Болгария); сателлитной школе при симпозиуме «EXON-2018» (Петрозаводск, Россия); 9-м Международном симпозиуме по экзотическим ядрам (EXON-2018) (Петрозаводск, Россия); 20-й Ежегодной конференции коллаборации RDMS CMS (Ташкент, Самарканд, Узбекистан); Школе по использованию рассеяния нейтронов в конденсированных средах (Петергоф, Россия); конференции «Новые тенденции в физике высоких энергий» (Бечичи (Будва), Черногория); 26-м совещании коллаборации СОМЕТ (Тбилиси, Грузия); 15-м Международном семинаре по электромагнитным взаимодействиям ядер (EMIN-2018) (Москва, Россия); 6-й Международной конференции «Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии» (ISMA'2018) (Минск, Белоруссия); Школе молодых ученых и семинаре «Информационные центры ОИЯИ: задачи и перспективы», торжественном открытии «Информационного центра ОИЯИ на юге России» в Северо-Осетинском государственном университете (Владикавказ, Россия); Международной научной школе для учителей физики в ЦЕРН (Женева, Швейцария); 5-м симпозиуме ОИЯИ–ЮАР «Достижения и цели по физике ОИЯИ–ЮАР» (Сомерсет-Уэст, ЮАР); заседании Финансового комитета ОИЯИ и заседании Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ (Бухарест, Румыния); заседании объединенного комитета по сотрудничеству Египет–ОИЯИ (Каир, Египет).

СПРАВКА О РАЗВИТИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА И СВЯЗЕЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗА 2018 Г.

1. Краткосрочные командировки в ОИЯИ специалистов стран-участниц (не считая российских специалистов)	1151
2. Командировки в ОИЯИ специалистов из других стран, в том числе из стран ассоциированного участия	859 406
3. Командировки специалистов ОИЯИ в страны-участницы (без командировок по России)	1338
4. Командировки сотрудников ОИЯИ в другие страны, в том числе в страны ассоциированного участия	1939 640
5. Конференции, школы, совещания, проведенные ОИЯИ	90
6. Новые соглашения о сотрудничестве (меморандумы о намерениях), приложения к существующим	37

**НАУЧНЫЕ И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ,
ПРОВЕДЕННЫЕ ОБЪЕДИНЕННЫМ ИНСТИТУТОМ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2018 Г.***

Номер	Наименование мероприятия	Место проведения	Время проведения	Количество участников
1.	Семинар, посвященный 110-летию со дня рождения Д. И. Блохинцева	Дубна	11 января	70
2.	Сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике	Дубна	17–18 января	70
3.	Сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред	Дубна	22–23 января	67
4.	Зимняя школа «Статистические суммы и автоморфные формы»	Дубна	29 января – 2 февраля	74
5.	25-я Международная конференция «Математика. Компьютер. Образование»	Дубна	29 января – 3 февраля	257
6.	Сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц	Дубна	31 января – 1 февраля	62
7.	Круглый стол ЮНЕСКО–ОИЯИ	Париж, Франция	14 февраля	50
8.	28-е заседание объединенного комитета по сотрудничеству IN2P3 – ОИЯИ	Париж, Франция	14–16 февраля	16
9.	День ОИЯИ во Франции	Париж, Франция	15 февраля	87
10.	123-я сессия Ученого совета ОИЯИ	Дубна	22–23 февраля	98
11.	Совещание рабочей группы по финансовым вопросам ОИЯИ при председателе КПП	Дубна	22 марта	27
12.	Заседание Финансового комитета ОИЯИ	Дубна	23–24 марта	73
13.	Международная конференция «ОИЯИ: 25 лет новой эры», посвященная Дню образования ОИЯИ	Дубна	26 марта	115
14.	Сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ	Дубна	27 марта	85
15.	Дни физики в Дубне	Дубна	30 марта – 1 апреля	300
16.	1-е коллаборационное совещание по экспериментам MPD и VM@N на установке NICA	Дубна	11–13 апреля	218
17.	2-е Международное совещание «Моделирование столкновений тяжелых ионов при энергиях NICA»	Дубна	16–19 апреля	69
18.	Расширенное заседание рабочей группы ОИЯИ–ФМБА по ядерной медицине	Дубна	17 апреля	50
19.	Коллоквиум по неравновесным явлениям в сильно коррелированных системах	Дубна	18–19 апреля	69
20.	Рабочее совещание по верхнему трекеру для эксперимента JUNO	Дубна	19–21 апреля	15
21.	Международная школа по ядерным методам в науке о жизни и окружающей среде	Бечичи (Будва), Черногория	22–29 апреля	65
22.	22-я Международная научная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ (ОМУС-2018)	Дубна	23–27 апреля	187
23.	Заседание координационного комитета по сотрудничеству INFN–ОИЯИ	Падуа, Италия	10–11 мая	16

*Ряд конференций проведен совместно с другими организациями.

Номер	Наименование мероприятия	Место проведения	Время проведения	Количество участников
24.	Международная школа по ядерной физике «Дни ОИЯИ в Болгарии»	Боровец, Болгария	15–18 мая	80
25.	20-е Международное совещание по компьютерной алгебре	Дубна	21–22 мая	48
26.	Рабочее совещание коллаборации «Байкал»	Дубна	22–25 мая	59
27.	20-й Международный семинар по физике высоких энергий «Кварки» («Кварки-2018»)	Рощино (Валдай), Россия	27 мая – 2 июня	150
28.	26-й Международный семинар по взаимодействию нейтронов с ядрами «Фундаментальные взаимодействия и нейтроны, ядерная структура, ультрахолодные нейтроны, связанные темы» (ISINN-26)	Сиань, Китай	28 мая – 1 июня	110
29.	Выездная сессия Научного совета РАН по радиобиологии	Дубна	30 мая	60
30.	Международная конференция «Проблемы химической защиты и репарации при радиационных воздействиях»	Дубна	30–31 мая	100
31.	Международная конференция «Структура ядра и связанные проблемы» (NSRT'18)	Бургас, Болгария	3–9 июня	59
32.	Рабочее совещание коллаборации «Тайга»	Дубна	5–8 июня	30
33.	Совещание международного экспертного комитета ОИЯИ по проекту ускорительного комплекса NICA	Дубна	7–8 июня	29
34.	7-я Школа-конференция молодых ученых и специалистов («Алушта-2018»)	Алушта, Крым, Россия	11–18 июня	71
35.	Сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред	Дубна	14–15 июня	64
36.	Сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц	Дубна	18–19 июня	63
37.	Сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике	Дубна	20–21 июня	72
38.	Европейская школа по физике высоких энергий (ESHEP-2018)	Маратеа, Италия	20 июня – 3 июля	130
39.	Международная научная школа для учителей физики в ОИЯИ	Дубна	24–30 июня	33
40.	Международное совещание по проектам NICA и HIAF	Дубна	2–3 июля	33
41.	Международная конференция «Биомониторинг атмосферных загрязнений» (BioMAP-8)	Дубна	3–5 июля	150
42.	3-е мини-совещание «Составление рабочего плана создания гибридной трековой системы BMN DSSD-GEM для BM@N-2»	Дубна	5–6 июля	32
43.	Международное совещание «Низкоразмерные материалы: теория, моделирование, эксперимент»	Дубна	9–12 июля	51
44.	32-й Международный коллоквиум по групповым теоретическим методам в физике	Прага, Чехия	9–13 июля	300
45.	Международное совещание по спиновой физике на ускорительном комплексе NICA	Прага, Чехия	9–13 июля	60

Номер	Наименование мероприятия	Место проведения	Время проведения	Количество участников
46.	18-я Международная Байкальская школа по физике элементарных частиц и астрофизике «Вселенная сквозь всесигнальную астрономию»	Большие Коты, Россия	12–21 июля	76
47.	Гельмгольцевская международная школа-семинар «Вычисления для современных и будущих коллайдеров»	Дубна	22 июля – 1 августа	87
48.	30-я Летняя международная компьютерная школа	Дубна	1–19 августа	62
49.	Международная школа «Перспективные методы современной теоретической физики: интегрируемые и стохастические системы»	Дубна	5–10 августа	65
50.	14-я Международная школа-конференция «Актуальные проблемы физики микромира»	Озёры, Белоруссия	13–23 августа	130
51.	Международное совещание «Суперсимметрия в интегрируемых системах»	Дубна	13–15 августа	46
52.	Гельмгольцевская международная летняя школа «Материя при экстремальных условиях в столкновениях тяжелых ионов и в астрофизике»	Дубна	20–31 августа	75
53.	12-е совместное АРСТР–ЛТФ ОИЯИ совещание «Современные проблемы ядерной физики и физики элементарных частиц»	Пусан, Республика Корея	20–24 августа	75
54.	Международная конференция «Современные тенденции в естественных науках и передовых технологиях в научном образовании»	Улан-Батор, Монголия	20–23 августа	89
55.	6-я Международная конференция «Модели квантовой теории поля», посвященная памяти профессора А. Н. Васильева	Петергоф, Россия	27–31 августа	86
56.	Совместное ЛТФ ОИЯИ–KLTP CAS совещание «Физика сильных взаимодействий»	Санкт-Петербург, Россия	2–7 сентября	65
57.	41-я Европейская конференция по развитию циклотронов (ЕСРМ-2018)	Дубна	3–5 сентября	57
58.	2-е Международное совещание «Решеточные и функциональные методы исследования фазовой структуры и транспортных свойств в КХД»	Дубна	4–6 сентября	31
59.	Международное совещание «Ускорительный комплекс NICA: проблемы и решения»	Созополь, Болгария	8–15 сентября	46
60.	Сателлитная школа при симпозиуме «EXON-2018»	Петрозаводск, Россия	8–9 сентября	120
61.	8-я Международная конференция «Распределенные вычисления и грид-технологии в науке и образовании»	Дубна	10–14 сентября	242
62.	9-й Международный симпозиум по экзотическим ядрам (EXON-2018)	Петрозаводск, Россия	10–15 сентября	140
63.	20-я Ежегодная конференция коллаборации RDMS-CMS	Ташкент, Самарканд, Узбекистан	12–15 сентября	70
64.	Школа по использованию рассеяния нейтронов в конденсированных средах (в рамках одноименной конференции)	Петергоф, Россия	15–21 сентября	38

Номер	Наименование мероприятия	Место проведения	Время проведения	Количество участников
65.	24-й Международный Балдинский семинар по проблемам физики высоких энергий «Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика»	Дубна	17–22 сентября	178
66.	124-я сессия Ученого совета ОИЯИ	Дубна	20–21 сентября	113
67.	8-й отчетный семинар национальной группы Украины в ОИЯИ	Дубна	21 сентября	20
68.	Конференция «Новые тенденции в физике высоких энергий»	Бечичи (Будва), Черногория	24–30 сентября	65
69.	Семинар «Особенности регулирования безопасности при эксплуатации радиационных источников»	Дубна	25–26 сентября	12
70.	26-е совещание коллаборации СОМЕТ	Тбилиси, Грузия	1–5 октября	69
71.	Дни Словакии в ОИЯИ	Дубна	1–3 октября	45
72.	Международное рабочее совещание по нейтринным телескопам очень большого объема	Дубна	2–4 октября	130
73.	15-й Международный семинар по электромагнитным взаимодействиям ядер (EMIN-2018)	Москва, Россия	8–11 октября	71
74.	6-я Международная конференция «Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии»	Минск, Белоруссия	9–12 октября	117
75.	Школа молодых ученых и семинар «Информационные центры ОИЯИ: задачи и перспективы». Торжественное открытие «Информационного центра ОИЯИ на юге России» в Северо-Осетинском государственном университете	Владикавказ, Россия	10–14 октября	70
76.	Международная конференция «Современные проблемы общей и космической радиобиологии и астробиологии»	Дубна	17–19 октября	80
77.	Совещание рабочей группы по финансовым вопросам ОИЯИ при председателе КПП	Дубна	19 октября	28
78.	Семинар, посвященный 110-летию со дня рождения академика И. М. Франка	Дубна	23 октября	120
79.	Совещание Совета РАН по физике тяжелых ионов	Дубна	26–27 октября	40
80.	2-е коллаборационное совещание по экспериментам MPD и BM@N на установке NICA	Дубна	29–30 октября	157
81.	Международная научная школа для учителей физики в ЦЕРН	Женева	4–11 ноября	24
82.	5-й Симпозиум ОИЯИ–ЮАР «Достижения и цели по физике ОИЯИ–ЮАР»	Сомерсет-Уэст, ЮАР	4–9 ноября	80
83.	Совещание «Численное моделирование сложных систем»	Дубна	15 ноября	23
84.	Заседание Финансового комитета ОИЯИ	Бухарест, Румыния	16–17 ноября	56
85.	Сессия Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ	Бухарест, Румыния	19–20 ноября	75
86.	Форум для чешских талантливых студентов	Дубна	19–24 ноября	24

Номер	Наименование мероприятия	Место проведения	Время проведения	Количество участников
87.	Международный научный семинар «Физика и лирика: мировой опыт и реальности науки и литературы стран Содружества»	Дубна	22–23 ноября	50
88.	Рабочее совещание коллаборации «Байкал»	Дубна	27–30 ноября	58
89.	Совещание «Перспективные идеи и эксперименты для нового дубненского источника нейтронов четвертого поколения (ДИН-IV). Необходимые для источника замедлители и окружение»	Дубна	6–8 декабря	40
90.	Заседание объединенного комитета по сотрудничеству Египет–ОИЯИ	Каир, Египет	15 декабря	12

Также проводились заседания Научно-технического совета ОИЯИ, выполнялась учебная программа «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» (JEMS-6,7,8,9), проводилась международная студенческая практика (для трех групп) и 11-я стажировка для молодых ученых и специалистов СНГ.

Кроме того, ОИЯИ содействовал организации и проведению международной конференции «Ядро-2018» (68-й Конференции по ядерной спектроскопии и структуре ядра), международной кон-

ференции и школы «Современные тенденции в физике конденсированных сред», посвященной 100-летию со дня рождения академика Г.Б. Абдуллаева, Конференции по использованию рассеяния нейтронов в конденсированных средах, 4-й Международной конференции по физике частиц и астрофизике (ICPPA'2018), 26-й Российской конференции по ускорителям заряженных частиц (RuPAC'2018) и некоторых других мероприятий, состоявшихся в 2018 г.

**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, 26 марта.
На праздновании
Дня образования ОИЯИ





Дубна, 20–21 сентября.
124-я сессия Ученого
совета ОИЯИ





Дубна, 27 марта.
Сессия Комитета
полномочных
представителей
ОИЯИ





Бухарест (Румыния), 19–20 ноября. Сессия КПП ОИЯИ (фото предоставлено оргкомитетом КПП)

Бухарест (Румыния), 16–17 ноября. Заседание Финансового комитета ОИЯИ





Дубна, 18–19 июня. 49-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц



Дубна, 22–23 января. 47-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред

Сергиев Посад,
21 июня. Участники
48-й сессии
Программно-
консультативного
комитета по ядерной
физике на экскурсии
в Свято-Троицкой
Сергиевой лавре





Париж (Франция), 15 февраля. Подписание письма о намерениях представителями правительства Франции и ОИЯИ в ходе рабочего совещания «День ОИЯИ во Франции»

Дубна, 21 февраля.

Подписание Соглашения между ОИЯИ и Академией естественных и гуманитарных наук Израиля





Каир (Египет), 15 декабря. Подписание дорожной карты развития сотрудничества ОИЯИ с Египтом в рамках 8-й сессии объединенного комитета по сотрудничеству



Дубна, 26 октября. Подписание рамочного Соглашения о сотрудничестве между ОИЯИ и GSI (FAIR)



Бухарест, 20 ноября. Подписание меморандума о сотрудничестве по проектам ELL-NP, IFIN-HH и NICA ОИЯИ по итогам научного симпозиума, посвященного сотрудничеству ОИЯИ–Румыния, в рамках выездного заседания КПП ОИЯИ



Дубна, 28 февраля. ОИЯИ посетила представительная делегация Республики Кубы

Дубна, 18 мая. Визит в ОИЯИ членов Генеральной ассамблеи Европейского консорциума по физике частиц в астрофизике С. Лёрэ (CEA Saclay, IRFU, Франция) и Ф. Моля (DESY, Гамбург, Германия)





Дубна, 16–18 октября. Польская делегация в составе директора Национального центра исследований и развития М. Хоровского (второй в левом ряду), полномочного представителя правительства Республики Польша в ОИЯИ М. Валигурского (первый в левом ряду) и председателя комиссии при полномочном представителе правительства Польши по сотрудничеству с ОИЯИ М. Будзыньского (третий в левом ряду) на встрече с дирекцией ОИЯИ

Дубна, 12–14 декабря. ОИЯИ посетили представители Министерства науки, информационно-коммуникационных технологий и планирования будущего Республики Кореи





Дубна, 16 апреля. Участники 6-й международной стажировки «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров»

Дубна, сентябрь.

Участники 8-й международной стажировки для научно-административного персонала «Опыт ОИЯИ для стран-участниц и государств-партнеров» в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова





Дубна, 2 октября. Дни Словакии в ОИЯИ, посвященные 25-летию со дня образования Словацкой Республики и ее участия в Объединенном институте



Дубна, 25 мая. Праздничный вечер в честь Дня славянской письменности и культуры в Доме культуры «Мир»

Дубна, 8 декабря. Торжественный вечер, посвященный 100-летию со дня образования унитарного государства Румынии





Москва, Кремль, 27 июня. Президент России В. В. Путин вручает академику В. А. Матвееву орден «За заслуги перед Отечеством» III степени (фото © kremlin.ru)

Москва, 30 ноября. Звание почетного доктора НИЦ «Курчатовский институт» присвоено директору ОИЯИ академику В. А. Матвееву, президенту Российской академии наук А. М. Сергееву и ректору Московского государственного университета В. А. Садовничему



2018

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ
ПРОГРАММЫ ОИЯИ**





ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМ. Н. Н. БОГОЛЮБОВА

В 2018 г. в лаборатории проводились исследования по четырем темам: «Теория фундаментальных взаимодействий», «Теория структуры ядра и ядерных реакций», «Теория конденсированных сред», «Современная математическая физика: струны и гравитация, суперсимметрия, интегрируемость». Важной составляющей деятельности лаборатории является теоретическая поддержка экспериментальных исследований в ОИЯИ и в других исследовательских центрах с участием ОИЯИ. По результатам проведенных исследований опубликовано около 520 статей в рецензируемых журналах и трудах конференций, две монографии, зарегистрирован патент на полезную модель. Ряд исследований выполнен в сотрудничестве с учеными из стран-участниц ОИЯИ, Бразилии, Германии, Египта, Индии, Италии, Китая, Франции, Южной Африки и ряда других стран. Лаборатория стала площадкой для проведения международных конференций, семинаров, школ для молодых ученых в различных областях теоретической физики. В 2018 г. более 900 ученых приняли участие в 18 международных конференциях, совещаниях и школах, организованных ЛТФ в Дубне и странах-участницах ОИЯИ. Международное сотрудничество ЛТФ было поддержано грантами полномочных представителей правительств Болгарии, Чехии, Польши, Словакии, Венгрии, Румынии, дирекции ОИЯИ. Сотрудничество с теоретиками ряда

стран проходило при поддержке специальных программ: «Смородинский–Тер–Мартиросян» (Армения), «Боголюбов–Инфельд» (Польша), «Блохинцев–Вотруба» (Чехия), «Цицейка–Марков» (Румыния). Ряд исследований 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 и 6 конференций были поддержаны грантами РФФИ, 3 исследовательских проекта — грантами Российского научного фонда. Особое внимание уделялось привлечению к работе молодых исследователей, студентов и аспирантов в рамках научно-образовательного проекта «Дубненская международная школа по теоретической физике» (DIAS-TH). Более 15 аспирантов и молодых ученых участвовали в школах, организованных DIAS-TH. Лаборатория играет роль учебного центра для молодых ученых и студентов из многих стран. В настоящее время треть научных кадров лаборатории составляют молодые ученые и аспиранты. Помимо основной программы сотрудничества в лаборатории на долгосрочной основе работают несколько молодых исследователей из Вьетнама, Индии, Ирана, Мексики, Таджикистана и Японии.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теория фундаментальных взаимодействий

В 2018 г. работа проводилась в рамках следующих проектов:

- Стандартная модель и ее расширение;
- партонные распределения в КХД для современных и будущих ускорителей;

- физика тяжелых и экзотических адронов;
- адронная материя при экстремальных условиях.

Развит новый подход к теории неперенормируемых взаимодействий. Получены обобщения уравнений ренормгруппы, позволяющие суммировать ведущие асимптотики во всех порядках теории возму-

шений. Найдено ультрафиолетовое поведение ряда суперсимметричных калибровочных моделей квантовой теории поля [1].

Найдены определенные трехпетлевые вклады в β -функции константы самодействия полей Хиггса в двухдублетном расширении Стандартной модели общего вида. Указано на несамосогласованность включения известных двухпетлевых результатов в современные компьютерные коды. Изучение феноменологических следствий определенных двухдублетных сценариев показало, что существуют области в пространстве параметров, совместимые с экспериментальными ограничениями, в которых предсказывается увеличение вероятности распада тяжелых бозонов Хиггса на мюон и тау-лептон [2].

Проведено вычисление интегралов по полному фазовому объему для процессов распада массивной частицы в пять безмассовых. Вычислен трехпетлевой эффективный потенциал в наиболее общей перенормируемой скалярной теории со спонтанным нарушением симметрии. Вычислены необходимые интегралы вакуумного типа с массивными линиями, содержащими одну и две различные массы. Предложен алгоритм и на его базе создан код для эффективной редукции четырехпетлевых полностью массивных вакуумных интегралов, необходимых для четырехпетлевых расчетов в Стандартной модели [3].

Исследована возможность бозе-конденсации в двумерии. Показано, что, в отличие от идеального бозе-газа, где бозе-конденсация в двумерии невозможна из-за логарифмических расходимостей в плотности системы при стремлении химического потенциала к нулю в реальной системе взаимодействующих частиц за счет поправок высших порядков, содержащих инфракрасные расходимости, бозе-конденсация становится возможной. Надлежащий анализ предполагает суммирование всех ведущих сингулярностей, которые можно объединить в конечные выражения, используя квантовополевую ренормгруппу. На основе борелевского суммирования членов ε -разложения дана оценка значения критического индекса. Рассмотрены два типа поведения плотности в новой фазе: однородное и вихревое. При анализе голдстоуновских сингулярностей установлено, что вакуумное среднее бозонного поля, которое обычно рассматривается как параметр порядка при фазовом переходе в сверхтекучую фазу в трехмерии, остается нулевым. Таким образом, только двухточечная корреляционная функция является индикатором фазового перехода. Чтобы установить, какое из состояний сверхтекучей фазы — однородное или вихревое — имеет место, проведено сравнение соответствующих значений свободной энергии. При этом оказалось, что однородное состояние энергетически более выгодно [4].

В свете недавних точных измерений полуплептоновых распадов очарованных мезонов, выполненных на BESIII, был изучен широкий круг полуплепто-

ных распадов $D(D_s)$ -мезонов. Необходимые формфакторы вычислены в рамках ковариантной модели кварков во всей кинематической области квадрата переданного импульса. Вычислены брэнчинги распадов, с хорошей точностью согласующиеся с экспериментальными данными, а также симметрия вперед-назад, продольные и поперечные поляризации заряженного лептона в конечном состоянии [5].

Изучена проблема выделения доминирующего механизма $0\nu\beta\beta$ -распада. Показано, что механизмы с легкими и тяжелыми массами майорановских нейтрино неразличимы в измерениях времен $0\nu\beta\beta$ -полураспадов разных изотопов. Предложена интерполяционная формула, позволяющая рассчитать времена $0\nu\beta\beta$ -полураспадов для произвольных масс нейтрино. Предложена 6×6 матрица смешивания качельного (seesaw) типа, в которой 3×3 матрица смешивания тяжелых нейтрино является эрмитовым сопряжением 3×3 стандартной Понтекорво–Маки–Накагавы–Сакаты матрицы для легких нейтрино. В рамках сценариев, основанных на лево-право-симметричных моделях, определена область доминирования механизма обмена тяжелыми нейтрино над легкими [6].

Вычислены адронные тензоры для пион-нуклонного и фотон-индуцированного процесса Дрелла–Яна с одним поперечно-поляризованным нуклоном, что дало возможность предсказать ряд новых односпиновых асимметрий, которые напрямую связаны с глюонным полюсом в матричных элементах кварк-глюонных операторных комбинаций и спиновой структурой нуклона. Данные предсказания являются актуальными для экспериментального изучения в рамках COMPASS и NICA (SPD) и дают новую информацию по спиновой структуре нуклона [7].

Предложен метод измерения линейной поляризации глюонов в нуклоне с использованием процессов глубоконеупругого рассеяния с рождением тяжелого кваркония. Эти измерения могут быть выполнены на установке COMPASS [8].

Рассмотрен переходной пион-фотонный формфактор в правилах сумм на световом конусе, основанных на дисперсионных соотношениях в комбинации с ренормализационной группой. Показано, что развиваемая схема в случае однопетлевой эволюции Ефремова–Радюшкина–Бродского–Лепажера сводится к определенной версии дробной аналитической теории возмущений, в которой для фиксации правильного асимптотического поведения этого формфактора на заряды накладываются специальные граничные условия, отсутствовавшие в исходной версии. Этот подход ведет к значительному уменьшению вклада просуммированных радиационных поправок, особенно в области малых передач импульса [9].

Изучен внутренний состав компактных звезд вблизи фазовых переходов и рассмотрена возможность существования геометрических структур в таких условиях. Показано, что фазовые переходы пер-

вого рода, такие как переход жидкость–газ, протекают через образование структур типа пузырьков и капель. В сильновзаимодействующем компактном веществе звезды при переходе кора–ядро, а также при кварк-адронных переходах в ядре эти структуры образуют различные формы, называемые «фазами макарон». С учетом этих фаз были рассчитаны различные наблюдаемые для компактных звезд, включая их момент инерции и барионную массу [10].

В рамках квазипотенциального метода в квантовой электродинамике выполнен расчет вклада легких псевдоскалярных, аксиально-векторных и скалярных мезонов в потенциал взаимодействия мюона и протона в атоме мюонного водорода. Использована параметризация формфактора перехода двух фотонов в мезоны, основанная на экспериментальных данных и КХД-асимптотике. Представлены численные оценки вкладов в сверхтонкую структуру спектра S - и P -уровней, что важно, в частности, для определения зарядового радиуса протона. С помощью полученных результатов для сверхтонкого взаимодействия мюона с протоном за счет обмена мезонами сделаны оценки такого же вклада в случае других легких мюонных атомов: мюонных лития, бериллия и бора [11].

Данные STAR по спектрам поперечного импульса и быстротным плотностям различных адронов в диапазоне энергий BES (Beam-Energy Scan) RHIC, $\sqrt{s_{NN}} = 7,7\text{--}39$ ГэВ, были проанализированы в рамках модели трехжидкостной динамики. Хорошее общее воспроизведение обнаруживается в сценариях с деконфайнментом, что указывает на то, что деконфайнмент действительно происходит в ядро-ядерных столкновениях в диапазоне энергий $\sqrt{s_{NN}} = 7,7\text{--}39$ ГэВ. Этот анализ также показал высокую тормозную способность барионной материи даже при энергии столкновения $\sqrt{s_{NN}} = 39$ ГэВ. Чтобы прояснить этот факт, были оценены барионные и энергетические плотности, достигаемые в центральных Au + Au столкновениях. Показано, что значительная часть барионного заряда останавливается в центральном фиберболе. Наибольшие начальные барионные плотности равновесного вещества $n_B/n_0 \approx 10$ достигаются в центральной области сталкивающихся ядер при энергиях столкновения $\sqrt{s_{NN}} = 20\text{--}40$ ГэВ. Наблюдаемые следствия этих высоких начальных плотностей проявляются только в областях фрагментации сталкивающихся ядер и могут наблюдаться в экспериментах AFTER@LHC в режиме с неподвижной мишенью. Максимальная плотность барионов в области центральных быстрот достигается при $\sqrt{s_{NN}} \approx 8$ ГэВ и будет доступна экспериментально на комплексе NICA [12].

В рамках модели трехжидкостной динамики изучена завихренность ядерной материи, генерируемая в столкновениях тяжелых ионов при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 39$ ГэВ. Обнаружена структура, состоящая из двух вихревых колец: одно в области фрагментации ми-

шени и другое в области фрагментации снаряда. Эти кольца образуются даже в центральных столкновениях. Вращение материи противоположно в этих двух кольцах. В полужидкостных столкновениях средняя завихренность в центральной области быстрот оказывается более чем на порядок ниже, чем средняя по всем быстротам, в которой преобладают вклады областей фрагментации. Это указывает на то, что в полужидкостных столкновениях глобальная поляризация в областях фрагментации должна быть как минимум на порядок выше, чем наблюдаемая коллаборацией STAR в центральной области быстрот. Однако это явление можно наблюдать только в экспериментах AFTER@LHC в режиме с фиксированной мишенью. Такая поляризация должна быть асимметрична в плоскости реакции и коррелировать с соответствующим направленным потоком [13].

Явление завихренности ядерной материи, образуемой в столкновениях тяжелых ионов при энергиях, достижимых на ускорителе NICA, и связанная с ней поляризация рожденных гиперонов исследованы в рамках модели партон-адронной струнной динамики, которая учитывает адронные и кварк-глюонные степени свободы. Продемонстрировано формирование завихренности в периферийных столкновениях Au + Au при $\sqrt{s_{NN}} = 7,7$ ГэВ. Полученные результаты по поляризации Λ находятся в согласии с экспериментальными данными коллаборации STAR, в то время как модель не в состоянии объяснить обнаруженное в эксперименте высокое значение поляризации anti- Λ [14].

В рамках КХД на решетке детально исследована низкотемпературная часть фазовой диаграммы КХД с двумя цветами и двумя флейворами кварков, и изучено взаимодействие статических пар кварков и антикварков. При малом химическом потенциале μ наблюдается адронная фаза, в которой киральная симметрия нарушена, плотность барионов близка к нулю, дикварковый конденсат отсутствует. При критическом значении $\mu = m_\pi/2$ наблюдается фазовый переход второго рода с ненулевым бозонным конденсатом дикварков, ненулевой барионной плотностью и восстановленной киральной симметрией. С ростом химического потенциала система переходит в третью фазу, в которой существенными степенями свободы являются кварки внутри ферми-сферы, при этом конденсация дикварков происходит на поверхности Ферми. Эта фаза близка к кваркионному состоянию. С дальнейшим ростом химического потенциала происходит фазовый переход деконфайнмента. Экранировка для петли Полякова хорошо описывается формулой Дебая, параметризуемой длиной экранировки, убывающей с ростом барионной плотности, и эффективной константой связи. Большая, порядка единицы, константа связи указывает на то, что даже при высокой плотности двухцветная кварковая материя является сильно коррелированной системой [15].

Теория структуры ядра и ядерных реакций

В 2018 г. исследования велись в рамках четырех проектов:

- свойства ядер у границы стабильности;
- низкоэнергетическая динамика и свойства ядерных систем;
- квантовые системы нескольких частиц;
- ядерные процессы при релятивистских энергиях и экстремальные состояния вещества.

Предсказано существование индивидуальных вихревых тороидальных (ИВТ) $E1$ -возбуждений в легких деформированных ядрах. Возбуждение этого типа в ^{24}Mg является нижайшим по энергии, что облегчает его экспериментальное обнаружение. Показано, что ИВТ-состояния являются нижайшими по энергии только для вытянутых ядер с сильной аксиальной деформацией [16].

В рамках протон-нейтронной симплектической модели с группой динамической симметрии $Sp(12, R)$ исследованы низколежащие коллективные состояния основной, β - и γ -полос ^{154}Sm и ^{238}U . Полученным результатам дана простая геометрическая многофононная интерпретация, основанная на алгебраической реализации модели двух связанных ротаторов [17].

Обнаружено, что решение зависящих от времени уравнений Хартри–Фока–Боголюбова методом функций Вигнера с учетом изовекторно-изоскалярной связи приводит к наличию двух различных ветвей возбуждения для ядерной спиновой ножничной моды. Расчеты показывают, что спиновая ножничная мода локализована в области более низких энергий, чем орбитальная, при этом вероятность $M1$ -возбуждения спиновой моды больше. Предсказание подтверждается в актинидах, в частности в ^{232}Th [18].

С использованием метода Q -фононов получено соотношение между скоростью $E0$ -переходов и произведением вероятностей $B(E2)$ -переходов. Имевшиеся экспериментальные данные согласовывались с этим соотношением, за исключением случая ^{152}Gd . Для разрешения этого противоречия был поставлен эксперимент. В новом эксперименте вероятности переходов были перемеряны и результаты полностью согласуются с полученным соотношением [19].

Проведен сравнительный анализ реакций горячего слияния $^{50}\text{Ti} + ^{247-249}\text{Bk}$ и $^{51}\text{V} + ^{246-248}\text{Cm}$ для синтеза 119-го элемента на основе модели двойной ядерной системы и предсказаний ядерных свойств в рамках микроскопическо-макроскопического подхода, где предсказывается наличие замкнутой протонной оболочки при $Z \geq 120$. Изучены квазичастичные структуры ядер в цепочке α -распада элемента $^{295}119$ и энергетический спектр α -частиц. Рассчитанные значения Q α -частиц сравнивались с имеющимися экспериментальными данными. Обнаружен обрыв цепочки α -распада $^{295}119$ [20].

Влияние входного канала на каскад девозбуждения возбужденного составного ядра выявлено с помощью вычисления сечения испарения остатков для реакций с различными массовой и зарядовой асимметриями, но приводящих к одному и тому же составному ядру ^{220}Th с одинаковой энергией возбуждения. Сильная разница между наблюдаемыми сечениями остатков испарения объясняется различием углового момента составного ядра, что связано с зависимостью парциального сечения слияния от характеристик входного канала [21].

Статистические свойства 1^- -состояний в области изовекторного гигантского дипольного резонанса, вычисляемые для ядер ^{206}Hg , $^{204,206,208}\text{Pb}$ и ^{210}Po , проанализированы в рамках микроскопической модели, основанной на взаимодействии Скирма. Показано, что в результате использования случайных распределений для связи между микроскопическими однофононными и двухфононными состояниями, сгенерированными распределением гауссовских ортогональных ансамблей, получается хорошее согласие с микроскопическим описанием ширины распада [22].

Представлены два предельных случая структуры ^{22}C в трехчастичной кластерной модели, которые позволяют описать все существующие экспериментальные данные. Исследованы свойства основного состояния, геометрия и структура непрерывного спектра ядра ^{22}C . Сделаны предсказания для мягкой дипольной моды в ^{22}C , которая доступна в процессах кулоновской диссоциации [23].

Столкновения атома и молекулы изучаются с помощью дифференциальных уравнений Фаддеева. Представлены результаты расчетов длины рассеяния атома ^4He на димерах $^4\text{He}^6\text{Li}$ и $^4\text{He}^7\text{Li}$. Также проведены расчеты энергий связи трехатомных систем He_2^6Li и He_2^7Li . Полученные численные результаты показывают, что современные потенциальные модели поддерживают по два связанных состояния в каждом из этих тримеров. В обоих случаях энергия возбужденного состояния очень близка к энергии нижайшего двухчастичного порога. Большие значения длин рассеяния указывают на то, что возбужденные состояния являются ефимовскими [24].

Рассмотрены ультрамагнитные атомные ядра, возникающие при взрыве сверхновых, слиянии нейтронных звезд, в коре магнитаров и в столкновениях тяжелых ионов. Показано, что для напряженностей поля 0,1–10 ТТл доминирует линейный магнитный отклик и эффект Зеемана приводит к увеличению энергии связи атомных ядер с открытой оболочкой. Заметное увеличение выхода соответствующих продуктов взрывного нуклеосинтеза согласуется с результатами наблюдений. Для ядер группы железа такое магнитное усиление выхода ^{44}Ti предполагает значительное увеличение также доли основного изотопа титана ^{48}Ti в химическом составе галактик [25].

Впервые развит динамический подход для расчета перезарядки при столкновении $H^+ + He^+ (1s)$ в широком диапазоне энергий вплоть до максимума сечения. При низких энергиях результаты в базисе 4-состояний правильно воспроизводят плечо в энергетической зависимости сечения в окрестности энергии столкновения $E_{ст} = 6$ кэВ. Результаты в базисе 2-состояний правильно предсказывают положение максимума сечения при $E_{ст} = 40$ кэВ [26].

Исследовано влияние составных пионов на поведение кирального конденсата при конечной температуре в рамках улучшенной модели Намбу–Иона-Лазинио с петлей Полякова. При низких температурах модель воспроизводит результат теории кирального возмущения для кирального конденсата, в то время как при высоких температурах результат модели Намбу–Иона-Лазинио с петлей Полякова восстанавливается. Новым аспектом является последовательное рассмотрение переходной области кирального восстановления в рамках подхода Бете–Уленбека на основе мезонных фаз для трактовки корреляций [27].

С использованием релятивистского формализма Бете–Солпитера построен потенциал (ядро) нуклон-нуклонного взаимодействия с формфакторами типа формфактора Ямагучи и скалярными пропагаторами для нуклонов [28].

Решается уравнение Дайсона–Швингера для кварковых пропагаторов при конечной температуре в формализме мнимого времени Мацубары. С использованием этих решений в уравнении Бете–Солпитера анализируются вершинные функции псевдоскалярных связанных состояний в зависимости от температуры для нескольких наименьших бозоновских частот Мацубары. Найдено, что при температуре немного ниже температуры деконфайнмента КХД наблюдается диссоциация связанного состояния в систему с энергией больше энергии двух свободных кварков при той же температуре [29].

Получены точные аналитические результаты для решеточной статистической суммы свободного нейтрального скалярного поля в одном пространственном измерении как в конфигурационном, так и в импульсном пространствах в рамках метода интегралов по траекториям. Изучены термодинамические свойства и поправки конечного объема к термодинамическим величинам свободного реального скалярного поля. Обнаружено, что на конечной решетке точные результаты для свободного массивного нейтрального скалярного поля согласуются с пределом континуума только в области малых значений температуры и объема. Однако при этих температурах и объемах континуальные физические величины как для массивного, так и безмассового скалярного поля существенно отличаются от своих значений в термодинамическом пределе и совпадают с ними только при высоких температурах и/или боль-

ших объемах, когда достигается термодинамический предел [30].

Развита теория нелинейных квантовых процессов в сильных электромагнитных полях. На ее основе предсказано значительное усиление сечений многофотонных (подпороговых) процессов при взаимодействии фотонов и электронов с короткими электромагнитными (лазерными) импульсами [31].

Теория конденсированных сред

Исследования по теме «Теория конденсированных сред» в 2018 г. продолжались в рамках следующих проектов:

- комплексные материалы и наноструктуры;
- современные проблемы статистической физики.

Теоретические исследования по малоугловому рассеянию (МУР) демонстрируют появление поверхностных фракталов в нескольких классах клеточных автоматов (КА). Показано, что МУР может быть применено для экспериментального исследования случайности в структурах на основе КА в нано- и микромасштабах [32].

Исследована сила трения, действующая на одномерный бозе-газ в оптической ловушке со стороны движущегося случайного потенциала. Показано, что отталкивание между бозонами ведет к сверхтекучему отклику системы и подавлению силы трения. Возникновение трения указывает на начало андерсоновской локализации. Для интегрируемой модели Либа–Линигера проведен количественный анализ неустойчивости Ландау и продемонстрировано существование эффективных порогов подвижности [33].

Развита теория вращательно-инвариантных функций Грина для динамической спиновой восприимчивости в модели $t-J$ со спином $1/2$ на гексагональной решетке. Термодинамические величины (спиновые корреляционные функции, магнитная восприимчивость, намагниченность подрешеток, корреляционная длина) вычислены в обобщенном приближении среднего поля для произвольных значений температуры и концентрации дырок. Обнаружено существенное различие в поведении зависимости намагниченности подрешеток и восприимчивости от концентрации дырок в модели $t-J$ между гексагональной и квадратной решетками [34].

Предложен механизм, позволяющий преодолеть известную дихотомию между долгоживущей спиновой поляризацией и быстрым перевертыванием спина в заданный момент времени. Рассматривается система атомов или молекул, взаимодействующих через магнитные дипольные силы. Предполагается, что компоненты системы обладают внутренней структурой, допускающей возникновение переменного квадратичного эффекта Зеемана, характеристиками которого можно эффективно управлять путем квазирезонансного одевания. Рассмотрен образец, подосо-

единенный к электрической цепи, создающей поле обратной связи, действующее на спины. Включая и выключая переменный квадратичный эффект Зеемана, можно реализовывать перевороты спинов с желаемым временем задержки. Предлагаемая техника регулирования переворотов спина может быть использована в квантовой обработке информации и спинтронике [35].

Впервые исследована динамика интегрируемой стохастической модели «Raise and peel» флуктуирующего фронта, эволюция которого описывается в терминах нелокальной лавинной динамики. Описана статистика лавинных потоков. Построены функции больших уклонений, описывающие динамику этих потоков в пределе большого времени. Явно вычислены их первые кумулянты, такие как среднее, дисперсия и т.д. Описан фазовый переход, происходящий в модели при отклонениях среднего по времени потока от его наиболее вероятной величины [36].

Построен широкий класс четырехмерных колчаных теорий, дуальных суперсимметричной хромодинамике Зайберга, возникающей в описании электромагнитных дуальностей в неабелевых теориях поля. Для этого использовалась цепочка нетривиальных тождеств для суперконформных индексов соответствующих теорий, построенных с помощью эллиптического преобразования Фурье и эллиптической интегральной леммы Бейли для эллиптических гипергеометрических интегралов на системе корней A_n [37].

В рамках кластерной теории возмущения были рассчитаны спектральные свойства слабодопированной модели t - J для купратов. Показано, что возникновение квантовых осцилляций в плотности электронных состояний можно объяснить с помощью появления эффективно замкнутых электронных орбит в импульсном пространстве, возникающих за счет брэгговского отражения электронов на волнах зарядовой плотности. Этот сценарий позволил полностью объяснить возможность возникновения квантовых осцилляций в системах сильно коррелированных электронов в псевдощелевой фазе [38].

Исследовано влияние связи между сверхпроводящим током и намагниченностью в джозефсоновском переходе сверхпроводник/ферромагнетик/сверхпроводник в циркулярно поляризованном магнитном поле. Продемонстрирована возможность проявления ферромагнитного резонанса на частотной зависимости амплитуды намагниченности и средней критической плотности тока. На вольт-амперных характеристиках обнаружены субгармонические лестничные структуры, обусловленные влиянием динамики намагниченности на разность фаз в джозефсоновском переходе. Субгармонические лестничные структуры могут быть использованы для регистрации майорановских состояний в джозефсоновских наноструктурах [39].

В рамках подхода Бардина и с помощью орбитальных волновых функций, полученных с помощью алгоритма Германа–Скиллмана, вычислены межатомные матричные элементы, характеризующие туннельное взаимодействие, для всех пар атомов из набора B, C, N, Si, P, S, Ti, V, Se, Mo, Te и W. Данный набор является базовым для формирования современных 2D-материалов. В широком интервале расстояний эти значения были аппроксимированы простыми функциями с малым набором параметров. Результаты представлены в соответствующих таблицах. Данные величины крайне важны для описания туннельных явлений в низкоразмерных материалах с использованием приближения сильной связи [40].

Современная математическая физика: струны и гравитация, суперсимметрия, интегрируемость

Исследования по теме в 2018 г. были сосредоточены на следующих направлениях:

- квантовые группы и интегрируемые системы;
- суперсимметрия;
- квантовая гравитация, космология и струны.

На основе унитарных представлений Вигнера для накрывающей группы $ISL(2, C)$ группы Пуанкаре получены спин-тензорные волновые функции свободных массивных частиц с произвольным спином, удовлетворяющие уравнениям Дирака–Паули–Фирца. В рамках двухспинорного формализма построены спин-векторы поляризации и получены условия, которые фиксируют соответствующие матрицы плотности (проекторные операторы Берендса–Фронсдала), определяющие числители в пропагаторах полей таких частиц. С помощью этих условий найдены явные выражения для матриц плотности частиц с целым (проекторные операторы Берендса–Фронсдала) и полуцелым спином. Получено обобщение проекционных операторов Берендса–Фронсдала для случая произвольного числа D измерений пространства-времени [41].

В рамках гамильтонова формализма исследованы $N = 4$ суперсимметричные механики частиц на искривленных пространствах, описываемые несколькими $N = 4$, $d = 1$ линейными мультиплетами. Показано, что условием существования суперсимметрии является обобщение известного уравнения Виттена–Дийкграафа–Верлинде–Верлинде, названное искривленным уравнением WDVV. Найдены решения этого уравнения на изотропных пространствах, построены обобщения потенциалов и решений WDVV, известных для плоского случая, на эти пространства [42].

Продолжаются исследования специальных борзомерфельдовых подмногообразий для случая, когда объемлющее симплектическое многообразие обладает согласованной интегрируемой комплексной структурой, т.е. когда объемлющее многообразие

является алгебраическим. В этом случае показано, как специальная геометрия Бора–Зоммерфельда сводится к теории Морса на дополнениях к обильным дивизорам. Отсюда вытекает конструкция лагранжевой тени обильного дивизора в алгебраическом многообразии, что является примером двойственности «алгебраическое *vs* симплектическое». Предложено условие существования лагранжевой тени, а также приведены примеры лагранжевых теней некоторых обильных дивизоров на проективной плоскости, комплексной квадрике, многообразии флагов [43].

Предложена новая лагранжева модель безмассовой $D = 4$ релятивистской частицы с непрерывным спином, и развита ее твисторная формулировка. Используются два твистора Пенроуза, подчиненные четырем связям первого рода. После первичного квантования твисторной модели на мировой линии ее волновая функция определяется как функция без связей на двумерной комплексной аффинной плоскости. Найдено твисторное преобразование, которое позволяет выразить пространственно-временное поле частицы с непрерывным спином через соответствующее твисторное поле, играющее роль препотенциала. Показано, что это пространственно-временное поле является точным решением пространственно-временных связей, задающих неприводимое безмассовое представление группы Пуанкаре с непрерывным спином [44].

Рассмотрена $6D$, $N = (1, 1)$ суперсимметричная теория Янга–Миллса в $N = (1, 0)$ гармоническом суперпространстве, и проанализирована структура двухпетлевых расходимостей в секторе гипермультиплетов. С использованием $N = (1, 0)$ метода фоновых суперполей изучены двухточечные суперграфы с внешними гипермультиплетными линиями и доказано, что их полный вклад в расходящуюся часть эффективного действия равен нулю на массовой поверхности [45].

Изучены решения системы Эйнштейна–Скирма. Рассмотрены тестовые скирмионы на фоне черной дыры Керра. В секторе с ненулевым барионным зарядом такие скеррмионы подобны известным скирмовским решениям на фоне дыр Шварцшильда. С другой стороны, в нетопологическом секторе, скеррмионы не имеют аналогов среди решений на шварцшильдовском фоне. Нетопологические скеррмионы не несут барионного заряда и представляют собой бифуркацию подмножества решений Керра, определяющего линию существования. Нетопологические скеррмионы тривиализуются в пределе нулевой массы черной дыры. Обсуждается обратное действие этих скеррмионов, порождающее вращающиеся черные дыры с синхронизированными скирмовскими волосами, плавно переходящие в решения Керра (самогравитирующие скирмионы) в нетопологическом (топологическом) секторе [46].

Рассмотрена многочастичная $SU(2|1)$ суперсимметричная квантовая механика с дополнительными полудинамическими спиновыми степенями свободы. В частности, дана $N = 4$ суперсимметризация квантовой спиновой $U(2)$ модели Калоджеро–Мозера с внутренним массовым параметром, появляющимся из центрального расширения супералгебры $SU(2|1)$. Полная система допускает $SU(2|1)$ ковариантное разделение на сектор центра масс и фактор по этому сектору. Выведены явные выражения для классических и квантовых $SU(2|1)$ -генераторов в обоих секторах, так же как и для полной системы. Определены соответствующие энергетические спектры, вырождения и наборы физических состояний [47].

Рассмотрен разреженный эллиптический β -интеграл в различных предельных формах. В частности, получено интегральное тождество для парафермионных гиперболических γ -функций, описывающих звездно-треугольное соотношение в парафермионной теории Лиувилля [48].

Современные прецизионные измерения силы Казимира (до фемтоньютон) нуждаются в теоретических моделях, учитывающих внутренние динамические свойства взаимодействующих тел. Рассмотрена модель, в которой скалярное поле «заперто» не на поверхности, а в двух полупространствах, разделенных щелью ширины L . Внутри полупространств это поле взаимодействует с другим скалярным полем, существующим во всем пространстве. Для юкавского взаимодействия получены выражения коэффициентов отражения полупространств через однопетлевую поляризационный оператор рассматриваемой квантово-полевой модели. С помощью полученных коэффициентов отражения удалось представить конечную часть вакуумной энергии, зависящую от расстояния между полупространствами, в виде, напоминающем формулу Лифшица, и вычислить силу Казимира [49].

Предложено обобщение $f(R, T)$ гравитационных теорий (где R — скалярная кривизна, T — след тензора энергии-импульса) посредством введения в действие высших производных от материальных полей. Изучены вопросы устойчивости подобных теорий и найдены ограничения на параметры для предупреждения появления основных типов нестабильности, таких как духи и тахионы. Получены основные уравнения, описывающие космологию для нескольких представлений предложенной теории, и подробно изучены отличия от традиционной $f(R, T)$ -гравитации без высших производных от материальных полей. Показано, что инфляционные сценарии в подобных теориях возникают вполне естественно даже в заполненной пылью Вселенной без каких-либо дополнительных материальных источников. Построена инфляционная модель в одном из простей-

ших представлений теории, вычислены основные инфляционные параметры, и показано, что они вполне могут быть согласованы с наблюдениями [50].

Многие решения типа черных дыр приобретают нежелательные свойства из-за явления масс-инфляции, когда внутренний горизонт становится сингулярным. Это явление достаточно универсальное и возникает вследствие рассеяния падающей

материи на внутреннем горизонте (что всегда происходит в реальном мире). Показано, что явление масс-инфляции не возникает для целого класса решений при условии, что в эффективном фазовом пространстве эти решения не допускают переноса энергии между степенями свободы. Отличительной чертой таких решений является своего рода «квантование» измеряемых параметров модели [51].

ДУБНЕНСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКОЛА СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (DIAS-TN)

В рамках DIAS-TN в 2018 г. проведены 4 международных школы:

- XIV Зимняя школа по теоретической физике «Статистические суммы и автоморфные формы», 29 января – 2 февраля, Дубна;
- Гельмгольцевская международная школа «Современные коллайдеры — теория и эксперимент», 22 июля – 1 августа, Дубна;
- международная школа «Современные методы теоретической физики: интегрируемые и стохастические системы», 5–10 августа, Дубна;

• Гельмгольцевская международная летняя школа «Материя при экстремальных условиях в столкновениях тяжелых ионов и астрофизике», 20–31 августа, Дубна.

Регулярно проводились семинары для студентов и аспирантов, поддерживался сайт DIAS-TN, продолжалась видеозапись лекций.

КОНФЕРЕНЦИИ, СОВЕЩАНИЯ, СОТРУДНИЧЕСТВО

Кроме мероприятий, проведенных в рамках DIAS-TN, в 2018 г. были организованы следующие конференции, рабочие совещания и школы:

- II Международное совещание «Симуляции столкновений тяжелых ионов при энергиях NICA», 16–18 апреля, Дубна;
- коллоквиум «Неравновесные явления в сильно коррелированных системах», 18–19 апреля, Дубна;
- XX Международный семинар по физике высоких энергий «Кварки-2018», 27 мая – 2 июня, Рошино, Валдайский район, Россия;
- международная конференция «Структура ядра и связанные проблемы» (NSRT18), 3–9 июня, Бургас, Болгария;
- международное рабочее совещание «Низкоразмерные материалы: теория, моделирование и эксперимент», 9–12 июля, Дубна;
- XXXII Международный коллоквиум «Групповые теоретические методы в физике», 9–13 июля, Прага, Чехия;
- международное рабочее совещание «Вычисления для современных и будущих коллайдеров», 22 июля – 1 августа, Дубна;

• международное рабочее совещание «Суперсимметрия в интегрируемых системах» (SIS'18), 13–16 августа, Дубна;

• VI Международная конференция «Модели в квантовой теории поля» памяти профессора А. Н. Васильева, 27–31 августа, Петергоф, Россия;

• совместное рабочее совещание «Физика сильно взаимодействующих систем» ЛТФ ОИЯИ–ИТФ Академии наук Китая, 2–7 сентября, Санкт-Петербург, Россия;

• II Международное совещание «Решеточные и функциональные методы исследования фазовой структуры и транспортных свойств в КХД», 4–6 сентября, Дубна;

• XXIV Международный Балдинский семинар по проблемам физики высоких энергий «Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика», 17–22 сентября, Дубна;

• XV Международный семинар «Электромагнитные взаимодействия ядер» (EMIN-2018), 8–11 октября, Москва, Россия;

• V Симпозиум «Достижения и цели в физике в ОИЯИ и Южной Африке», 4–9 ноября, Сомерсет-Уэст, ЮАР.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В 2018 г. введен в строй самый мощный в ЛТФ сервер theor3.jinr.ru с суммарным числом вычислительных ядер 24, оперативной памятью 768 Гбайт, GPU Tesla P100. Малая аудитория 2-го этажа оснащена стационарным проектором высокого разрешения и экраном с электроприводом. С целью полного обновления аудиовизуального оснащения конференц-зала ЛТФ приобретены проектор высокого разрешения с лазерным

источником света, а также передовое звукоусилительное и управляющее оборудование. Для увеличения вычислительных возможностей на индивидуальных рабочих местах приобретено 14 ПК и ноутбуков. Продлена техническая поддержка и обновлены версии Mathematica, Maple, Origin Pro, Intel Parallel Studio. Приобретены по три дополнительные сетевые лицензии для Mathematica и для Origin Pro.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kazakov D. I., Borlakov A. T., Tolkachev D. M., Vlasenko D. E. // Phys. Rev. D. 2018. V. 97. P. 125008; Kazakov D. I. // Phys. Lett. B. 2018. V. 786. P. 327.
2. Bednyakov A. V. // JHEP. 2018. V. 1811, P. 154; Bednyakov A. V., Rutberg V. // Mod. Phys. Lett. A. 2018. V. 33. P. 1850152.
3. Gituliar O., Magerya V., Pikelner A. // JHEP. 2018. V. 1806. P. 099; Kniehl B., Pikelner A., Veretin O. // Nucl. Phys. B. 2018. V. 937. P. 533; Pikelner A. // Comp. Phys. Commun. 2018. V. 224. P. 282.
4. Hnatic M., Kalagov G. A., Nalimov M. Yu. // Nucl. Phys. B. 2018. V. 936. P. 206.
5. Soni N. R., Ivanov M. A., Korner J. G., Pandya J. N., Santorelli P., Tran C. T. // Phys. Rev. D. 2018. V. 98. P. 114031.
6. Babič A., Kovalenko S., Krivoruchenko M. I., Šimkovic F. // Phys. Rev. D. 2018. V. 98. P. 015003.
7. Anikin I. V., Szymanowski L. // Eur. Phys. J. A. 2018. V. 54. P. 130.
8. Efremov A. V., Ivanov N. Ya., Teryaev O. V. // Phys. Lett. B. 2018. V. 780. P. 303.
9. Ayala C., Mikhailov S. V., Stefanis N. G. // Phys. Rev. D. 2018. V. 98. P. 096017.
10. Abgaryan V., Alvarez-Castillo D. E., Ayriyan A., Blaschke D. B., Grigorian H. // Universe. 2018. V. 4(9). P. 94.
11. Dorokhov A. E., Kochelev N. I., Martynenko A. P., Martynenko F. A., Radzhabov A. E. // Phys. Lett. B. 2018. V. 776. P. 105; Dorokhov A. E., Krutov A. A., Martynenko A. P., Martynenko F. A., Sukhorukova O. S. // Phys. Rev. A. 2018. V. 98. P. 042501.
12. Ivanov Yu. B., Soldatov A. A. // Phys. Rev. C. 2018. V. 97. P. 024908; Phys. Rev. C. 2018. V. 98. P. 014906; Phys. Rev. C. 2018. V. 97. P. 021901.
13. Ivanov Yu. B., Soldatov A. A. // Phys. Rev. C. 2018. V. 97. P. 044915.
14. Kolomeitsev E. E., Toneev V. D., Voronyuk V. // Phys. Rev. C. 2018. V. 97. P. 064902.
15. Braguta V. V., Ilgenfritz E.-M., Kotov A. Yu., Molochkov A. V., Nikolaev A. A. // Phys. Rev. D. 2018. V. 94. P. 114510; Astrakhantsev N. Y., Bornyakov V. G., Braguta V. V., Ilgenfritz E.-M., Kotov A. Y., Molochkov A. V., Nikolaev A. A., Rothkopf A. arXiv:1808.06466 [hep-lat].
16. Nesterenko V. O., Repko A., Kvasil J., Reinhard P.-G. // Phys. Rev. Lett. 2018. V. 120. P. 182501.
17. Ganev H. // Phys. Rev. C. 2018. V. 98. P. 034314.
18. Balbutsev E. B., Molodtsova I. V., Schuck P. // Phys. Rev. C. 2018. V. 97. P. 044316.
19. Wiederhold J., Kern R., Lizarazo C., Pietralla N., Werner V., Jolos R. V. et al. // J. Phys. C. 2018. V. 1023. P. 012024.
20. Adamian G. G., Antonenko N. V., Lenske H. // Nucl. Phys. A. 2018. V. 970. P. 22.
21. Mandaglio G., Anastasi A., Curciarello F., Fazio G., Giardina G., Nasirov A. K. // Phys. Rev. C. 2018. V. 98. P. 044616.
22. Severyukhin A. P., Aberg S., Arsenyev N. N., Nazmitdinov R. G. // Phys. Rev. C. 2018. V. 98. P. 044319.
23. Shulgina N. B., Ershov S. N., Vaagen J. S., Zhukov M. V. // Phys. Rev. C. 2018. V. 97. P. 064307.
24. Kolganova E. A. // Few-Body Syst. 2018. V. 59. P. 28.
25. Kondratyev V. N. // Phys. Lett. B. 2018. V. 782. P. 167.
26. Grozdanov T. P., Solov'ev E. A. // Eur. Phys. J. D. 2018. V. 72. P. 64.
27. Blaschke D., Dubinin A., Ebert D., Friesen A. V. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15. P. 230.
28. Bondarenko S. G., Burov V. V., Yurev S. A. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15. P. 442.
29. Dorkin S., Kaptari L., Kaempfer B. // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15. P. 411.
30. Parvan A. S. // Physica A. 2018. V. 496. P. 410.
31. Titov A. I., Takabe H., Kämpfer B. // Phys. Rev. D. 2018. V. 98. P. 036022.
32. Anitas E. M., Sliamov A. // Ann. Physik. 2018. V. 530. P. 1800187.
33. Cherny A. Yu., Caux J.-S., Brand J. // J. Phys. B. 2018. V. 51. P. 015301.
34. Vladimirov A. A., Ihle D., Plakida N. M. // Eur. Phys. J. B. 2018. V. 91. P. 195.
35. Yukalov V. I., Yukalova E. P. // Phys. Rev. B. 2018. V. 98. P. 144438.
36. Povolotsky A. M., Pyatov P. N., Rittenberg V. // J. Stat. Mech.: Theory Exp. 2018. P. 053107.

37. Brunner F., Spiridonov V. // JHEP. 2018. V.2018. P.105.
38. Ivantsov I., Ferraz A., Kochetov E. // Phys. Rev. B. 2018. V.98. P.214511.
39. Nashaat M., Botha A.E., Shukrinov Yu.M. // Phys. Rev. B. 2018. V.97. P.224514.
40. Katkov V.L., Lobanov D.A. // J. Comput. Electron. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10825-018-1281-y>.
41. Isaev A.P., Podoyntsyn M.A. // Theor. Math. Phys. 2018. V.195, No.3. P.779.
42. Kozyrev N., Krivonos S., Lechtenfeld O., Nersessian A., Sutulin A. // Phys. Rev. D. 2018. V.97. P.085015; arXiv:1711.08734.
43. Tyurin N.A. // Izv. Math. 2018. V.82, No.3. P.612.
44. Fedoruk S., Isaev A.P., Rusnak A. // JHEP. 2018. V.1807. P.031; arXiv:1805.09706 [hep-th].
45. Buchbinder I.L., Ivanov E.A., Merzlikin B.S., Stepanyantz K.V. // Phys. Lett. B. 2018. V.778. P.252; arXiv:1711.11514 [hep-th].
46. Herdeiro C., Perapechka I., Radu E., Shnir Ya. // JHEP. 2018. V.10. P.119; arXiv:1808.05388 [hep-th].
47. Fedoruk S., Ivanov E., Lechtenfeld O., Sidorov S. // JHEP. 2018. V.1804. P.043; arXiv:1801.00206 [hep-th].
48. Sarkissian G., Spiridonov V.P. // JHEP. 2018. V.1810. P.097; arXiv:1809.00493 [hep-th].
49. Bordag M., Pirozhenko I.G. // Symmetry. 2018. V.10. P.74.
50. Tretyakov P.V. // Eur. Phys. J. C. 2018. V.78. P.896.
51. Davydov E.A. // Theor. Math. Phys. 2018. V.197, No.2. P.1663.



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 2018 г. была сосредоточена на создании и дальнейшем развитии комплекса NICA (проектов «Нуклотрон–

NICA», MPD, BM@N и SPD), на участии в текущих исследованиях на нуклотроне и в экспериментах, проводимых в ускорительных центрах мирового класса.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСА NICA

Развитие ускорительного комплекса ЛФВЭ в 2018 г. было направлено на дальнейшее создание систем и элементов комплекса NICA.

С февраля по апрель на выведенных пучках ионов $^{12}\text{C}^{6+}$, $^{40}\text{Ar}^{16+}$ и $^{78}\text{Kr}^{26+}$ был проведен 55-й сеанс работы одного из базовых элементов будущего комплекса NICA — сверхпроводящего синхротрона нуклотрон [1].

В ходе сеанса:

- впервые реализован режим бесструктурного медленного вывода ускоренного пучка из сверхпроводящего синхротрона с использованием ВЧ-шума для повышения качества и однородности пучка (рис. 1);

- новый источник многозарядных ионов KRION 6T, необходимый для реализации программы тяжелых ионов комплекса NICA, продемонстрировал стабильную и надежную работу;

- впервые в России ускорены и выведены из кольца ионы криптона с энергией 3,1 ГэВ/нуклон и продемонстрирована возможность стабильной работы нуклотрона с полем на уровне 18 кГц.

Проект «Нуклотрон–NICA»

Строительные работы

В 2018 г. завершены работы и подготовлены к установке оборудования западное полукольцо коллайдера и здание системы электронного охлаждения бустера. Продолжались работы по строительству восточного полукольца. Ход работ по созданию павильона MPD соответствует плану-графику, предполагающему доставку и установку магнита MPD в конце 2019 г. Построено около 80 % железобетонных конструкций павильона SPD, всего в 2018 г. создано около 500 т железобетонных конструкций.

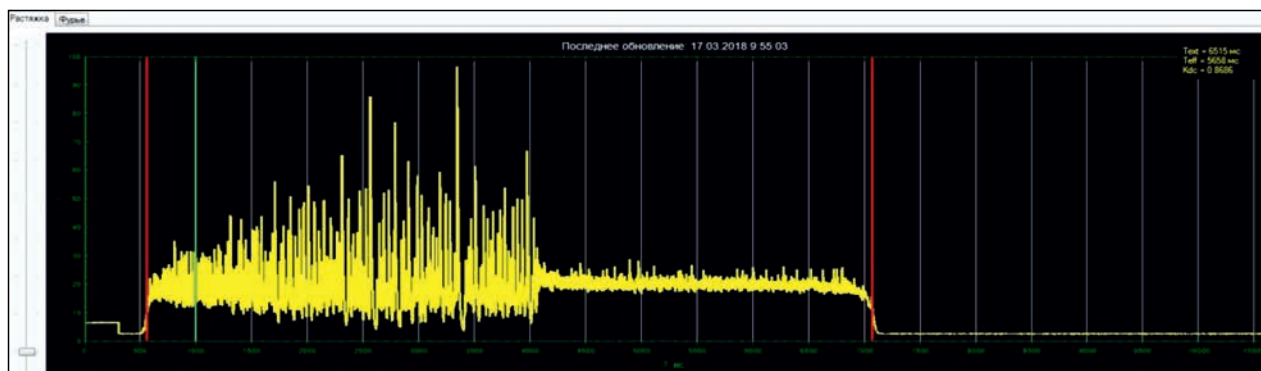


Рис. 1. Левая часть спектра — перед включением кикера, правая — после него

Бустер

В 2018 г. завершено производство и сертификация магнитов бустерного синхротрона. В сентябре 2018 г. начата сборка магнитной системы бустера. Установлены дипольные магниты в двух из четырех квадрантах ускорителя. Работы идут в соответствии с графиком, пусконаладочные работы на пучке и ввод в эксплуатацию бустера намечены на конец 2019 г.

Практически завершены работы по строительству канала транспортировки пучка от линейного ускорителя тяжелых ионов в бустер.

В завершающей стадии находится проектирование канала транспортировки пучка из бустера в нуклотрон, проводимое совместно с ИЯФ СО РАН. Начато производство оборудования.

Коллайдер

В рамках контракта с компанией «Сигма-Фи» (Франция) в 2018 г. выполнено проектирование каналов транспортировки пучков из нуклотрона в кольца коллайдера, начато производство оборудования.

На завершающей стадии находится изготовление двух ВЧ-станций системы, отвечающей за инжекцию пучка в коллайдер. Начато производство оборудования электронного охлаждения и ВЧ-станций коллайдера. Изготовлено и успешно испытано пять дипольных магнитов коллайдера и 20 ярм для дипольных магнитов коллайдера. Успешно протестирован предсерийный образец структурного магнита коллайдера, начато серийное производство.

Вычислительная инфраструктура NICA

Работа по созданию вычислительной инфраструктуры комплекса NICA ведется в тесном сотрудничестве с ЛИТ ОИЯИ. В рамках этой деятельности создана и вводится в эксплуатацию высокоскоростная сеть (400 Гбит/с) между ЛИТ и ЛФВЭ, в лаборатории введен в эксплуатацию новый компьютерный кластер с дисковым пространством 4 ПБ и 4000 процессорных ядер.

Установка MPD

Магнит MPD

Работы по созданию сверхпроводящего магнита многоцелевого детектора идут по графику в рамках заключенного с ASG Superconducting Company (Генуя, Италия) и Vitkovice NM (Чехия) контракта. В 2018 г. в Vitkovice NM была успешно проведена контрольная сборка ярма магнита; изготовлен и испытан криостат магнита MPD; изготовлены все три модуля сверхпроводящей катушки, ведется ее сборка; изготовлен и подготовлен к установке азотный экран; готова к доставке в ОИЯИ система питания сверхпроводящих магнитов.

В рамках сотрудничества с ЦЕРН изготовлена и будет доставлена в 2019 г. из ЦЕРН в ОИЯИ измерительная машина для точного измерения карты магнитного поля в зоне времяпроекционной камеры ($8 \cdot 10^3$ точек в объеме диаметром 814 мм и длиной 3400 мм по оси магнита).

Времяпроекционная камера (TPC)

TPC является основным элементом трековой системы и системы идентификации частиц MPD. В 2018 г. выполнены следующие работы по ее созданию: подготовлена и полностью оборудована чистая комната для сборки TPC; изготовлены, доставлены в ОИЯИ и готовы к сборке все основные элементы корпуса детектора; изготовлен высоковольтный электрод TPC; продолжились работы над считывающей электроникой — в 2018 г. успешно протестирована пилотная система, включающая 512 каналов read-out электроники TPC на базе чипа SAMPA; в коллаборации с группой из БГУ (Минск) разработана система низковольтного питания; изготовлены два лазера для системы внутренней калибровки TPC; начаты работы по вводу в эксплуатацию газовой системы TPC.

Времяпролетная система (ToF)

В 2018 г. было начато массовое производство детекторов времяпролетной системы MPD. Завершено изготовление корпусов детекторов и электроники; велось изготовление и сборка детекторов; группой из Варшавского технологического университета (Польша) в 2018 г. изготовлено большинство компонентов газовой системы ToF.

Быстрый передний детектор (FFD)

В 2018 г. в рамках создания FFD достигнуты следующие результаты:

- подготовлен проект размещения детектора и фронтальной электроники вокруг канала пучка;
- разработана система высоковольтного электропитания на базе модулей Wiener и Iseg;
- разработаны и прототипированы электроника FFD и триггерная система;
- собран стенд для испытаний модулей FFD на мюонах (космика);
- завершены работы по проектированию системы для лазерной юстировки, начато ее испытание.

Электромагнитный калориметр

Создаваемый в рамках эксперимента MPD электромагнитный калориметр типа «шашлык» с проекционной геометрией является уникальным высокотехнологичным проектом. Он состоит из более чем 40 тысяч модулей, которые требуется изготовить и собрать в единую цилиндрическую систему, после чего откалибровать и ввести в эксплуатацию. Проект реализуется совместно с Университетом Цинхуа (Пекин). В 2018 г. в рамках его реализации выполнены следующие работы:

- налажено производство всех компонентов электромагнитного калориметра, в том числе на двух предприятиях изготовлена почти половина сцинтилляционных (из 107) и опорных (из 3×104) пластин. Также на двух предприятиях был размещен заказ на изготовление 10 млн свинцовых пластин;

- организованы два участка сборки модулей калориметра (в ИФВЭ и на заводе «Тензор»). На них в 2019 г. запланирована работа по сборке модулей в рамках квоты ОИЯИ — 25 %. Для сборки модулей по квоте Китая (75 %) организован первый участок сборки в Пекине. Однако вопрос финансирования работ до сих пор не решен;

- успешно испытаны первые образцы модулей, произведенные в ОИЯИ, Пекине и ИФВЭ;

- продолжено проектирование силовой конструкции MPD (г. Хотьково). Первая партия будет изготовлена к концу 2019 г.

Установка BM@N

Установка BM@N постоянно пополняется новым оборудованием. В 2018 г. центральная трековая система была оснащена тремя передними стриповыми Si-детекторами и шестью детекторами GEM площадью 163×45 см. Во время набора данных использовались различные времяпролетные системы, электромагнитный и адронный калориметры, внешний трекер, включающий дрейфовые камеры и катодную стриповую камеру, детектор для регистрации нейтронов, детекторы мониторинга пучка и тригерные детекторы.

Физическая программа BM@N была расширена проектом «Изучение короткодействующих корреляций» (SRC). Международная коллаборация, в которую входят представители ОИЯИ, России, США, Франции, Германии и Израиля, подготовила требуемую конфигурацию установки к работе и успешно провела первый набор данных в ходе 55-го сеанса нуклотрона. С 3 по 17 марта было набрано почти 20 ТБ (8 млн событий) данных на пучках углерода, сбрасываемых на жидководородную мишень с энергией 4 ГэВ. Ведется анализ данных.

После сеанса по программе SRC оборудование было модифицировано в соответствии с требованиями программы тяжелых ионов BM@N, и сеанс был продолжен на пучках аргона и криптона с кинетической энергией 3,2 и 2,3 (2,9) ГэВ соответственно. Набились данные по неупругому взаимодействию пучков ионов с ядерными мишенями (Al, Cu, Sn, Pb) с целью изучения реакций с рождением гиперонов, странных мезонов, фрагментов легких ядер и мультигамма-состояний. Полученная статистика составила 200 млн событий. Идет анализ данных [2].

Общие события MPD и BM@N

В апреле и октябре 2018 г. были проведены рабочие совещания по формированию коллабораций BM@N и MPD.

Обсуждения и выступления на первом совещании были сосредоточены вокруг трех основных тем:

- текущий статус подготовки экспериментов BM@N и MPD, планы на будущее, включая все подсистемы, моделирование, ожидаемые параметры детекторов и готовность к анализу данных;

- текущий статус и план-график создания комплекса NICA, ожидаемые параметры;

- процедуры принятия уставов коллабораций, а также формирование руководящих органов коллабораций.

Второе совещание было посвящено обсуждению текущего состояния и планов работ по экспериментам MPD и BM@N и официальным выборам руководящих органов коллабораций. М. Капшин избран официальным руководителем BM@N, А. Максимчук — техническим координатором эксперимента, А. Кисель — официальным руководителем эксперимента MPD, В. Головатюк — его техническим координатором. В коллаборацию BM@N вошло 216 участников, представляющих 17 институтов из 10 стран; в коллаборацию MPD — 436 участников от 26 институтов из 10 стран.

В 2018 г. подписан протокол к Соглашению о сотрудничестве между Европейской организацией ядерных исследований (ЦЕРН) и Объединенным институтом ядерных исследований (ОИЯИ) о разработке и предоставлении ЦЕРН монолитных пиксельных детекторов, фронтальной электроники TPC и других элементов эксперимента MPD установки NICA в ОИЯИ.

Кремниевый вершинный детектор

В 2018 г. продолжались работы над проектированием широкоапертурной кремниевой трековой системы для планируемой глубокой модернизации установки BM@N.

Полностью отлажена технологическая линия сборки модулей для КТС на макетах, и начаты работы над сборкой рабочих модулей.

В декабре 2018 г. проведен тестовый сеанс на выведенном пучке электронов с энергией 100 МэВ на линейном ускорителе ЛИНАК-200 (ЛЯП ОИЯИ). В ходе сеанса протестирована работа считывающей электроники для кремниевой трековой системы эксперимента MPD. Установка состояла из двух тестовых станций с двусторонними микростриповыми кремниевыми сенсорами размером $1,5 \times 1,5$ см. Толщина сенсоров — 300 мкм, ширина стрипов — 58 мкм, угол между стрипами — 90° . Считывание и обработка сигнала происходила с использованием микросхем STSXUTER v.2.0 и последующих блоков AFCK и FLIB на базе FPGA-модулей. В ходе сеанса набрано ~ 200 Гб данных для энергий электронов от 50 до 100 МэВ. На основании полученных данных планируется исследовать следующие параметры: размеры кластера в зависимости от энергии, эффективность сбора заряда, соотношение сигнал/шум.

Сеанс проводился совместно с группой из СПбГУ (руководитель — В. Жеребчевский), которая вела изучение монолитных активных пиксельных сенсоров ALPIDE. Данные сенсоры будут использоваться при создании внутреннего трекера установки NICA-MPD.

В рамках проекта создания внутренней трековой системы MPD-ITS проведено эскизное проектирование трекера (рис. 2). Предложен сценарий установки тонкостенного бериллиевого ионопровода и сопутствующих устройств в зоне ТРС.

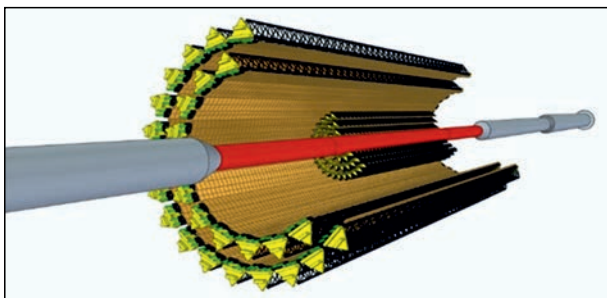


Рис. 2. 3D-изображение пятислойного трекера для MPD в «оптимальном» варианте

Установка SPD

Предлагаемый вариант детектора SPD, ориентированный на научную программу, представленную в Письме о намерениях (LoI), был поддержан ПКК по физике частиц в 2014 г. и должен иметь:

- геометрический акцептанс, близкий к 4π ;
- высокоточный (~ 50 мкм) и быстрый вершинный детектор;
- высокоточный (~ 100 мкм) и быстрый трекер;
- хорошие возможности идентификации частиц;
- эффективную систему мюонного диапазона;
- хороший электромагнитный калориметр;
- малое количество вещества в трековой системе;
- триггер и систему сбора данных, работающие при высоких нагрузках и светимости 10^{32} (см \cdot с) $^{-1}$;
- модульность и доступ к элементам детектора, дающие возможность для реконфигурации установки и ее модернизации.

В 2018 г. подготовлен и представлен на утверждение 50-й сессией ПКК официальный проект «Разработка концептуального и технического проектов для установки SPD на коллайдере NICA» [3].

ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ПРОВОДИМЫЕ НА НУКЛОТРОНЕ

FASA

В 2018 г. коллаборацией изучались спектры кинетических энергий фрагментов промежуточной массы ($2 < Z < 20$), полученные при взаимодей-

ствии d (4,4 ГэВ) + Au [4]. Пример спектров кинетических энергий фрагментов бора и неона представлен на рис. 3. Видна сильная разница между экспериментальными данными и расчетом, выполненным

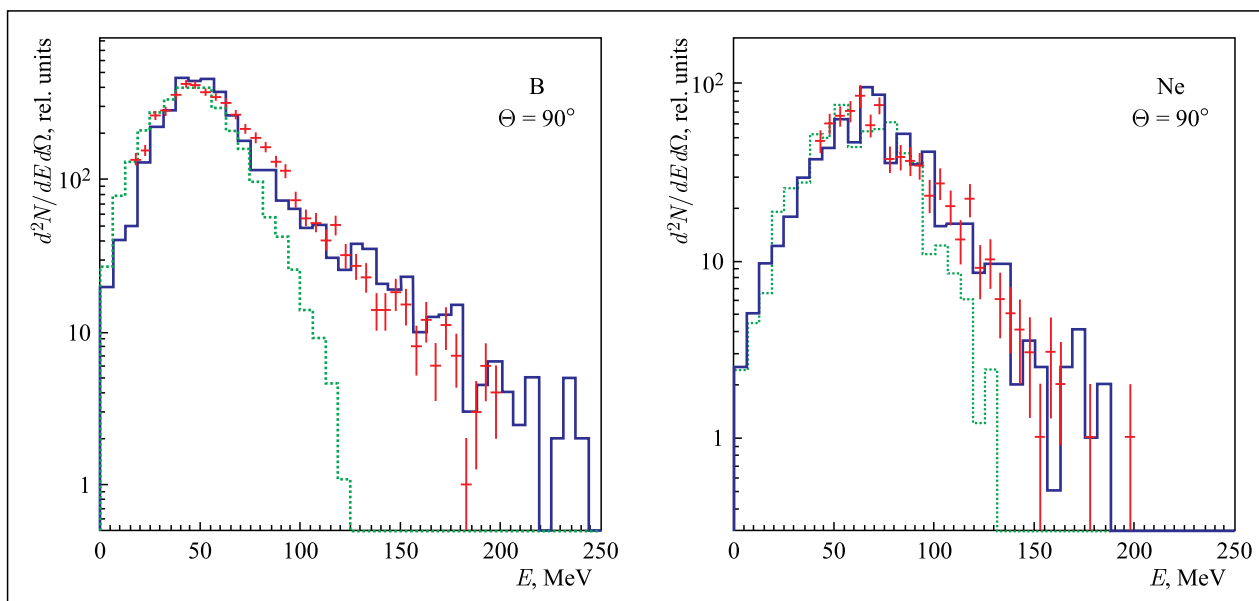


Рис. 3. Спектры кинетических энергий фрагментов бора и неона, полученные в реакции d (4,4 ГэВ) + Au под углом $\Theta = 90^\circ$. Точки — экспериментальные данные, сплошные линии (синие) — расчеты INC + SMM с радиальным потоком $V_{\text{flow}}^0 = 0,15c$ (c — скорость света) для фрагментов бора и $V_{\text{flow}}^0 = 0,08c$ для фрагментов неона. Точечные линии (зеленые) — расчет INC + SMM без радиального потока

в рамках внутриядерного каскада (INC) и статистической модели мультифрагментации (SMM) без потока. Было предположено, что жесткая часть спектра обусловлена радиальным расширением системы. SMM определяет координаты R_Z и импульсы фрагментов с зарядом Z для объема формирования системы с радиусом R_{sys} . Для описания экспериментальных данных каждой частице в объеме формирования была добавлена радиальная скорость. Предполагалось гомогенное радиальное расширение, в котором скорость потока линейно зависит от расстояния фрагмента до центра масс распадающейся системы. Скорость $V_{flow}(Z)$ частицы с зарядом Z , расположенной на радиусе R_Z , принималась следующим образом:

$$V_{flow}(Z) = V_{flow}^0 R_Z / R_{sys},$$

где V_{flow}^0 — радиальная скорость на поверхности системы. Значение V_{flow}^0 бралось таким, чтобы описать экспериментальные спектры кинетических энергий фрагментов. Получено хорошее согласие

экспериментальных и расчетных спектров кинетических энергий при наличии в расчетах радиального потока.

DSS

В рамках проекта DSS в 2018 г. осуществлено следующее:

- в ходе 55-го сеанса нуклотрона полностью введен в эксплуатацию модернизированный вариант экспериментальной установки на внутреннем пучке для измерения короткодействующих нуклон-нуклонных корреляций при взаимодействии легких ядер;
- проведен анализ экспериментальных данных по угловой зависимости упругого сечения рассеяния $d-p$ при энергиях дейтронов 1000, 1300 и 1800 МэВ, полученных на внутренней мишени;
- выполнен анализ экспериментальных данных по угловым зависимостям анализирующих мощностей дейтронов A_x , A_y и A_{xx} для упругого рассеяния $d-p$ при энергиях дейтронов 400, 700, 800 и 1000 МэВ, полученных на внутренней мишени [5].

УЧАСТИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ В ДРУГИХ УСКОРИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ

Эксперименты на Большом адронном коллайдере

ALICE

На рис. 4 представлены новые результаты по фемтоскопическим корреляциям пар K^+K^- для Pb–Pb-столкновений при 2,76 ТэВ на пару нуклонов вместе с результатами нового фита, предложенного

группой из Дубны (рис. 4, а) в рамках модели FSI с использованием параметров: традиционных для $a_0(980)$ (Martin, Achasov) и свободных для $f_0(980)$ -состояний [6]. Видно, что согласие данных и модели заметно лучше, чем для фита с традиционными параметрами (рис. 4, б). Получено новое значение ширины f_0 ($7,0 \pm 2,2$ МэВ) из «дубненского» фита, которое согласуется с результатом коллаборации BES3 ($9,5 \pm 1,1$ МэВ).

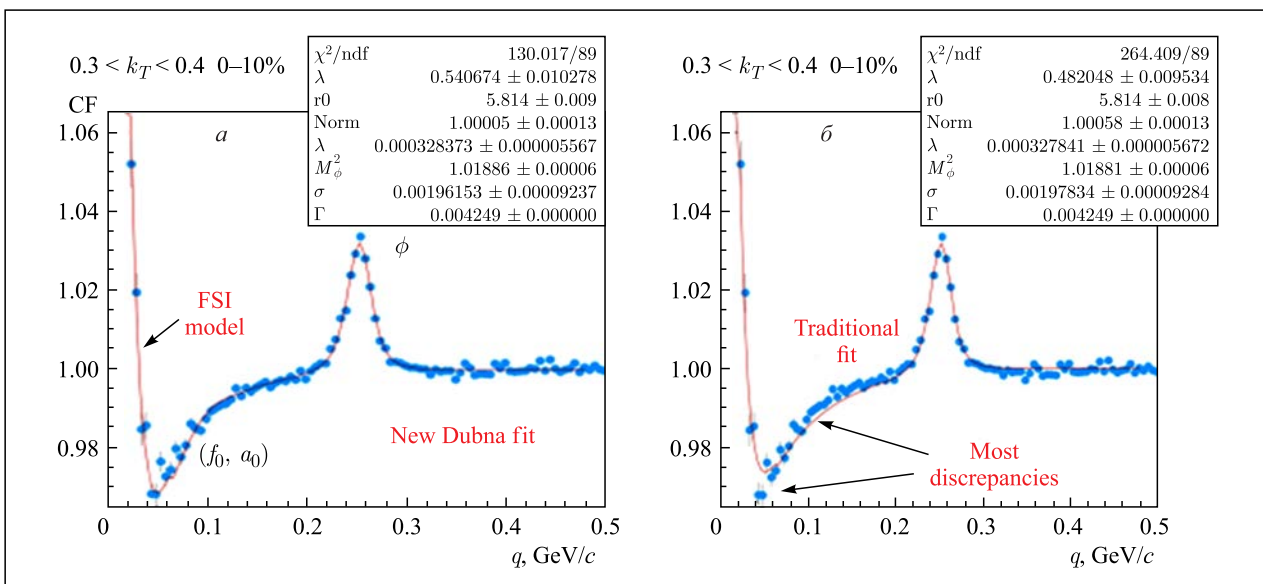


Рис. 4. Фемтоскопические корреляционные функции K^+K^- -пар для Pb–Pb при 2,76 ТэВ

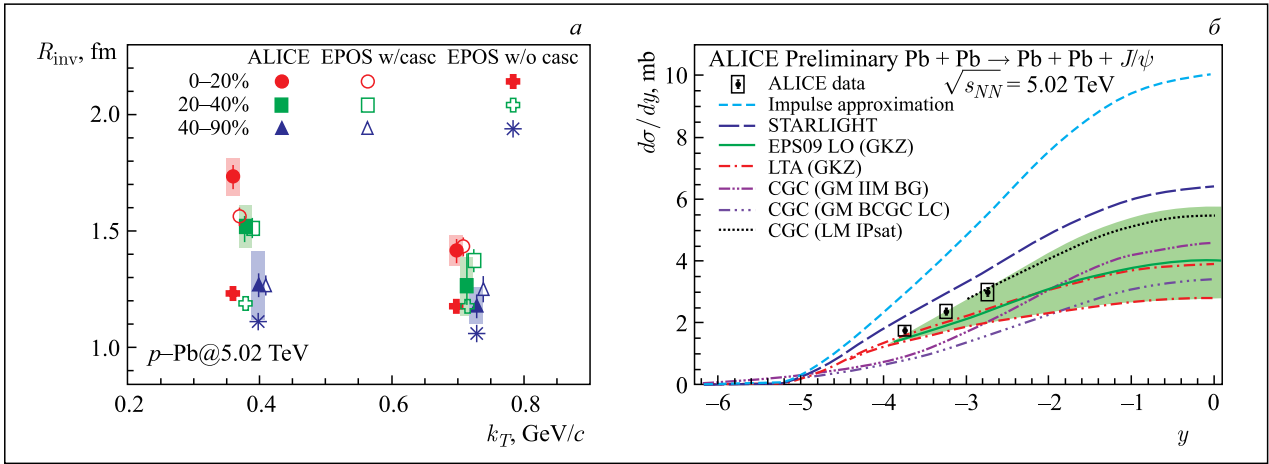


Рис. 5. *а)* 1D-радиусы источника для $K^{\text{ch}}K^{\text{ch}}$ -пар в зависимости от поперечного импульса пары. *б)* Дифференциальное сечение относительно скорости рождения J/ψ в сравнении с различными предсказаниями модели

Получены новые результаты сравнения фемтоскопических данных ALICE для Pb–Pb-столкновений при 5,02 ТэВ с результатами модели EPOS-3 [7]. Рис. 5, *а* показывает, что экспериментальные и модельные радиусы хорошо согласуются при равных центральных с учетом каскадного перерасеяния адронов.

При участии группы ОИЯИ получены новые данные по рождению J/ψ в Pb–Pb ультрапериферических столкновениях при 5,02 ТэВ. Дифференциальные сечения показаны на рис. 5, *б* вместе с теоретическими предсказаниями при различных вкладах глюонного экранирования в ядре.

На тестовом пучке электронов ускорителей PS и SPS в ЦЕРН проводилась проверка модулей электромагнитного калориметра PHOS ALICE в диапазоне энергий 1–160 ГэВ. Данное исследование направлено на оптимизацию выбора при модернизации фотоприемников и считывающей электроники. Целью модернизации является обеспечение работы калориметра при комнатной температуре без ухудшения энергетического разрешения и с улучшением временного разрешения. В настоящее время PHOS работает при температуре -25°C и имеет разрешение по времени пролета $\sigma_t = 3\text{--}4$ нс. Ряд испытаний, проведенных на пучках электронов в ЦЕРН с различными SiPM, показал, что при температуре работы $T = +18^\circ\text{C}$ возможно достижение временного разрешения, превышающего 500 пс.

ATLAS

В 2018 г. работа велась по нескольким направлениям, включая анализ экспериментальных данных, моделирование новых процессов с частицами SUSY, участие в модернизации детектора ATLAS для работы в условиях повышенной светимости Большого адронного коллайдера и КХД-анализ данных по глубоконеупругому рассеянию.

Физики ОИЯИ внесли существенный вклад в анализ данных по обнаружению распада бозона Хиггса на пару b -кварков, о котором доложено на международной конференции ICHEP2018 в Сеуле. Этот результат отмечен в пресс-релизе ЦЕРН, в сообщениях коллаборации ATLAS и во многих публикациях в научных центрах (включая ОИЯИ) как наиболее значимый из полученных в эксперименте ATLAS в 2018 г. [8, 9].

Проанализированы экспериментальные данные ATLAS, полученные в протон-протонных столкновениях в Run-2 при энергии центра масс 13 ТэВ за период 2015–2017 гг., соответствующие интегральной светимости $79,8 \text{ fb}^{-1}$. Обнаружено превышение событий над ожидаемым фоном с наблюдаемым значением 4,9 стандартных отклонений при ожидаемой величине $4,3\sigma$. Для $m_H = 125$ ГэВ сила сигнала, т. е. отношение величины измеряемого сигнала к ожидаемому в Стандартной модели (СМ), $\mu = 1,06 \pm 0,16(\text{стат.}) + 0,21 - 0,19(\text{сист.})$. Соответствующий спектр инвариантных масс двух b -струй показан на рис. 6.

ATLAS подтвердил наблюдение всех четырех основных каналов рождения бозона Хиггса, двух — в 2018 г. Эти наблюдения знаменуют собой новую веху в изучении бозона Хиггса — переход эксперимента ATLAS от наблюдений к точным измерениям его свойств. Прецизионный анализ характеристик процесса в канале рождения VH также очень важен для поиска явлений за пределами Стандартной модели.

CMS

В 2018 г. группа ОИЯИ в эксперименте CMS принимала участие в наборе, обработке и анализе данных второго сеанса LHC (Run 2), проходящих на встречных пучках протонов при энергии 13 ТэВ в с.д.м. при светимостях $2,32 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. На рис. 7 представлен результат поиска новых

Рис. 6. Распределение по массе для двух b -струй m_{bb} в экспериментальных данных после удаления всех фоновых событий за исключением двухбозонных WZ - и ZZ -процессов, полученных с помощью анализа $dijet$ -массы. Вклады от всех лептонных каналов, определенных областей поперечных импульсов, p_T^V и категорий событий с разным числом струй просуммированы и взвешены соответственно отношению S/B , где S — это величина полного отфильтрованного сигнала и B — полный отфильтрованный фон в каждом наборе событий. Ожидаемый вклад от ассоциативного WH - и ZH -рождения бозона Хиггса с массой 125 ГэВ умножен на величину значимости сигнала ($\mu = 1,06$). Разброс в величинах полной статистической и систематической неопределенности представлен на рисунке заштрихованной областью

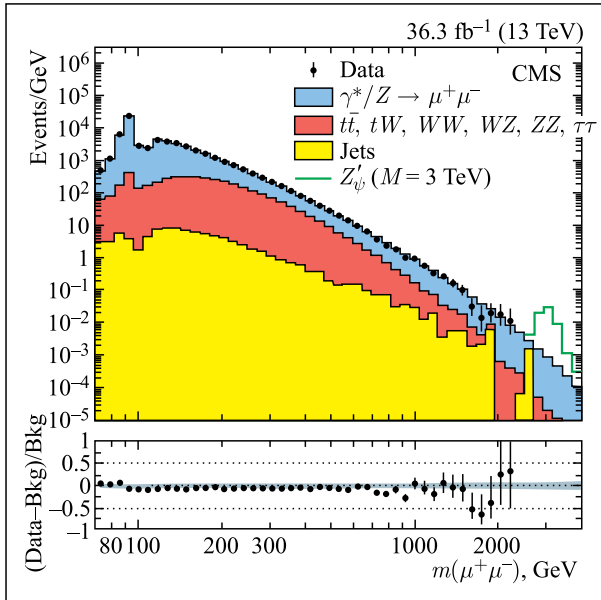
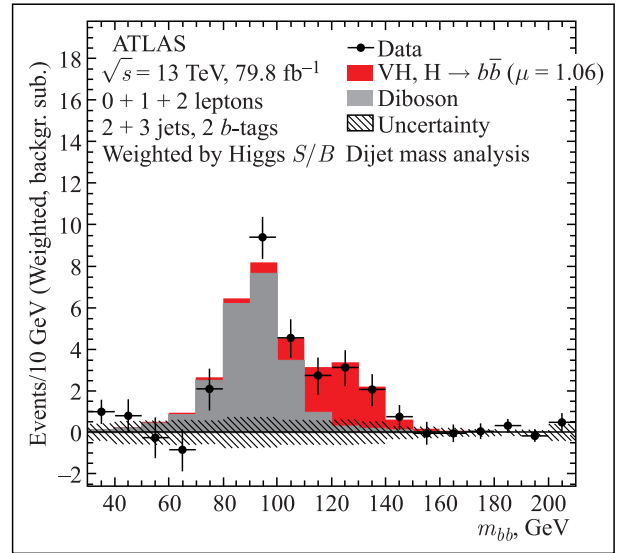


Рис. 7. Спектр инвариантных масс событий с парами мюонов. Использованы данные 2016 г. при энергии 13 ТэВ. Точки с панелями ошибок представляют наблюдаемый промежуток, гистограммы — предсказания для сравнения с процессами СМ

нейтральных резонансов (как со спином 1, так и со спином 2) по их ожидаемому распаду на пару мюонов. Установлен модельно-независимый верхний предел (с 95 %-м уровнем статистической достоверности) на сечения этих процессов, а также определены массовые пределы для гипотетических резонансов (рис. 8). Новые массовые пределы (95 % C.L.) составляют 4,5 и 3,7 ТэВ для последовательной стандартной модели (SSM) и ψ -модели E_6 GUT соответственно. Моделью RS (Рэндалл–Сандрум) с соединением $c = 0,01-0,1$ исключаются массы меньше 2,00–4,01 ТэВ; для упрощенной модели темной мате-

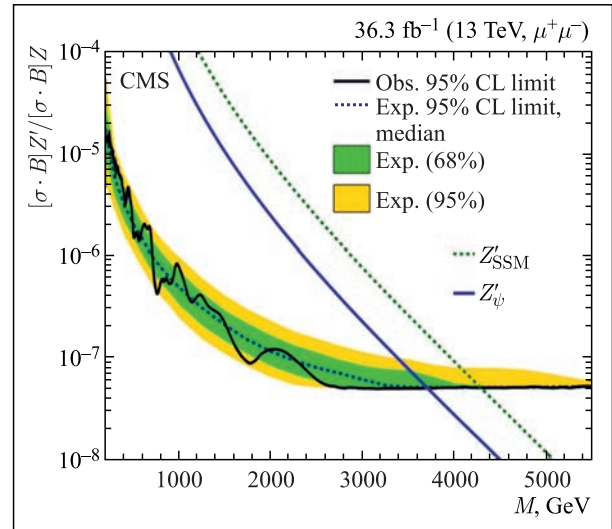


Рис. 8. Полученные верхние пределы при 95 % C.L. произведения сечения образования и брэнчинга для резонанса со спином 1 относительно аналогичного произведения для Z -бозона для канала с парами мюонов. Затененные полосы соответствуют 68 и 95 %-м квантилям для ожидаемых пределов. Для сравнения приведены теоретические предсказания для резонансов spin-1 в моделях $Z'SSM$ и $Z'\psi$

рии с обменом частицей-медиатором в s -канале для энергий ниже 1,8 и 4 ТэВ масса медиатора исключается для векторных и аксиально-векторных констант связи [10]. Кроме того, получены данные по зависимости импульсного разрешения мюонов от импульса с использованием двух мюонных треков, образованных космическими мюонами [11].

Завершен анализ событий с большой множественностью жестких физических объектов (лептонов, фотонов и струй с поперечным импульсом $p_T > 50$ ГэВ/ c), зарегистрированных во время начального набора данных Run 2 ($L_{int} = 35,9$ фб $^{-1}$).

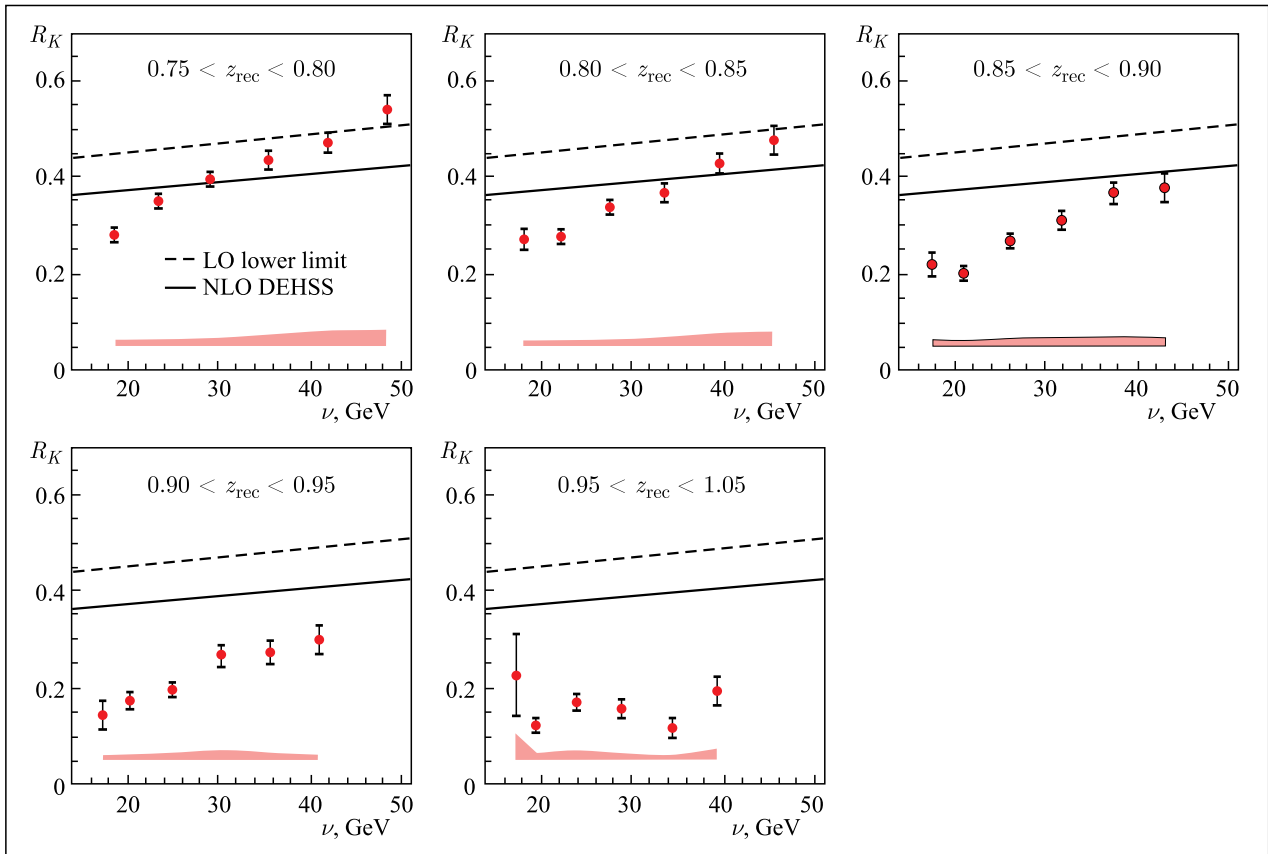


Рис. 9. Отношение множественностей K^- к K^+ в зависимости от ν в бинах по z , для первого бина по x . Предсказания КХД показаны сплошной и прерывистой линиями

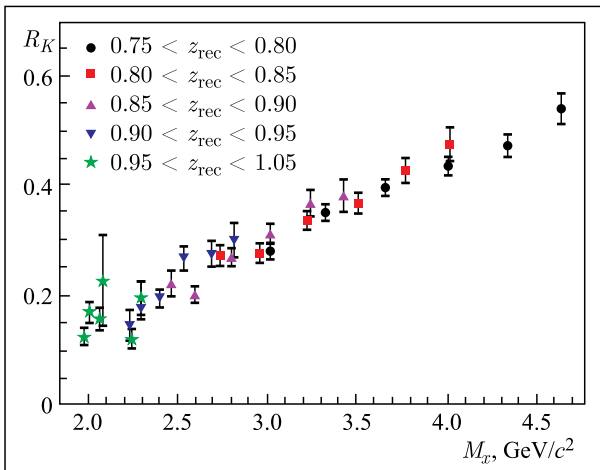


Рис. 10. Отношения множественностей K^-/K^+ , представленные как функция x

Впервые измерены (95% С.Л.) модельно-независимые пределы на сечения рождения жестких частиц с множественностью до $N \geq 11$ в области значений полной поперечной энергии в событии S_T от 1,5 до 8,0 ТэВ, где S_T — скалярная сумма поперечных энергий всех реконструируемых объектов в событии. Наблюдаемые пределы хорошо соответствуют ожидаемым внутри коридора ошибок $\pm(1-2)$

среднеквадратичным отклонением. Значения минимальной массы микроскопической черной дыры M_d составляют 7,2–10,2 ТэВ/ c^2 в зависимости от различных механизмов образования и эволюции черной дыры.

Эксперименты на протонном суперсинхротроне ЦЕРН

COMPASS

В 2018 г. в эксперименте COMPASS выполнен дополнительный набор данных по программе измерений процессов Дрелла–Яна с использованием поляризованной водородной мишени и пучка пионов с энергией 160 ГэВ.

Впервые в глубоконеупругом рассеянии измерено отношение множественности K^- к K^+ для каонов при больших значениях z — доли энергии виртуального фотона [12]. Данные получены коллаборацией COMPASS на пучке мюонов с энергией 160 ГэВ и изоскалярной мишени ${}^6\text{LiD}$. Каоны идентифицировались в диапазоне импульсов от 12 до 40 ГэВ/ c , что отвечает диапазону по переменной Бьеркена x $0,01 < x < 0,40$. Изучена z -зависимость отношения множественности для значений $z > 0,75$ (рис. 9, 10). Для значений $z > 0,8$ результаты противоречат

предсказаниям, полученным с использованием формализма пертурбативной квантовой хромодинамики в следующем за ведущим порядке КХД. Это может означать, что факторизация сечения и/или универсальность функций фрагментации каонов нарушается. Эти исследования показывают, что в рамках этого формализма может потребоваться дополнительная коррекция, учитывающая фазовое пространство, доступное для адронизации.

В эксперименте COMPASS впервые выполнено измерение эксклюзивной реакции рождения мюонов в однофотонном обмене с использованием поляризованных мюонных пучков μ^+ и μ^- с энергией 160 ГэВ и жидководородной мишени. Получены зависимости значения усредненного сечения процесса глубоко-конеупругого виртуального комптоновского рассеяния μ^+ и μ^- от квадрата переданного четырехимпульса t протону мишени. Наклон Bt -зависимости был аппроксимирован экспоненциальной функцией для диапазона t от 0,1 до 2 (ГэВ/ c)². Этот результат может быть преобразован в средний размер поперечного распределения партонов в протоне, при среднем значении виртуальности фотона $\langle Q^2 \rangle = 1,8$ (ГэВ/ c)² и среднем значении переменной Бьеркена $\langle x_{Bj} \rangle = 0,056$ [13].

NA61/SHINE

В эксперименте NA61/SHINE обнаружено предварительное указание на существование критической точки в ядерной материи (рис. 11). Ожидается, что изучаемый сигнал для протонов увеличивается вблизи критической точки. В критической точке ожидается локальная степенная зависимость флуктуаций. Предварительные результаты анализа данных столкновений $\text{Ar} + \text{Sc}$ и $\text{Ar} + \text{Sc}$ могут быть первым возможным свидетельством наблюдения критической точки в $\text{Ar} + \text{Sc}$, в то время как в данных для $\text{Ar} + \text{Ar}$ нет сигнала.

NA62

На основе данных NA62, набранных в 2015 г., проведен поиск рождения тяжелых нейтральных лептонов в распадах K^+ [14]. Были установлены верхние ограничения на этот процесс в диапазоне $10^{-7} - 10^{-6}$ для квадрата матричных элементов смешивания $|U_{e4}|^2$ и $|U_{\mu 4}|^2$ и масс тяжелых нейтрино в диапазоне 170–448 МэВ/ c^2 и 250–373 МэВ/ c^2 соответственно.

В 2018 г. опубликована заключительная работа по анализу полуплептонных распадов K_{e3} и $K_{\mu 3}$,

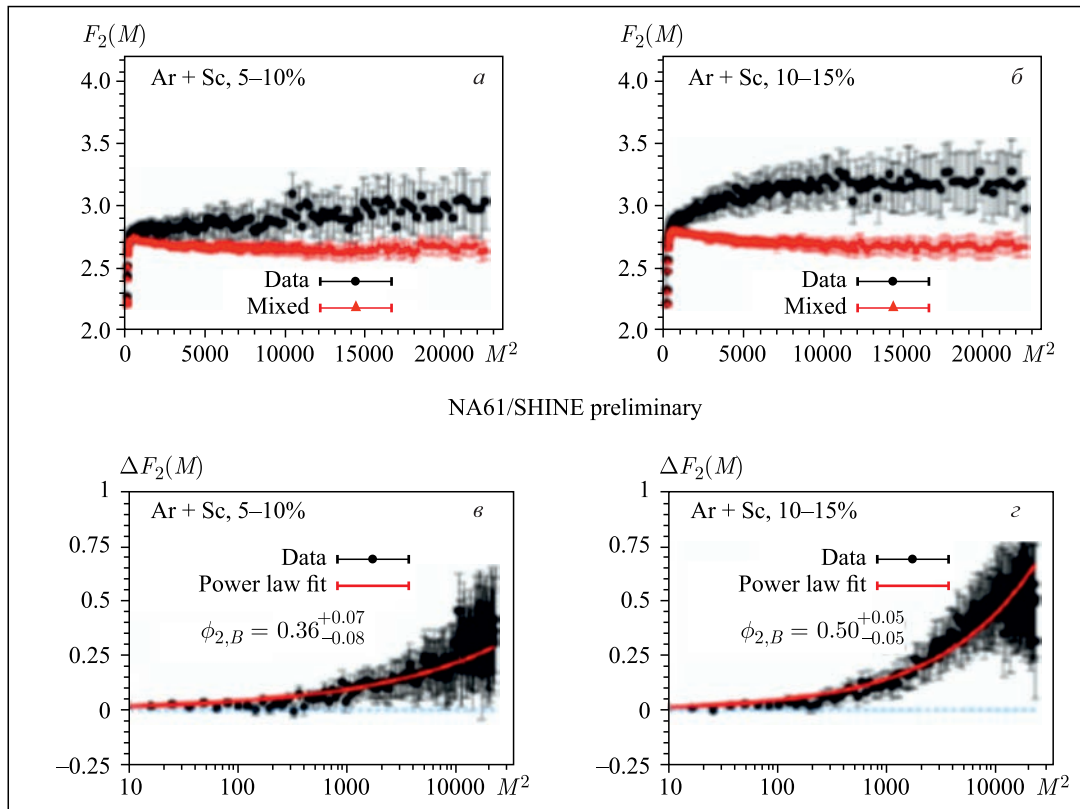


Рис. 11. *a, б*) Факториальные моменты $F_2(M)$ идентифицированных протонов в столкновениях $\text{Ar} + \text{Sc}$ при 150А ГэВ/ c для данных (черный) и смешанных (красный) событий. *в, г*) Факториальный момент $\Delta F_2(M)$ с вычетом фона, демонстрирующий степенную зависимость, предсказанную для систем, находящихся вблизи критической точки. Это может быть первым свидетельством сигнала критической точки в NA61/SHINE

основанная на данных эксперимента NA48/2 [15]. Представлено измерение формфакторов полулептонных распадов заряженных каонов, основанных на $4,4 \cdot 10^6 K_{e3}$ -распадах и $2,3 \cdot 10^6 K_{\mu 3}$ -распадах, собранных в 2004 г. в эксперименте NA48/2. Точность полученных результатов превышает точность результатов предыдущих измерений. Также представлен результат суммы измерений в обоих полулептонных модах.

Опубликована заключительная статья по результатам анализа не наблюдавшегося ранее редкого распада $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 e^+ e^-$ [16]. Результаты основаны на $1,7 \cdot 10^{11} K_{ch}$ -распадах заряженных каонов, зарегистрированных в 2003–2004 гг. Исследование отобранных 4919 кандидатов с фоном на уровне 4,9% позволило определить парциальную ширину распада $BR = (4,24 \pm 0,14) \cdot 10^{-6}$. Изучение кинематического пространства распада показывает наличие вклада, зависящего от структуры каона, который находится в соответствии с предсказаниями, основанными на киральной теории возмущений. Также приводится оценка нескольких асимметрий, связанных с возможным нарушением P - и CP -четностей.

Опубликован первый результат NA62 по поиску распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ на основе небольшой статистики, записанной в 2016 г. (соответствующей $1,21 \times 10^{11}$ распадов K^+) [17] (рис. 12). Чувствительность обнаружения одного события при данной статистике равна $3,15 \cdot 10^{-10}$, что соответствует 0,267 событий по предсказанию Стандартной модели. Зарегистрирован один сигнал — кандидат при ожидаемом фоне 0,152 события.

Проводится анализ данных эксперимента NA48/2 по исследованию редкого распада $K_{\mu 4}^{00}$, который никогда не наблюдался ранее. Полученная первая оценка величины парциальной ширины распада согласуется с имеющимся теоретическим предсказанием киральной теории возмущений.

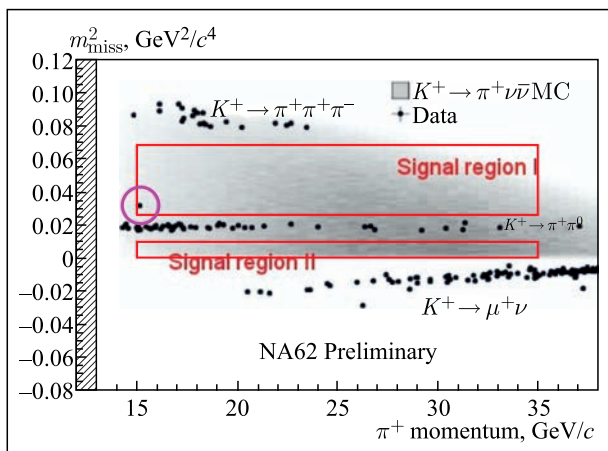


Рис. 12. Первый результат NA62 по поиску распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ на основе небольшой выборки данных, собранных в 2016 г. (соответствует $1,21 \cdot 10^{11}$ распадов K^+)

NA64

Основной задачей эксперимента NA64 является поиск физики за пределами СМ, а именно поиск легкого темного фотона (A') и других проявлений темного сектора.

В 2018 г. в ходе двух сеансов на канале SPS ЦЕРН, тестового (апрель) и сеанса по набору данных, проведенного в период мая–июня, были проверены и успешно отработали 6 станций строудетекторов (12 двуслойных камер размером 200×200 мм). Сотрудники ОИЯИ принимали участие в монтаже и демонтаже оборудования, сопровождении трековых строудетекторов в качестве экспертов, в сменах по набору данных и в онлайн-анализе набираемых данных. В ходе сеанса набрано $2 \cdot 10^{11}$ событий в невидимой и $3 \cdot 10^{10}$ в видимой модах, идет анализ данных.

В 2018 г. коллаборацией завершился анализ, и опубликованы данные 2016 и 2017 гг. по поиску сигнала в невидимой моде распада темного фотона A' . Их суммарная статистика составила $\sim 10^{11}$ событий, кандидатов на сигнал, отвечающий сигнатуре темного фотона, не обнаружено [18].

Сеанс 2017 г. частично был посвящен поиску гипотетического бозона — темного фотона A' с массой 16,7 МэВ, существование которого могло бы объяснить результат по аномальному рождению e^+e^- -пар в распаде возбужденного состояния $^8\text{Be}^*$ в ста-

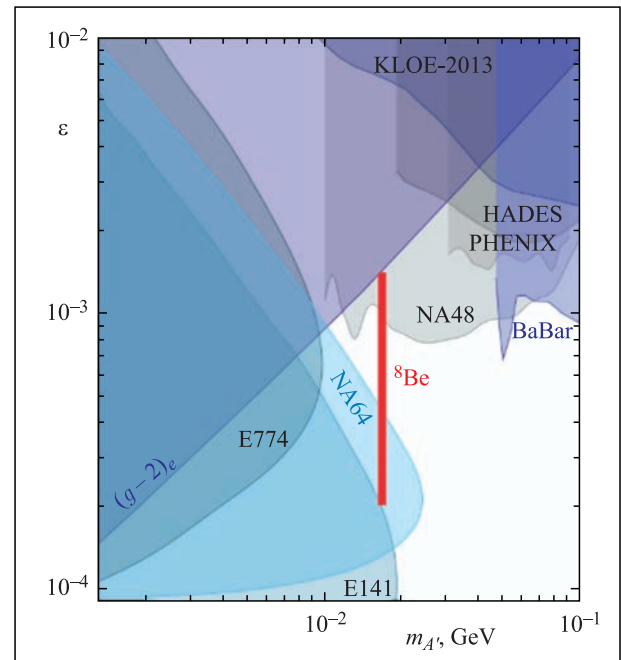


Рис. 13. 90%-е исключения С. L. в плоскости $(m_{A'}; \epsilon)$ эксперимента NA64 (выделено синим). Для массы 16,7 МэВ исключенная область NA64 составляет $1,3 \cdot 10^{-4} < \epsilon < 4,2 \cdot 10^{-4}$. Допустимый диапазон ϵ , объясняющий аномалию $^8\text{Be}^*$, показан красным. Даны ограничения, налагаемые в других экспериментах

бильное, полученное в эксперименте АТОМКИ. Набрано $5,4 \cdot 10^{10}$ событий, гипотетический бозон не был обнаружен. Полученные данные позволили существенно увеличить ограничение на вероятность его рождения, дополнив результаты других исследовательских групп [19] (рис. 13).

В 2018 г. эксперименту в ЦЕРН была выделена постоянная экспериментальная зона на канале H4, начаты подготовительные работы по ее обустройству.

Эксперименты на релятивистском коллайдере тяжелых ионов BNL

STAR

В 2018 г. эксперимент STAR сообщил о новом физическом явлении, предсказанном группой ОИЯИ.

• Для изучения кирального магнитного эффекта проведен сеанс и набрана статистика на изобарных ядрах Zr-96 и Ru-96 при энергии 200 ГэВ.

• Ранее (в 2017 г.) была обнаружена глобальная поляризация лямбда в интервале энергии 10–60 ГэВ. В 2018 г. опубликованы новые данные о наличии глобальной поляризации Λ и Λ' при максимальной энергии на RHIC 200 ГэВ. Особенная область научных интересов дубненской группы в эксперименте STAR — это исследование глобальной поляризации в области энергий NICA в коллайдерной моде и соответствующее измерение с фиксированной мишенью в эксперименте STAR.

• Одним из новых результатов является изучение корреляционной функции антипротонов. Это прямые измерения антинуклонных взаимодействий. На международной конференции «Кварковая материя QM18» были представлены новые результаты по pp и $p\bar{p}$ при энергии 39 ГэВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sidorin A. et al. Status of the Nuclotron // Proc. of RuPAC2018, Protvino, Russia, 2018. P. 49–51.
2. Baranov D., Kapishin M., Kulish E., Maksymchuk A., Mamontova T., Pokatashkin G., Rufanov I., Vasendina V., Zinchenko A. First Results from BM@N Technical Run with Deuteron Beam // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15, No. 2(214). P. 136.
3. Команда SPD, концептуальное и техническое проектирование детектора спиновой физики (SPD) на коллайдере NICA, октябрь 2018 г. <http://indico.jinr.ru/conferenceDisplay.py?confId=665>.
4. Авдеев С. П., Карч В., Киракосян В. В., Рукоткин П. А., Стегайлов В. И., Ошлер Х., Ботвина А. С. Продолжительность тепловой мультифрагментации в ${}^4\text{He}$ (4 ГэВ) + Au-столкновениях // Вестн. Рос. акад. наук. Физика. 2018. Вып. 82, № 6. С. 711.
5. Janek M. et al. Calibration Procedure of the $\Delta E - E$ Detectors for dp Breakup Investigation at Nuclotron // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15. P. 76.
6. Acharya S. et al. (ALICE Collab.). Azimuthally Differential Pion Femtoscopy Relative to the Third Harmonic Event Plane in Pb–Pb Collisions at $(s_{NN})^{1/2} = 2.78$ TeV // Phys. Lett. B. 2018. V. 785. P. 320–331.
7. Acharya S. et al. (ALICE Collab.). Inclusive J/ψ Production in Xe–Xe Collisions at $(s_{NN})^{1/2} = 5.02$ TeV // Phys. Lett. B. 2018. V. 785. P. 419–428.
8. The ATLAS Collab. Observation of $H \rightarrow b\bar{b}$ Decays and VH Production with the ATLAS Detector // Phys. Lett. B. 2018. V. 786. P. 59; DOI:10.1016/j.physletb.2018.09.013.
9. The ATLAS Collab. Observation of $H \rightarrow b\bar{b}$ Decays and VH Production with the ATLAS Detector. ATLAS CONF Note: ATLAS-CONF-2018-036; <https://cds.cern.ch/record/2630338/files/ATLAS-CONF-2018-036.pdf>.
10. Sirunyan A. M. et al. (CMS Collab.). Search for High-Mass Resonances in Dilepton Final States in Proton–Proton Collisions at 13 TeV // JHEP. 2018. V. 1806. P. 120; arXiv:1803.06292.
11. Abbiendi G. et al. Performance of High- p_T Muons Collected with CMS at 13 TeV during Proton–Proton Collisions. CMS AN-2018/008.
12. COMPASS Collab. K^- over K^+ Multiplicity Ratio for Kaons Produced in DIS with a Large Fraction of the Virtual-Photon Energy // Phys. Lett. B. 2018. V. 786. P. 390.
13. COMPASS Collab. Transverse Extension of Partons in the Proton Probed by Deeply Virtual Compton Scattering. CERN-EP/2018-016, submitted to PLB.
14. Cortina Gil E. et al. (NA62 Collab.). Search for Heavy Neutral Lepton Production in K^+ Decays // Phys. Lett. B. 2018. V. 778. P. 137.
15. Batley J. R. et al. (NA48/2 Collab.). Measurement of the Form Factors of Charged Kaon Semileptonic Decays // JHEP. 2018. V. 1810. P. 150.
16. Batley J. R. et al. (NA48/2 Collab.). First Observation and Study of the $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 e^+ e^-$ Decay. arXiv:1809.02873 [hep-ex]; Phys. Lett. B (submitted).
17. Cortina Gil E. et al. (NA62 Collab.). First Search for $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ Using the Decay-in-Flight Technique. CERN-EP-2018-314.
18. Banerjee D. et al. (NA64 Collab.). Search for Vector Mediator of Dark Matter Production in Invisible Decay Mode // Phys. Rev. D. 2018. V. 97. P. 072002.
19. Banerjee D. et al. (NA64 Collab.). Search for a New $X(16.7)$ Boson and Dark Photons in the NA64 Experiment at CERN // Phys. Rev. Lett. 2018. V. 120. P. 231802.



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ ИМ. В. П. ДЖЕЛЕПОВА

ФИЗИКА НЕЙТРИНО И РЕДКИХ ПРОЦЕССОВ, АСТРОФИЗИКА

Байкальский нейтринный телескоп, создаваемый коллаборацией «Байкал-GVD», является одним из трех крупнейших в мире по эффективной площади и объему для наблюдения природных потоков нейтрино и крупнейшим в Северном полушарии. Наиболее важным достижением в 2018 г. была поставка третьего кластера глубоководного детектора на оз. Байкал. В настоящее время нейтринный телескоп состоит из 864 оптических модулей, расположенных на 24 вертикальных гирляндах (8 гирлянд в каждом кластере) на глубине от 750 до 1250 м. Эффективный объем глубоководного детектора GVD-2018 для регистрации каскадных событий составляет $0,16 \text{ км}^3$, что позволяет регистрировать поток астрофизических нейтрино сверхвысоких энергий, зарегистрированный в эксперименте IceCube [1]. В течение всего года установка работала как в режиме стандартного набора данных, так и в специальных тестовых режимах. Сборка более 600 оптических модулей и модулей электроники для постановки кластеров в следующем сезоне (кластеры 4 и 5) проводилась в Дубне (ОИЯИ) и Москве (ИЯИ РАН). Также проводился анализ данных, накопленных в течение 2016–2017 гг. Был получен предел на поток нейтрино от события гравитационной волны GW170817 [2].

В эксперименте **Daya Bay** накоплена рекордная статистика взаимодействий электронных антинейтрино, содержащая практически 4,5 млн событий. При вкладе фона менее 2 % статистическая неопределенность полного числа событий составляет не более 0,3 %. Опубликованы результаты наиболее точного измерения угла смешивания нейтрино θ_{13} и второго по точности измерения расщепления масс нейтрино Δm_{32}^2 [3]. Также на основе статистики 2,5 млн событий обновлено измеренное значение потока реакторных антинейтрино, с еще большей точностью подтверждающее отклонение 5 % между наблюдением и предсказанием модели Хубера–Мюллера [4].

В рамках проекта **JUNO** для детектора мюонов Top Tracker (TT) изготовлены и протестированы прототипы конструкции поддержки. Готовится контракт на ее изготовление. Модули TT находятся на хранении на месте проведения эксперимента JUNO до 2020 г. Для мониторинга их состояния запущена система регистрации космических мюонов. В сотрудничестве со сторонними компаниями разработаны новые модули высоковольтного питания (ВВ) для 3'' и 20'' ФЭУ эксперимента JUNO. Разработаны технология и оборудование для контроля качества и долгосрочного тестирования ВВ-модулей. Контроль производства и тестирование модулей проводится силами ОИЯИ.

В 2018 г. по данным детектора **Borexino** опубликованы результаты наиболее полного и точного на сегодняшний день анализа потоков нейтрино, сопровождающих термоядерные процессы внутри Солнца [5], полученные при активном участии группы из ОИЯИ. Опубликован проект эксперимента DarkSide 20k 20-т двухфазной времяпроекционной камеры на жидком аргоне, предназначенной для поиска частиц темной материи (ТМ). Также были опубликованы результаты поиска частиц ТМ на детекторе DS50, а именно: пределы на спин-независимое ТМ-нуклон-рассеяние для частиц WIMP с массой 100 ГэВ, 1 и 10 ТэВ; пределы на спин-независимое ТМ-нуклон-рассеяние для частиц WIMP начиная с 1,8 ГэВ, при этом в области 1,8–6 ГэВ пределы являются наиболее сильными [6]; ограничения на рассеяние частиц ТМ с энергиями до 1 ГэВ на электронах.

В 2018 г. в эксперименте **NOvA** были опубликованы новые значения параметров осцилляций, измеренные в модах появления электронного и исчезновения мюонного нейтрино [7]. Также в 2018 г. состоялся первый совместный анализ данных с нейтринным и антинейтринным пучками. К статистике

$8,85 \cdot 10^{20}$ протонов на мишени с пучком нейтрино было добавлено $6,91 \cdot 10^{20}$ протонов на мишени с пучком антинейтрино, что позволило найти: 58 событий кандидатов ν_e , 18 кандидатов анти- ν_e , 113 событий ν_μ и 65 событий анти- ν_μ . При этом уровень фона составлял 15,1, 5,3, 5,0 и 1,4 событий соответственно. Совместный анализ этих данных указывает на прямую иерархию на уровне достоверности $1,8\sigma$ и исключает значение фазы $\delta_{CP} = \pi/2$ на уровне 3σ , а также отвергает нижний октант и максимальное смешивание θ_{23} на уровне $1,8\sigma$. Дальнейший набор статистики в аналогичном режиме позволит $NO\nu A$ достигнуть значимости 3σ для определения иерархии масс к 2020 г., а к 2024 г. значительно уточнить фазу CP-четности. В ОИЯИ для эксперимента $NO\nu A$ в штатном режиме работают удаленный центр управления экспериментом и компьютерная инфраструктура ЛИТ. Сотрудники ОИЯИ активно участвуют в работе эксперимента $NO\nu A$, выполняя задачи координации физических анализов, менеджмент онлайн и офлайн программного обеспечения, экспертное участие в процессе управления работой детекторов.

В рамках эксперимента **SuperNEMO** в подземной лаборатории г. Модана (Франция) (LSM) демонстрационный модуль SuperNEMO был, наконец, закрыт. Этому предшествовала установка источников фольги и системы калибровки. Также опубликованы окончательные результаты по обработке данных эксперимента NEMO для $2\nu\beta\beta$ -распада, полученных для ^{82}Se [8]: $T_{1/2}(2\nu) = (9,39 \pm 0,17 \text{ (стат.)} \pm 0,58 \text{ (сист.)}) \cdot 10^{19}$ лет согласно гипотезе доминирования в одном состоянии для этого ядерного перехода. Соответствующий ядерный матричный элемент равен $|M^{2\nu}| = 0,0498 \pm 0,0016$. Кроме того, был продолжен поиск $0\nu\beta\beta$ -распада с использованием $0,93 \text{ кг } ^{82}\text{Se}$, никаких доказательств для существования сигнала не

было найдено. Был установлен предел периода полураспада $T_{1/2}(0\nu) > 2,5 \cdot 10^{23}$ лет (90%-й уровень достоверности), что соответствует массе майорановского нейтрино $\langle m_\nu \rangle < 1,2\text{--}3,0 \text{ эВ}$.

В 2018 г. коллаборацией **EDELWEISS** на основании накопленных экспериментальных данных результаты поиска WIMP были дополнены новыми ограничениями на некоторые гипотетические процессы вне Стандартной модели (рис. 1, 2), а именно на потоки аксионов и аксиоподобных частиц от Солнца, на поглощение бозонной темной материи с массой в диапазоне нескольких кэВ из галактического гало и др. Новые ограничения существенно улучшают предыдущие результаты. Для процессов с энергией ионизации ниже 6 кэВ были получены наилучшие ограничения, и даже начато исследование пространства параметров для бозонной темной материи с массами ниже 1 кэВ [9, 10]. В фазе проекта R&D по разработке новых, еще более низкороговых детекторов в 2018 г. удалось создать детекторы-болометры, позволяющие детектировать ядра отдачи с энергиями от $\sim 20 \text{ эВ}$, что является рекордными показателями. Данные, полученные в ходе фазы R&D, находятся в обработке. Первые результаты планируется опубликовать в первой половине 2019 г. Необходимо отметить, что участие в EDELWEISS имеет дополнительный интерес для ОИЯИ, так как обеспечивает возможность использования всей низкофоновой инфраструктуры, включая одну из самых глубоких подземных лабораторий LSM, для создания и тестирования установок, предназначенных для проведения нейтринных экспериментов на Калининской атомной электростанции (КАЭС).

Во второй фазе эксперимента **GERDA** набранная статистика составила $60 \text{ кг} \cdot \text{лет}$, или более $80 \text{ кг} \cdot \text{лет}$

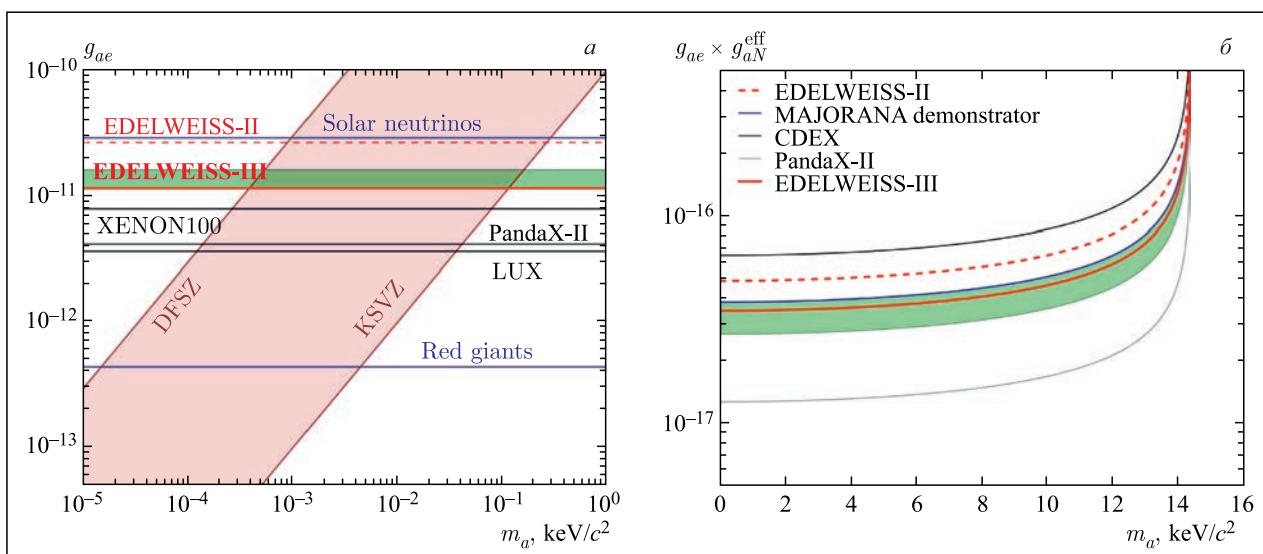


Рис. 1. Результаты поиска солнечных аксионов: а) отсутствие сигнала CBRD; б) анализ области линии 14,4 кэВ

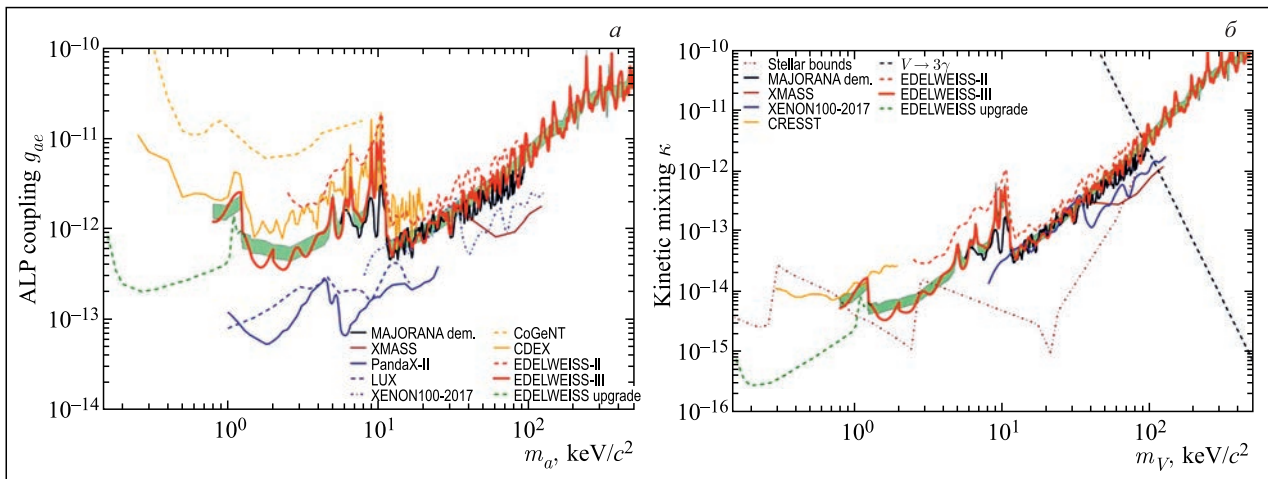


Рис. 2. Экспериментальные результаты поиска аксиоподобных частиц (а) и бозонной темной материи (б): штриховая зеленая линия в области малых масс — ожидаемый будущий результат в EDELWEISS, учитывающий имеющийся прогресс в создании низкопороговых детекторов-болометров

совместно с первой фазой проекта. Индекс фона улучшился почти в два раза по сравнению с результатом 2017 г., составил $\sim 6 \cdot 10^{-4}$ отсчета/(кэВ · кг · лет) и, при нормировании на энергетическое разрешение, остается наилучшим среди всех экспериментов по двойному β -распаду. Ни одного события вблизи $Q_{\beta\beta}$ обнаружено не было. Установлен новый предел на период полураспада ^{76}Ge по данному каналу $T_{1/2}^{0\nu} > 0,9 \cdot 10^{26}$ лет (90%-й уровень достоверности). Чувствительность эксперимента впервые в истории превысила 10^{26} лет, что является принципиальным достижением для экспериментов по поиску $0\nu\beta\beta$ -распада [11]. В 2018 г. была также проведена модификация эксперимента GERDA, имеющая сразу несколько целей. Среди них и увеличение массы исследуемого изотопа за счет добавления обогащенных германиевых детекторов нового типа, и проверка возможности улучшения индекса фона, и, наконец, подтверждение перспективности методики GERDA для использования в будущих германиевых экспериментах. GERDA будет набирать данные вплоть до достижения расчетной экспозиции в 100 кг · лет в конце 2019 г. [12]. К тому моменту чувствительность эксперимента может составить $2,0 \cdot 10^{26}$ лет, однако этого недостаточно для получения информации об иерархии масс нейтрино. Для решения данной проблемы создается эксперимент нового поколения LEGEND, в котором предусмотрено две фазы. Расчетная чувствительность первой из них, с 200 кг обогащенных германиевых детекторов (LEGEND-200), составляет 10^{27} лет. Первая фаза LEGEND будет проводиться в модифицированном криостате GERDA в Гран Сассо. Начало набора данных в LEGEND-200 запланировано на 2021 г.

GEMMA-III, новый эксперимент, который создается под реактором №3 КАЭС, является эволю-

цией проектов GEMMA (в котором было получено лучшее в мире ограничение на верхний предел магнитного момента нейтрино $< 2,9 \cdot 10^{-11} \mu_B$ (90%-й уровень достоверности)) и νGEN . Экспериментальная установка GEMMA-III находится на расстоянии 10 м от центра 3-ГВт реактора, что позволяет оперировать рекордным потоком нейтрино — свыше $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Расположение установки непосредственно под реактором обеспечивает защиту от космического излучения, эквивалентную 50 м водного эквивалента. Для регистрации сигнала от нейтрино используются низкопороговые низкофоновые HPGe-детекторы нового типа, позволяющие достичь порога измерений около 200 эВ, изготовленные в коллаборации с Canberra (Mirion, Lingosheim). Перед проведением измерений на КАЭС уровень собственного фона первого такого детектора массой 1 кг и его параметры были проверены в подземной лаборатории LSM с использованием инфраструктуры эксперимента EDELWEISS. В августе 2018 г. детектор был перевезен в ОИЯИ для дальнейших исследований с новой электроникой и в конфигурации защиты, идентичной используемой на КАЭС. Получены характеристики детектора: разрешение в 78,0(3) эВ (FWHM), энергетический порог около 200 эВ, позволяющие зарегистрировать процесс когерентного рассеяния нейтрино. В конце 2018 г. начата сборка экспериментального оборудования на КАЭС.

Нейтринный детектор **DANSS** был запущен в 2016 г. на 4-м энергоблоке Калининской АЭС и с тех пор исправно регистрирует около 4000 реакторных антинейтрино в сутки при фоне, не превышающем 2–3%. Благодаря подъемному механизму детектор может, не прекращая работы, перемещаться на 2 м и, таким образом, измерять энергетический спектр нейтрино на разных расстояниях от реактора. Кроме

осуществления нейтринной диагностики реактора, это позволяет изучать осцилляции нейтрино (т. е. периодические изменения их потока с расстоянием) независимо от спорных предположений о теоретическом нейтринном спектре. В 2018 г. был завершен анализ первой части полученных данных (примерно за один год измерений), и на его основе получено наиболее строгое модельно-независимое ограничение [13] на существование стерильных нейтрино. Набор данных и их детальный анализ продолжаются.

Гамма-обсерватория **TAIGA** объединяет несколько IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope) телескопов и сеть широкоугольных оптических детекторов без изображения — детекторов HiSCORE. Сочетание двух взаимодополняющих методов разделения γ -лучей позволяет создать устройство с большой площадью за относительно низкую цену. Обсерватория γ -излучения TAIGA будет включать в себя сеть из 500 детекторов HiSCORE и до 16 IACT, охватывающих площадь 5 км², и мюонные детекторы с общей чувствительной площадью 2000 м², распре-

деленные по площади 1 км². Поскольку TAIGA будет самой северной гамма-обсерваторией, ее расположение дает некоторые преимущества для наблюдения источников с большими отклонениями. В рамках эксперимента TAIGA группа из ОИЯИ отвечает за изготовление механической платформы телескопа, в том числе силовую электронику управления, а также МС-моделирование, участие в наборе данных в Тунке и их физическом анализе [14]. В декабре 2016 г. первый телескоп TAIGA-IACT приступил к работе, второй телескоп был изготовлен в 2018 г. За 2017–2018 гг. получено большое количество данных, зарегистрированных с совместным применением детекторов HiSCORE, проводится их анализ.

В эксперименте **OPERA** применение нового алгоритма отбора данных позволило поднять статистику найденных событий тау-нейтрино до 10 (при фоне около 2) и увеличить статистическую значимость до 6σ [15]. Опубликованы результаты по ограничениям на вклад нестандартных осцилляций (типа LSND) в канале ν_μ в ν_e [16].

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Группой сотрудников ОИЯИ в рамках эксперимента **ATLAS** проведены исследования по поиску распадов SM бозона Хиггса на bb -кварковую пару при ассоциативном рождении с W - или Z -бозонами. Проанализированные данные, соответствующие 79,8 фб⁻¹ интегральной светимости, были получены в протон-протонных соударениях при энергии в с.ц.м. 13 ТэВ. Для бозона Хиггса с массой 125 ГэВ обнаружено превышение числа наблю-

даемых событий над числом ожидаемых фоновых событий со значимостью $4,9\sigma$, что сравнимо со значимостью $4,3\sigma$, предсказанной в рамках SM. Объединение с результатами поиска в других процессах рождения бозона Хиггса с распадом на bb -кварковую пару в данных за 2016–2017 гг. увеличивает превышение числа наблюдаемых событий над числом ожидаемых фоновых событий до значимости $5,4\sigma$, что сравнимо со значимостью $5,5\sigma$, пред-

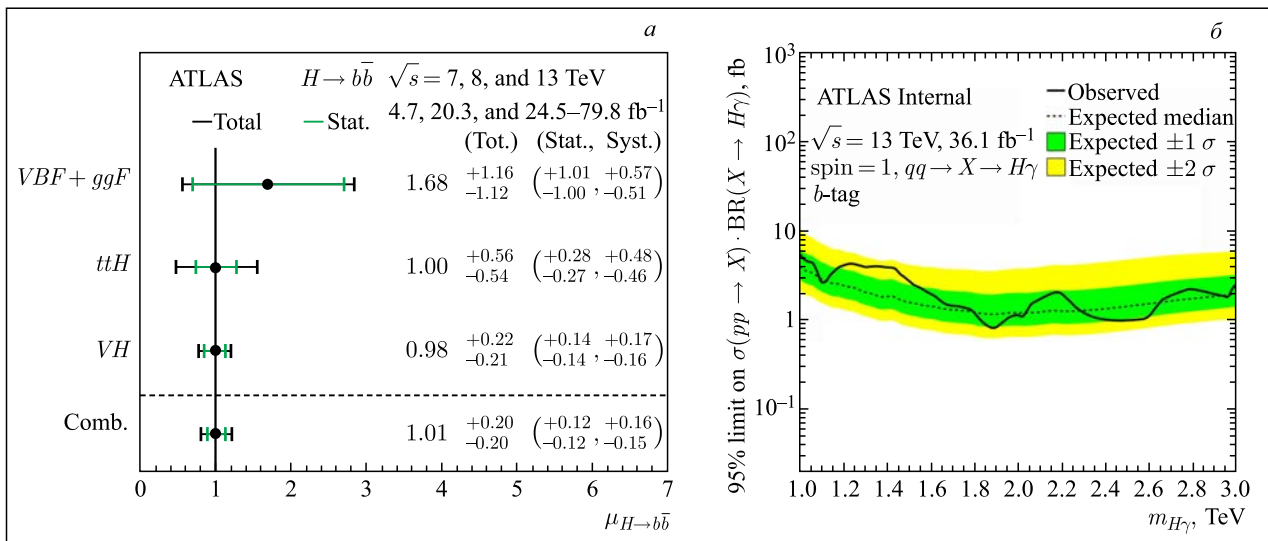


Рис. 3. а) Отношения измеренного сечения процесса VH , ttH и $VBF + ggF(H \rightarrow bb)$ к предсказанному $m_H = 125$ ГэВ для данных при 7, 8 и 13 ТэВ и их комбинации; б) пределы на сечение рождения $H\gamma$ -резонансов как функция его массы

сказанной в рамках СМ. Данный результат подтверждает наличие распадов бозона Хиггса СМ на bb -кварковую пару. Измеренное отношение сечения рассматриваемых процессов рождения к предсказанному $\mu = 1,01 \pm 0,12(\text{стат.})_{-0,15}^{+0,16}(\text{сист.})$ (рис. 3, а). Можно также добавить, что измеренное превышение числа наблюдаемых событий над числом ожидаемых фоновых событий в канале ассоциативного рождения только с векторным бозоном соответствует значимости $5,3\sigma$, что сравнимо со значимостью $4,8\sigma$, предсказанной в рамках СМ [17].

Проведены исследования по поиску новых резонансов с массой более 1 ТэВ, распадающихся на W/Z /хиггс-бозон и фотон. Проанализированные данные, соответствующие интегральной светимости $36,1 \text{ фб}^{-1}$, были получены в протон-протонных соударениях при энергии 13 ТэВ в с.ц.м. Данные хорошо согласуются с ожидаемым фоном во всем спектре рассматриваемых масс (рис. 3, б), предел на сечение рождения с учетом вероятности распада на $W/Z/\text{хиггс}+\gamma$ для узкого скалярного бозона был поставлен в интервале масс от 1 до 6,8 ТэВ [18].

В эксперименте **COMPASS** в результате поиска фоторождения чармоний-подобного состояния $X(3872)$ в реакции $\gamma^* N \rightarrow X(3872)\pi^\pm N' \rightarrow (J/\psi\pi^+\pi^-)\pi^\pm N'$ со статистической значимостью

в $4,1\sigma$ в спектре инвариантных масс подсистемы $J/\psi\pi^+\pi^-$ конечного состояния (рис. 4, а) обнаружен сигнал частицы, масса и ширина которой согласуются с ожидаемыми для $X(3872)$. Детальный анализ кинематики распада наблюдаемой частицы показал полное несоответствие хорошо известной кинематике распада $X(3872)$. Анализ распределения для инвариантных масс двух пионов, рожденных в распаде $X(3872)$ в эксперименте ATLAS, демонстрирующего сигнал ρ^0 -мезона, также наблюдаемого на установке COMPASS (рис. 4, б), позволил предположить, что обнаруженный сигнал принадлежит новой частице, получившей название $\tilde{X}(3872)$, которая является частицей-партнером $X(3872)$, имеет близкую массу, но отличается от $X(3872)$ набором квантовых чисел. Существование такой частицы-партнера предсказывается некоторыми теоретическими моделями, описывающими $X(3872)$ как состояние из двух кварков и двух антикварков, тесно связанное сильным взаимодействием (тетракварк). Масса нового состояния $\tilde{X}(3872)$ равна $(3860,1 \pm 10,0) \text{ МэВ}/c^2$, брейт-вигнеровская ширина с вероятностью 90 % составляет менее $51 \text{ МэВ}/c^2$ [19]. Результат, в получение которого группа ЛЯП ОИЯИ внесла определяющий вклад, является принципиально важным для понимания природы экзотических чармониев.

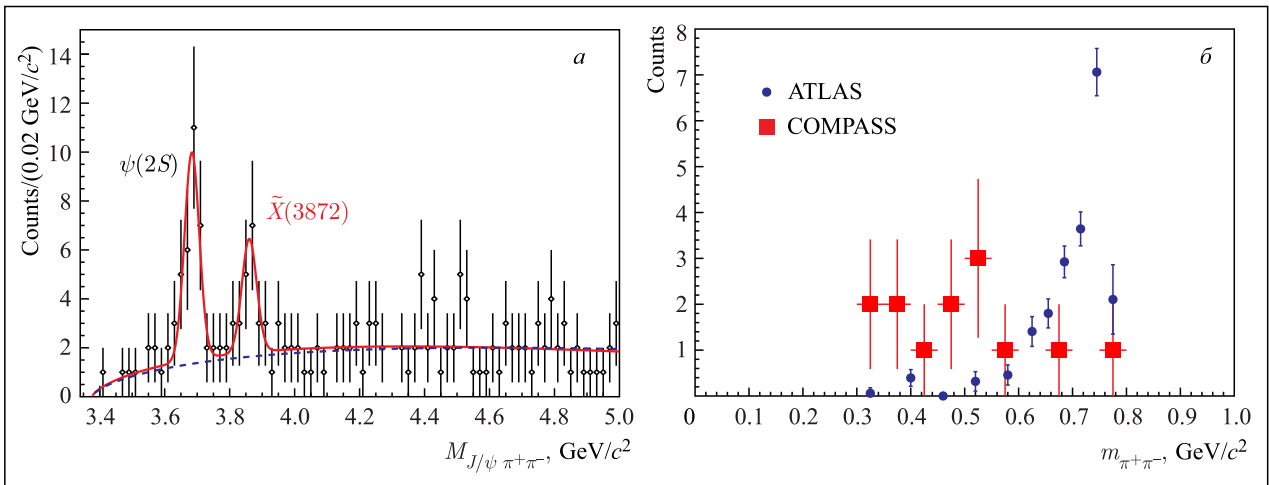


Рис. 4. а) Спектр инвариантных масс подсистемы $J/\psi\pi^+\pi^-$; б) спектры инвариантных масс $\pi^+\pi^-$, наблюдаемые в распаде $X(3872)$ в эксперименте ATLAS и в распаде $\tilde{X}(3872)$ в эксперименте COMPASS

Основной целью эксперимента **BES-III** является изучение состояний чармония, очарованных частиц и тау-лептонов, а также спектроскопия легких адронов в электрон-позитронных столкновениях при энергии 2–4,6 ГэВ. Новая чармоний-подобная структура с массой около 4030 МэВ была найдена в массовом спектре $(\pi^\pm\psi(3686))$ при энергии аннигиляции $\sqrt{s} = 4,416 \text{ ГэВ}$. В 2018 г. был обнаружен нейтральный аналог этой структуры с массой около

4040 МэВ в массовом спектре $(\pi^0\pi^0\psi(3686))$ при той же энергии аннигиляции [20]. Пока неясно, совпадают ли новые состояния с теми, которые ранее были найдены в эксперименте Belle в распадах резонанса $Y(4360)$.

Большой набор данных, собранный в эксперименте BES-III при энергии аннигиляции $\sqrt{s} = 4574,5, 4580,0, 4590,0$ и $4599,5 \text{ МэВ}$, позволил измерить сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c^+\Lambda_c^-$. Под-

тверждено отличное от нуля сечение этого процесса вблизи порога рождения $\Lambda_c^+ \Lambda_c^-$. Более высокая статистика событий, полученная при энергии аннигиляции $\sqrt{s} = 4574,5$ и $4599,5$ МэВ, позволила измерить распределение полярного угла вылета Λ_c . Это дало возможность впервые измерить отношение $(|G_E/G_M|)$ электрического и магнитного формфакторов Λ_c : $1,14 \pm 0,14 \pm 0,07$ и $1,23 \pm 0,05 \pm 0,03$ для этих энергий соответственно [21].

Также изучен процесс $e^+e^- \rightarrow \Lambda\Lambda$ при энергии аннигиляции $\sqrt{s} = 2,2324, 2,400, 2,800$ и $3,080$ ГэВ. Борновское сечение, измеренное при энергии $\sqrt{s} = 2,2324$ ГэВ (что всего лишь на 1 МэВ выше порога), оказалось равным $305 \pm 45_{-36}^{+66}$ пб. Эта величина значительно выше предсказаний теории, предполагающих стремление сечения к нулю вблизи порога [22]. Для интерпретации этих результатов требуется провести дополнительные измерения с более полной статистикой событий вблизи порога.

В рамках эксперимента **Mu2e** для сборки калориметра было подготовлено и испытано на специальном стенде около 50 кристаллов. Все они отвечали требованиям контроля качества. Разработана методика и проведены измерения для определения причины значительной нелинейности предусилителей, внесен ряд изменений в схему предусилителя. В июне 2018 г. на установке CALLIOPE, ENEA (Италия) проведены измерения радиационной стойкости «фронтальной» электроники калориметра к γ -облучению. В результате выявлено падение уровня выходного сигнала при увеличении дозы излучения с наклоном $\sim 6\%$ /крад, вызванное повреждением цифровых микросхем в контуре обратной связи линейного регулятора. На пучке электронного ускорителя Linac-200 испытан 16-канальный профилометр из сцинтилляционных волокон Kuraray SCSF 81J, показана возможность использования профилометра в качестве триггера. С помощью моделирования в программе Geant4 изучены вопросы, важные для калибровки детектора электронами от распадов мюона на орбите (DIO). Целью данных исследований является развитие нового метода для точной и независимой калибровки каждого канала калориметра [23, 24].

В эксперименте **Muon g-2** в 2018 г. проведен первый физический сеанс набора экспериментальных данных, во время которого накоплена экспериментальная статистика, в два раза большая, чем в эксперименте E821. Система сбора данных MIDAS записывала данные со скоростью до 250 Мбит/с с эффективностью примерно 90%. Программное обеспечение, разработанное и поддерживаемое ОИЯИ (подсистема аварийного оповещения MIDAS, пользовательские веб-страницы MIDAS для управления электроникой DAQ, приложение Event Display), прошла успешные испытания.

В рамках проекта **COMET** в 2018 г. была создана специальная лаборатория, позволяющая вести

разработку и изучение свойств уникальных строу-трубок, сваренных с использованием ультразвуковой технологии. В данной лаборатории предполагается осуществить изготовление и испытание строу-трубок с толщиной стенки 12 мкм и диаметром 5 мм, предназначенных для применения в строу-детекторе нового типа эксперимента COMET. На первом этапе исследования были сварены полноразмерные строу-трубки длиной 1400 мм, толщиной 12 мкм и разных диаметров 5–10 мм. Первые стресс-тесты показали, что качества шва 12-мкм трубок полностью удовлетворяют всем требованиям для работы в условиях вакуума. Для контроля за качеством строу-трубок был разработан и создан стенд для измерения их характеристик с системой термостабилизации. На стенде были измерены характеристики 9,8-мм строу-трубок, а именно: граница упругой деформации, влияние температуры на упругие свойства строу и их зависимость от толщины стенки строу, влияние перепада давления на натяжение строу [25], релаксация напряжения. В 2018 г. также получены результаты тестирования прототипа калориметра в Университете Тохоку (Япония) на электронном (1,3 ГэВ) пучке с участием членов коллаборации из ЛЯП. Прототип электромагнитного калориметра протестирован на электронном пучке с энергией 105 МэВ. Энергетическое разрешение изменялось от 3,8 до 4,4%, в зависимости от попадания пучка, а пространственное разрешение составило 5,8 мм.

В рамках проекта **GDH&SPASCHARM** на ускорителе MAMI (Майнц, Германия) в 2018 г. выполнены измерения реакции $\gamma p \rightarrow \eta p$ с высокой статистикой. Из этих измерений получены наиболее точные данные по распаду $\eta \rightarrow 3\pi^0$, что позволило впервые детально изучить динамику этого распада. Проведено сравнение полученных данных с недавними теоретическими расчетами. Также с лучшей в мире статистической точностью исследована реакция $\gamma p \rightarrow \pi^0 \eta p$ от порога до $E_\gamma = 1,45$ ГэВ [26], что позволило извлечь прецизионные данные по наблюдаемому, необходимому для понимания динамики реакции, и провести сравнение с существующими теоретическими моделями. Также на ускорителе MAMI 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.

Изучение мод распада η' -мезона играет важную роль для понимания квантовой хромодинамики и связанных с ней теоретических моделей. Выполнено экспериментальное исследование распада $\eta' \rightarrow \pi^0 \pi^0 \eta \rightarrow 6\gamma$ с наилучшей известной статистической

точностью посредством регистрации η' -мезонов, рождающихся в реакции $\gamma p \rightarrow \eta' p$ [27]. Полученная статистика и достигнутое энергетическое разрешение позволили впервые наблюдать структуру в сечении ниже порога рождения $\pi^+ \pi^-$.

Наиболее значительным достижением проекта PANDA в 2018 г. была калибровка полномасштабного прототипа на тестовом пучке T9 протонного синхротрона в ЦЕРН. Несмотря на предваритель-

ный характер калибровочных данных, они ясно демонстрируют отличные аппаратные возможности по разделению мюонов и адронов. Получен отклик прототипа к мюонам, пионам и протонам (обоих знаков, включая антипротоны) в полном импульсном интервале проекта 1–10 ГэВ/с. Впервые зарегистрирован сигнал от нейтронов. Проведенные и планируемые в рамках проекта PANDA исследования составляют существенный базис для создания мюонной системы проекта SPD, предложенного для коллайдера NICA.

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Разработанные и изготовленные в ОИЯИ профессиональные **прецизионные лазерные инклинометры (ПЛИ)** введены в эксплуатацию в ЦЕРН (Швейцария) и в Гарнийской геофизической обсерватории (Армения) для комплексных испытаний. На установленном в тоннеле ЦЕРН профессиональном ПЛИ в периоды минимума (≈ 50 нрад) микросейсмического пика зарегистрирована минимальная спектральная плотность колебаний $2,4 \cdot 10^{-11}$ рад/Гц^{1/2} в области частот 0,01–4 Гц [28].

По результатам трехмесячного мониторинга микросейсмической активности на Армянском нагорье зарегистрированы микросейсмы от удаленных землетрясений, деформации поверхности Земли Луной и Солнцем и индустриальный шум в угловом представлении данных. Впервые инклинометром ОИЯИ обнаружены угловые колебания микросейсмического пика от Черного и Каспийского морей. Также исследовано влияние угловых колебаний поверхности Земли на пространственное расхождение фокусов пучков частиц коллайдера в зоне их столкновения. Установлено, что такие смещения могут быть весьма значительны в коллайдерах типа CLIC с длиной зоны подготовки пучка несколько километров.

На базе **Медико-технического комплекса (МТК) ЛЯП** проводятся медико-биологические и клинические исследования по лечению онкологических больных, совершенствование оборудования и аппаратуры и разработка новых методов лучевой терапии и сопутствующей диагностики онкологических больных на медицинских адронных пучках фазотрона ОИЯИ. В 2018 г. совместно с Российской медицинской академией постдипломного образования Минздрава РФ (Москва) и радиологическим отделением МСЧ-9 проводились регулярные сеансы протонной терапии по клиническому исследованию ее эффективности при лечении различных новообразований. В течение года проведено семь лечебных циклов суммарной продолжительностью 28 недель. На медицинском протонном пучке курс фракционированного лучевого лечения прошли 50 пациентов, при этом

общее количество протонных терапевтических облучений (полей) составило около 4000. Кроме того, на гамма-терапевтическом аппарате «Рокус-М» были пролечены еще 23 пациента (2000 полей) [29, 30].

Проводилось клиническое испытание радиозащитного действия лазерного устройства с длиной волны 532 нм (по рекомендации врача и с согласия пациентов) на кожу лица, шеи, носоглотки и гортаноглотки радиочувствительных пациентов, проходящих курс лучевой терапии в МТК. Лазерное излучение оказывало эффективное радиозащитное действие как при предварительном, так и последующем лазерном облучении [31].

В рамках проекта «**Радиоген**» завершены работы по секвенированию «точковых» мутаций гена black D. melanogaster, индуцированных разными дозами γ -излучения ⁶⁰Co и реакторных нейтронов 0,85 МэВ. На основании полученных результатов впервые определена частота индукции замен оснований ДНК на 1 Гр/нуклеотид для γ -излучения и нейтронов ($1,2 \cdot 10^{-9}$ и $3,1 \cdot 10^{-9}$ Гр/нуклеотид соответственно). Исходя из этих результатов и данных литературы по спонтанным заменам оснований в геноме генеративных клеток D. melanogaster впервые установлена удваивающая доза γ -квантов и нейтронов (2,9 и 1,1 Гр соответственно) как мера оценки риска (опасности) этих видов радиации в индукции наследуемых замен оснований ДНК в геноме гамет данного тест-организма. Также проведены работы по секвенированию протяженного гена vestigial D. melanogaster у двух диких лабораторных линий, 7 спонтанных и 9 γ -индуцированных «точковых» мутаций. Установлен однонуклеотидный полиморфизм для лабораторных линий и спонтанных мутаций, а также определена молекулярная природа изменений ДНК у γ -индуцированных мутаций в виде небольших делеций в экзоне 4. Завершен ПЦР-анализ спонтанных, γ - и нейтрон-индуцированных «точковых» мутаций гена white D. melanogaster. Установлены основные типы изменений ДНК гена, выявляемые этим методом. Подготовлен материал для по-

следующего секвенирования значительной выборки «точковых» мутаций гена без делеций, выявляемых ПЦР [32, 33].

В НЭОНУ разработан физический проект компактного сверхпроводящего циклотрона **SC230**, предназначенного для ускорения пучка протонов до энергии > 230 МэВ для протонной терапии и медико-биологических исследований. Было проведено компьютерное моделирование магнитной и ускоряющей систем циклотрона, определены основные параметры ускорителя. В проекте сочетаются преимущества двух наиболее успешных ускорителей, представленных на рынке оборудования для протонной терапии: C235, IBA (Бельгия) (с «теплыми» обмотками возбуждения) и Varian Proscan, PSI (Швейцария). Технический проект циклотрона может быть завершен в 2019 г.

В рамках **НИР новых полупроводниковых детекторов** в 2018 г. предложен и создан новый вид детектора для цветной компьютерной томографии,

представляющий собой сборку расположенных последовательно вдоль рентгеновского пучка трех пиксельных детекторов с сенсорами из различных полупроводников Si, GaAs:Cr и CdTe. Детектор Timerix3-GaAs:Cr был впервые использован в качестве детектора переходного излучения [34]. Разработан и изготовлен блок высоковольтного питания для пиксельных детекторов с напряжением до 1000 В и программное обеспечение к нему.

В 2018 г. на пучке монохроматических позитронов установки LEPTA проведено 15 сеансов исследования образцов из различных материалов методом позитронной аннигиляционной спектроскопии (ПАС). Существенно улучшена стабильность работы системы измерения энергии γ -квантов. Изготовлены вакуумная и магнитная системы для создания спектрометра **PALS**. В 2019 г. планируется проведение регулярных исследований материалов методом ПАС. В экспериментальную камеру будет установлен ионный источник, что позволит исследовать многослойные тонкопленочные покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Avrorin A. et al. (Baikal Collab.). Baikal-GVD — Neutrino Telescope of the Next Generation // Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys. 2018 (in press).
2. Avrorin A. et al. (Baikal Collab.). Search for High-Energy Neutrinos from GW170817 with Baikal-GVD Neutrino Telescope // Pis'ma Zh. Exp. Teor. Fiz. 2018 (in press).
3. Adey D. et al. (Daya Bay Collab.). Measurement of Electron Antineutrino Oscillation with 1958 Days of Operation at Daya Bay // Phys. Rev. Lett. 2018. V. 121. P. 241805.
4. Adey D. et al. (Daya Bay Collab.). Improved Measurement of the Reactor Antineutrino Flux at Daya Bay. arXiv:1808.10836.
5. Agostini M. et al. (Borexino Collab.). Comprehensive Measurement of pp -Chain Solar Neutrinos // Nature. 2018. V. 562. P. 505.
6. Agnes P. et al. (DarkSide Collab.). Low-Mass Dark Matter Search with the DarkSide-50 Experiment // Phys. Rev. Lett. 2018. V. 121. P. 081307.
7. Acero M.A. et al. (NO ν A Collab.). New Constraints on Oscillation Parameters from ν_e Appearance and ν_μ Disappearance in the NO ν A Experiment // Phys. Rev. D. 2018. V. 98. P. 032012.
8. Arnold R. et al. (NEMO Collab.). Final Results on Se-82 Double Beta Decay to the Ground State of Kr-82 from the NEMO-3 Experiment // Eur. Phys. J. C. 2018. V. 78. P. 821.
9. Armengaud E. et al. (EDELWEISS Collab.). Searches for Electron Interactions Induced by New Physics in the EDELWEISS-III Germanium Bolometers // Phys. Rev. D. 2018. V. 98, No. 8. P. 082004.
10. Arnaud Q. et al. (EDELWEISS Collab.). Optimizing EDELWEISS Detectors for Low-Mass WIMP Searches // Phys. Rev. D. 2018. V. 97, No. 2. P. 022003.
11. Agostini M. et al. (GERDA Collab.). Improved Limit on Neutrinoless Double- β Decay of ^{76}Ge from GERDA Phase II // Phys. Rev. Lett. 2018. V. 120. P. 132503.
12. Agostini M. et al. (GERDA Collab.). Upgrade for Phase II of the GERDA Experiment // Eur. Phys. J. C. 2018. V. 78. P. 388.
13. Alekseev I. et al. (DANSS Collab.). Search for Sterile Neutrinos at the DANSS Experiment // Phys. Lett. B. 2018. V. 787. P. 56–63.
14. Кузьмичев Л.А. и др. Гамма-обсерватория TAIGA — статус и перспективы // ЯФ. 2018. Т. 81, № 4. С. 1–11.
15. Agafonova N. et al. (OPERA Collab.). Final Results of the OPERA Experiment on ν_τ Appearance in the CNGS Neutrino Beam // Phys. Rev. Lett. 2018. V. 120, No. 21. P. 211801.
16. Agafonova N. et al. (OPERA Collab.). Final Results of the Search for $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ Oscillations with the OPERA Detector in the CNGS Beam // JHEP. 2018. V. 1806. P. 151.
17. ATLAS Collab. Observation of $H \rightarrow b\bar{b}$ Decays and VH Production with the ATLAS Detector // Phys. Lett. B. 2018. V. 786. P. 59.
18. Aaboud M. et al. (ATLAS Collab.). Search for Heavy Resonances Decaying to a Photon and a Hadronically Decaying $Z/W/H$ Boson in pp Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS Detector // Phys. Rev. D. 2018. V. 98. P. 032015.
19. Aghasyan M. et al. Search for Muoproduction of $X(3872)$ at COMPASS and Indication of a New State $\tilde{X}(3872)$ // Phys. Lett. B. 2018. V. 783. P. 334.

20. *Ablikim M. et al. (BESIII Collab.).* Measurement of $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0\psi(3686)$ at \sqrt{s} from 4.009 to 4.600 GeV and Observation of a Neutral Charmoniumlike Structure // *Phys. Rev. D.* 2018. V.97. P.052001.
21. *Ablikim M. et al. (BESIII Collab.).* Precision Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c^+\Lambda_c^-$ Cross Section Near Threshold // *Phys. Rev. Lett.* 2018. V.120. P.132001.
22. *Ablikim M. et al. (BESIII Collab.).* Observation of a Cross-Section Enhancement near Mass Threshold in $e^+e^- \rightarrow \Lambda\Lambda$ // *Phys. Rev. D.* 2018. V.97. P.032013.
23. *Atanov N. et al.* Design and Status of the Mu2e Crystal Calorimeter // *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 2018. V.65, No.8. P.2073–2080.
24. *Baranov V.A. et al.* A Tracker Prototype Based on Cathode Straw Tubes // *Instr. Exp. Tech.* 2018. V.61, Iss.5. P.645.
25. *Волков А.Д. и др.* Влияние внутреннего давления на натяжение в сварных строу трекового детектора // *Успехи прикл. физики.* 2018. Т.6. №1. С.83–90.
26. *Sokhoayan V. et al.* Experimental Study of the $\gamma p \rightarrow \pi^0\eta p$ Reaction with the A2 Setup at the Mainz Microtron // *Phys. Rev. C.* 2018. V.97, No.5. P.055212.
27. *Adlarson P. et al.* Measurement of the Decay $\eta' \rightarrow \pi^0\pi^0\eta$ at MAMI // *Phys. Rev. D.* 2018. V.98, Iss.1. P.012001.
28. *Азарян Н.С. и др.* Минимизация долговременных шумов 24-битных АЦП для прецизионного лазерного инклинометра. Препринт ОИЯИ P13-2018-47. Дубна, 2018.
29. *Oancea C. et al.* LET Spectra behind High-Density Titanium and Stainless Steel Hip Implants Irradiated with a Therapeutic Proton Beam // *Radiat. Meas.* 2018. V.110. P.7–13; <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2018.01.003>.
30. *Oancea C. et al.* Perturbations of Radiation Field Caused by Titanium Dental Implants in Pencil Proton Beam Therapy // *Phys. Med. Biol.* V.63. P.215020; <https://doi.org/10.1088/1361-6560/aae656>.
31. *Voskanyan K. et al.* Radioprotective Effect of Laser Radiation with a Wavelength of 532 nm on Fibroblast Cells // *J. Phys. Sci. Appl.* 2018. V.8, No.2. P.17–21.
32. *Александрова М.В., Александров И.Д.* Радиационная биология структурно разных генов *Drosophila melanogaster*. Сообщение 6. Ген cinnabar: секвенирование γ - и нейтрон-индуцированных «точковых» мутаций // *Рад. биология. Радиоэкология.* 2018. Т.58, №1. С.15–25.
33. *Кравченко Е.В. и др.* Радиационная биология структурно разных генов *Drosophila melanogaster*. Сообщение 7. Ген yellow: общая характеристика радиомутабельности и ПЦР-анализ «точковых» мутаций // *Рад. биология. Радиоэкология.* 2018. Т.58, №4. С.341–351.
34. *Smolyanskiy P. et al.* Properties of GaAs:Cr-based Timepix Detectors // *J. Instrum.* 2018. V.13. P.T02005.



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ИМ. Г. Н. ФЛЕРОВА

СОЗДАНИЕ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «ФАБРИКА СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ» НА БАЗЕ ЦИКЛОТРОНА ДЦ-280

Создание фабрики сверхтяжелых элементов (СТЭ) на базе циклотрона ДЦ-280 [1] является важнейшей задачей ЛЯР. Строительство здания фабрики СТЭ завершено. Подписан акт между ООО «Явстрой» и ОИЯИ о приеме-передаче этого здания. Получено заключение Ростехнадзора о соответствии построенного объекта требованиям технических регламентов. Проведены комплексные пусконаладочные работы на циклотроне ДЦ-280. 26 декабря 2018 г. получен первый пучок ускоренных ионов криптона. Продолжение работ на ДЦ-280 по получению пучков тяжелых ионов проектных параметров запланировано на I квартал 2019 г.

Создание экспериментальных установок комплекса «Фабрика сверхтяжелых элементов». Первой экспериментальной установкой, на которой будет продолжено исследование сверхтяжелых ядер на фабрике СТЭ, является новый газонаполненный сепаратор ГНС-2. Сепаратор спроектирован в ЛЯР и произведен фирмой «SigmaPhi» (Франция). В течение 2018 г. выполнен монтаж основных узлов сепаратора. Первая квадрупольная линза Q_1 фокусирует по вертикали выбитые из мишени ядра для повышения эффективности их прохождения через зазор в магните D_1 , где продукты реакций полного слияния (ERs) отделяются от основной части частиц пучка и продуктов фоновых реакций. Затем ERs фокусируются двумя квадрупольными линзами Q_2 и Q_3 . Для

дополнительного отделения ERs от фоновых частиц установлен магнит D_2 .

Спроектированы и изготовлены другие необходимые узлы ГНС-2: система дифференциальной откачки газа для обеспечения перепада давления от 1 Торр в сепараторе до 10^{-7} Торр в ионопроводе, а также блок вращающегося входного окна, мишенные блоки. Ожидается поставка блока детектирующей системы и опоры для узлов ионопровода и блока детекторов. Также проложены силовые и сигнальные кабели питания и управления магнитами и вакуумной системой ГНС-2, линии водяного охлаждения, подведена линия со сжатым воздухом. Проведено тестовое включение магнитов и частей системы дифференциальной откачки. Создана электронная система регистрации синтезируемых ядер.

Продолжение пусконаладочных работ на сепараторе ГНС-2, включая эксперименты на пучках ускоренных тяжелых ионов с целью определения оптимальных параметров сепаратора, запланировано на I квартал 2019 г. Это позволит во втором квартале 2019 г. приступить к реализации экспериментальной программы на фабрике СТЭ. Первым тестовым экспериментом будет синтез изотопов московия в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$.

Пресепаратор для химических исследований СТЭ изготовлен компанией «SigmaPhi». Доставка в Дубну и монтаж пресепаратора запланированы на 2019 г.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЯДЕР НА ГРАНИЦАХ СТАБИЛЬНОСТИ

В соответствии с решениями ПКК и Ученого совета ОИЯИ реализация проекта фабрики СТЭ осуществлялась с одновременным выполнением научной программы ЛЯР. На действующих циклотронах ЛЯР

У-400, У-400М и ИЦ-100 выполнен широкий круг научных и прикладных исследований в области физики тяжелых ионов. Суммарное время работы циклотронов в 2018 г. составило 16900 ч. Основное

время работы использовано для выполнения программы исследований на пучках ^{50}Ti (циклотрон У-400, установка SHELS) и на пучках ^{15}N (циклотрон У-400М, установки ACCULINNA-1,2 и COMBAS). На циклотронах У-400 и У-400М также проводились прикладные исследования.

Спектроскопия тяжелых и сверхтяжелых ядер.

В январе 2018 г. после модернизации сепаратора SHELS (установлены пластины электростатических deflectоров большого размера) проведен тест на пучке ускоренных ионов ^{22}Ne (циклотрон У-400). Эксперимент показал, что проведенная модернизация позволила увеличить эффективность транспортировки медленных ядер отдачи, синтезируемых в асимметричных реакциях полного слияния, на 30% — до 3–10% в зависимости от масс-асимметрии реакции (от $^{22}\text{Ne} + ^{238}\text{U}$ до $^{22}\text{Ne} + ^{198}\text{Pt}$).

В феврале 2018 г. реакция $^{50}\text{Ti} + ^{208}\text{Pb}$ использовалась для исследования свойств радиоактивного распада изотопов $^{256,257}\text{Rf}$. Набран интегральный поток

ионов $4,6 \cdot 10^{18}$, зарегистрировано порядка 6750 ядер ^{256}Rf и 5400 ядер ^{257}Rf , эксперимент был продолжен в ноябре 2018 г. В июне 2018 г. выполнены эксперименты по изучению свойств радиоактивного распада изотопа ^{254}Rf , образующегося в реакции $^{50}\text{Ti} + ^{206}\text{Pb}$. Набран интегральный поток ионов $3,8 \cdot 10^{18}$, зарегистрировано порядка 1500 ядер ^{254}Rf .

В экспериментах использовалась комплексная детектирующая система GABRIELA (α -, β -, γ -спектроскопия). Экспериментальные данные обрабатываются, наблюдается несколько изомерных состояний для изотопов $^{254,256,257}\text{Rf}$ с периодами полураспада от 5 до 200 мкс. На рис. 1 представлены данные для тонкой структуры α -распада материнского ядра ^{257}Rf в дочернее ядро ^{253}No . Впервые наблюдалось состояние $11/2^-$ для ядра ^{253}No и подтверждено наблюдавшееся нами ранее состояние $1/2^+$ (уровень 451 кэВ).

Современное состояние сепаратора SHELS и некоторые результаты проведенных экспериментов представлены в работе [2].

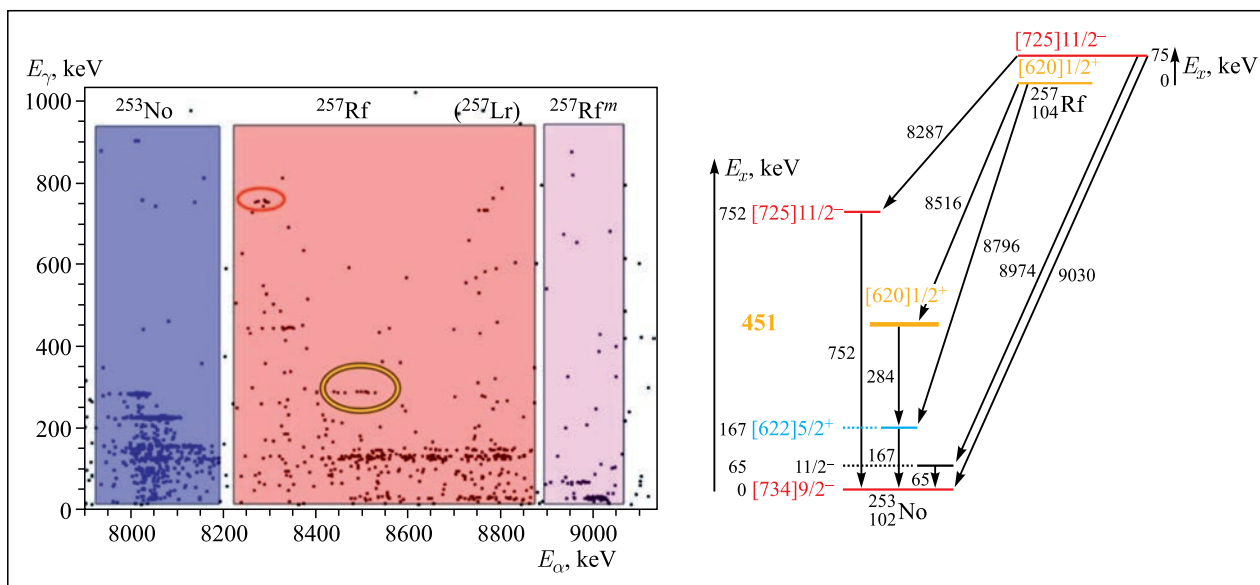


Рис. 1. Тонкая структура α -распада материнского ядра ^{257}Rf

Химия трансактиноидов. Продолжены эксперименты, направленные на исследование химических свойств летучих соединений нихония ($Z = 113$) [3]. На ускорительном комплексе У-400 в режиме on-line изучено поведение его легкого гомолога — таллия. Короткоживущий радионуклид ^{184}Tl ($T_{1/2} = 10,1$ с) синтезировался в реакции $^{141}\text{Pr} (^{46}\text{Ti}, 3n)^{184}\text{Tl}$. Продукты реакции предварительно отделяли на кинематическом сепараторе SHELS. Ядра отдачи собирались в камере, изолированной от сепаратора тонкой майларовой фольгой, и транспортировались в газе к химической установке. Образующиеся летучие соединения таллия исследовались методом изотермической адсорбционной хроматографии в сочетании с

γ -спектроскопией. В эксперименте наблюдали летучие химические соединения таллия с низким адсорбционным взаимодействием с поверхностью кварца. Полученные результаты анализируются и готовятся к публикации [4]. Дальнейшие эксперименты, нацеленные на идентификацию и изучение наблюдаемых соединений на установке «криодетектор» в режиме on-line, запланированы на 2019 г. на сепараторе SHELS.

В совместных экспериментах с группой сверхтяжелых элементов из Института П. Шеррера (Швейцария) в мае 2018 г. на химическом канале ускорителя У-400 исследовалось адсорбционное взаимодействие элементарного Sn ($Z = 112$) с тригональ-

ным селеном. Радионуклид ^{283}Sn получали в реакции $^{242}\text{Pu} (^{48}\text{Ca}, 3n) ^{287}\text{Fl}$ в результате распада ^{287}Fl . Продукты ядерных реакций останавливались за неподвижной мишенью в камере, заполненной смесью аргона и гелия, и по капилляру транспортировались в детектор COLD. Первые 8 из 32 пар Si-PIN-детекторов были покрыты тригональным селеном при комнатной температуре. Остальные детекторы были покрыты золотом и работали при отрицательном градиенте температуры от комнатной температуры до -150°C . В эксперименте зарегистрировано несколько событий спонтанного деления, связанных с распадом Sn. Анализ химической информации и набранных данных продолжается.

Динамика взаимодействия тяжелых ядер, деление тяжелых и сверхтяжелых ядер. Завершен анализ экспериментальных данных, полученных на циклотронах У-400 и У-400М (ЛЯР ОИЯИ) при участии коллег из VECC (Калькутта, Индия), посвященных измерению массово-энергетических распределений бинарных фрагментов реакций $^{48}\text{Ti} + ^{238}\text{U}$, $^{52}\text{Cr} + ^{232}\text{Th}$ и $^{84,86}\text{Kr} + ^{198}\text{Pt}$, ведущих к образованию составной системы с $Z = 114$ [5]. Эксперименты проводились при энергиях вблизи кулоновского барьера: ионов ^{48}Ti — 246, 258 и 271 МэВ, ионов ^{52}Cr — 264, 288, 302 и 320 МэВ, ионов ^{84}Kr — 420 и 470 МэВ и ионов ^{86}Kr — 400 и 465 МэВ с помощью двухплечевого времяпролетного спектрометра CORSET. Исследования показали значительное увеличение вклада процесса квазиделения при переходе от ионов Ca к Ti и Cr. Найдено, что при переходе от реакции $^{48}\text{Ca} + ^{244}\text{Pu}$ к реакции $^{48}\text{Ti} + ^{238}\text{U}$ вероятность слияния падает в 4 раза, а при переходе к реакции $^{52}\text{Cr} + ^{232}\text{Th}$ — в 25 раз.

В декабре 2018 г. на ускорителе У-400 проведены измерения массово-энергетических распределений осколков деления составных ядер $^{254, 256}\text{Fm}^*$, образующихся в реакциях $^{22}\text{Ne} + ^{232}\text{Th}$ и $^{18}\text{O} + ^{238}\text{U}$ при энергиях вблизи и выше кулоновского барьера. Эти исследования являются продолжением серии экспериментов, посвященных поиску суперасимметричной моды в реакциях деления актинидных ядер [6, 7]. Обнаружен повышенный выход фрагментов с массами ~ 70 а.е.м. для всех реакций, что связано с влиянием протонных и нейтронных оболочек $Z = 28$ и $N = 50$.

В 2018 г. в рамках сотрудничества между ОИЯИ и IN2P3 (Франция) был окончен анализ результатов совместного эксперимента, посвященного изучению динамики реакции $^{32}\text{S} + ^{197}\text{Au}$ при энергии налетающего иона 5,2 МэВ/нуклон. Измерения проводились на ускорителе ALTO (IPN, Орсе, Франция). Энергия и множественность γ -квантов в совпадении с фрагментами реакции измерялись с помощью спектрометров ORGAM и PARIS. Бинарные фрагменты реакции регистрировались с помощью спектрометра CORSET. Измерения были нацелены на исследование свойств процессов деления и квазиделения путем изучения характеристик эмиссии нейтронов и γ -квантов из делительноподобных осколков. Обнаружено присутствие неравновесного процесса в случае неполной релаксации коллективных спиновых мод делительноподобных осколков [8].

В рамках теоретического подхода, основанного на уравнениях Ланжевена, выполнено моделирование низкоэнергетических реакций многонуклонных передач при взаимодействии двух актинидных ядер [9]. Рассчитаны выходы ядер тяжелее мишени. Показано

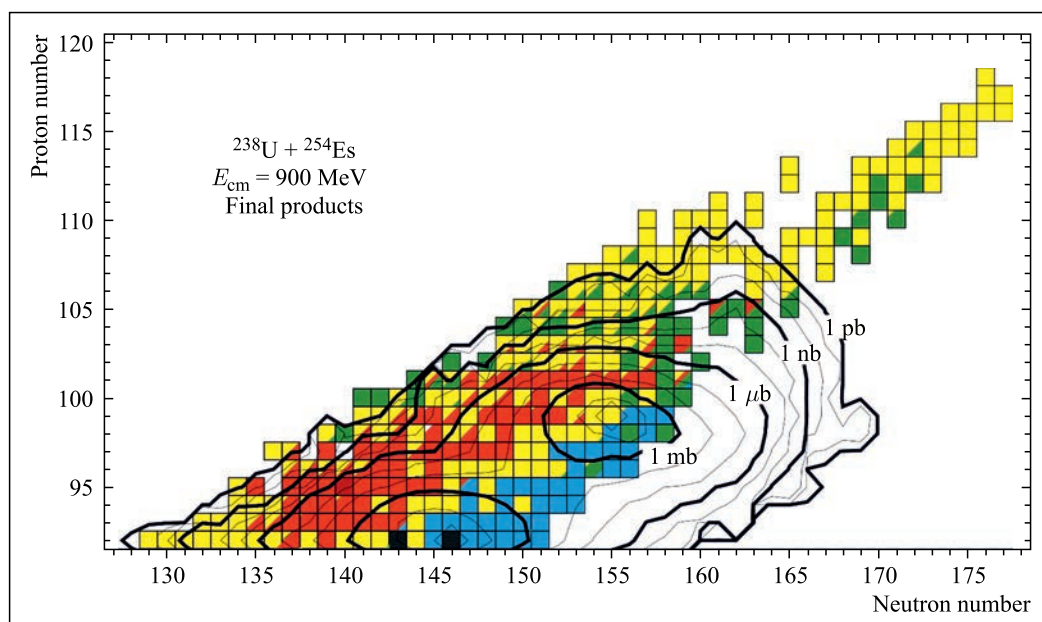


Рис. 2. Сечения синтеза ядер в реакции $^{238}\text{U} + ^{254}\text{Es}$ при энергии $E_{\text{cm}} = 900$ МэВ. Контурные линии нарисованы через каждый порядок величины до 1 пб

быстрое экспоненциальное убывание сечений синтеза таких ядер при удалении от исходной комбинации сталкивающихся ионов. Это делает область сверхтяжелых ядер труднодоступной в реакциях многонуклонных передач. Однако достаточно высокие сечения (выше 1 мкб) дают возможность синтеза многих неизвестных изотопов тяжелых актиноидов (рис. 2).

Структура экзотических ядер. В 2018 г. выполнены первые эксперименты на радиоактивных пучках, полученных на введенном в строй фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2 [10]. Сепаратор построен совместно с французской компанией «SigmaPhi» и установлен на линии первичного пучка ускорителя У-400М. Весной эксперименты проводились с пучками ${}^6\text{He}$ и ${}^9\text{Li}$, полученными в реакции фрагментации первичного пучка ${}^{15}\text{N}$ с энергией 49,7 МэВ/нуклон на бериллиевой мишени толщиной 2 мм. Пучок ${}^6\text{He}$ с энергией 25 МэВ/нуклон, интенсивностью 10^5 с^{-1} , с 90%-й очисткой от примесей и сфокусированный на физической мишени CD_2 в пятно диаметром 17 мм использовался для изучения реакций упругого и неупругого рассеяния ${}^6\text{He} + d$ в широком угловом диапазоне от 25° до 130° в с. с. м. Эти измерения длились две недели, и впервые были получены уникальные данные с высокой статистикой. В течение одной недели с пучком ${}^6\text{He}$ также исследовалась реакция передачи одного протона ${}^6\text{He}(d, {}^3\text{He})$ с целью заселения основного и возбужденных состояний тяжелого изотопа водорода ${}^5\text{H}$. Результаты измерений использовались для планирования эксперимента по поиску ${}^7\text{H}$ при его получении в реакции передачи протона из ядра-снаряда ${}^8\text{He}$. Третий опыт был посвящен изучению низколежащих состояний изотопа ${}^{10}\text{Li}$, заселяемых в реакции ${}^9\text{Li}(d, p){}^{10}\text{Li} \rightarrow n + {}^9\text{Li}$. Здесь ключевым моментом была регистрация совпадений протонов с нейтронами [11], летящими назад и вперед соответственно. Экспозиция с пучком ${}^9\text{Li}$ ($I \sim 8 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$) длилась несколько дней, в результате чего получена информация, необходимая для оценки эффективности метода и планирования подобных измерений в 2019 г.

В ноябре 2018 г. проведен опыт по поиску ${}^7\text{H}$ в реакции ${}^8\text{He}(d, {}^3\text{He}){}^7\text{H} \rightarrow t + 4n$ на пучке ${}^8\text{He}$ (25 МэВ/нуклон) с регистрацией ${}^3\text{He}$ и тритонов. Для извлечения информации о заселении резонансного состояния ${}^7\text{H}$ с темпом набора статистики в несколько событий/день необходимо было обеспечить: 1) интенсивность пучка ${}^8\text{He}$ на мишени не менее $6 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$; 2) толщину мишени D_2 в криогенной газовой ячейке на уровне $3 \cdot 10^{20} \text{ атм/см}^2$; 3) эффективность регистрации совпадений ${}^3\text{He}-t$ не менее 75 %; 4) энергетическое разрешение телескопов на уровне 100 кэВ, необходимое для идентификации низкоэнергетических ядер ${}^3\text{He}$. Все эти требования реализованы в процессе измерения эффекта (около

10 сут) и фона (1,5 сут, пустая мишень). По результатам обработки данных будет принято решение о дальнейшем развитии метода и проведении более длительного эксперимента с регистрацией всех продуктов реакции ${}^8\text{He} + d$ включая нейтроны.

Реакции с пучками легких стабильных и радиоактивных ядер. В 2018 г. выполнен ряд экспериментов, направленных на исследование механизмов ядерных реакций, приводящих к образованию нейтроноизбыточных ядер. Разделение продуктов реакций и ядер первичного пучка под передними углами производилось с помощью магнитных спектрометров-сепараторов, созданных специально для подобных экспериментов (ACCULINNA, MABP, COMBAS, VAMOS и LISE). Определены оптимальные реакции, позволяющие получать новые ядра с максимальным числом нейтронов.

В реакции взаимодействия ядер ${}^{18}\text{O}$ с энергией 8,5 МэВ/нуклон с мишенью ${}^{238}\text{U}$ обнаружено значительное увеличение сечения для получения экзотических ядер в результате передачи большого количества нейтронов от ядра мишени ядру бомбардирующей частицы [12]. Сравнение экспериментальных результатов с расчетами показало возможность использования реакций передачи для получения экзотических ядер с высокими сечениями. Данные исследования приобретают особую актуальность в связи с созданием нового поколения магнитных спектрометров нулевого угла (MABP в Дубне и S3 в GANIL во Франции) [13].

В декабре 2018 г. состоялся первый эксперимент на пучке тяжелых ионов ускорителя У-400 с использованием нового магнитного спектрометра высокого разрешения MABP. Спектрометр позволяет проводить исследования ядерных реакций со стабильными и радиоактивными пучками. Во время первого сеанса на пучке ускорителя измерены характеристики спектрометра — его эффективность, разрешение по импульсу, позиционная чувствительность, коэффициент очистки продуктов реакции от первичного пучка. Все эти параметры соответствовали расчетным значениям и позволили измерить характеристики продуктов реакции с высоким разрешением и эффективностью в широком диапазоне углов, в том числе под углом 0° по отношению к пучку. В первом эксперименте исследована реакция ${}^{18}\text{O} + {}^{\text{nat}}\text{Ta}$ при энергии пучка 179 МэВ, позволяющая методом недостающих масс измерить энергетический спектр экзотического ядра ${}^{16}\text{C}$ (состоит из 3 α -частиц и возможного гало из 4 нейтронов) и тем самым сделать выводы о его структуре. Спектрометр создавался в кооперации с научными центрами Армении, Болгарии, Вьетнама, Польши, Чехии и Финляндии.

Выполнены прецизионные эксперименты по исследованию взаимодействия пучков ${}^{6,8}\text{He}$, ${}^{9,11}\text{Li}$ с другими ядрами. Экзотическая структура ядер пучка (${}^{6,8}\text{He}$ состоят из α -частичного кора и гало из 2 и 4

нейтронов соответственно, ${}^9,{}^{11}\text{Li}$ тоже можно представить в виде α -частичного кора и гало из дейтронных и нейтронных кластеров) определяет особенности механизма их взаимодействия с другими ядрами. Измерены энергетические зависимости полных сечений реакций от подбарьерных энергий до 50 МэВ/нуклон [14, 15]. Полученные результаты свидетельствуют о значительной величине вероятности реакций с этими ядрами (сечения реакций) при энергиях ниже кулоновского барьера. Также показано, что при энергиях около 20–30 МэВ/нуклон в энергетических зависимостях сечений взаимодействия экзотических ядер наблюдается максимум, существенно превышающий плавную зависимость, описываемую стандартными формулами для хорошо связанных ядер.

На основе решения нестационарного уравнения Шредингера в сочетании с расчетами по статистической модели распада составного ядра проведен анализ сечений взаимодействия (угловые распределения дифференциальных сечений и полных сечений реакций) для слабосвязанных ядер гелия и лития (${}^6,{}^8\text{He}$,

${}^6,{}^9,{}^{11}\text{Li}$). Показано влияние нейтронов и нейтронных кластеров в экзотических ядрах на вероятность протекания реакций. В подбарьерной области нейтроны помогают ядрам преодолевать кулоновский барьер и играют роль «ядерного клея» при слиянии двух ядер. При энергиях порядка энергии Ферми (20–30 МэВ/нуклон) увеличивается вероятность передачи нуклонов от ядра-снаряда к ядру-мишени. Эти результаты важны не только с точки зрения понимания свойств ядерной материи (микромира), но и для моделирования процессов, происходящих в космосе (макромире). Например, полученные значения сечений взаимодействия нейтроноизбыточных ядер могут изменить сценарий образования легких элементов в процессе астрофизического нуклеосинтеза.

Все исследования выполнены в сотрудничестве с Национальным центром GANIL, Техасским университетом (США), INP (Франция), Национальным университетом им. Л. Н. Гумилева (Казахстан), Институтом ядерной физики (Чешская Республика), Институтом ядерной физики им. Г. Неводничанского (Польша).

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

Изучена температурная зависимость параметров наноразмерных дефектов на поверхности монокристаллов диоксида титана, облученных ионами ксенона с энергией 220 МэВ [16]. Установлено, что средняя высота образованных структур в виде «хиллоков», а также глубина разупорядоченной зоны в приповерхностном слое мишени увеличивается с температурой облучения в интервале 80–1000 К. «Хиллоки» имеют кристаллическую структуру и эпитаксиальные поверхности кристалла.

Измерены осмотические потоки через трековые мембраны с радиусом пор 10–50 нм в системе вода/мембрана/раствор соли [17]. Установлено, что интенсивный транспорт воды сквозь поры происходит лишь в случае растворенного вещества, диссоциирующего на ионы. Установлена определяющая роль двойного электрического слоя в механизме осмотического транспорта. Показано, что транспорт через поры под действием осмотического давления пред-

ставляет собой вязкое течение жидкости через цилиндрический капилляр.

Получены и исследованы наноразмерные пленки политетрафторэтилена, осажденные на поверхности трековых мембран из полиэтилентерефталата с помощью высокочастотного магнетронного распыления и электронно-лучевого диспергирования полимера в вакууме [18]. Показано, что морфология и химический состав пленок, осажденных этими двумя методами, существенно различаются.

Методами нейтронно-активационного и рентгенофлюоресцентного анализа изучен элементный состав отходов хвостохранилищ Мизурской обогатительной фабрики (Республика Северная Осетия). Установлено, что хвостохранилище представляет собой техногенную геохимическую аномалию с высоким содержанием Zn, As, S, Cu, Sb, Se, Ag, In, Pb, Cd [19].

РАЗВИТИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЛЯР

В рамках подготовки к реконструкции циклотрона У-400Р ведется проектирование нового экспериментального зала. Проводится согласование проектной документации по разделам: «Технологиче-

ские решения», «Обеспечение радиационной безопасности» и «Мероприятия по охране окружающей среды».

На ускорителе У-400 (на мишени сепаратора SHELS) получен пучок ^{54}Cr с интенсивностью около 0,5 $\mu\text{мкА}$. Для решения этой задачи использовался метод MIVOC (Metal Ions from Volatile Compounds).

СОЗДАНИЕ НОВЫХ И РАЗВИТИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Создание сепаратора на основе резонансной лазерной ионизации (установка ГАЛС). Дополнительное лазерное оборудование (лазерная система TiSa, резонаторы удвоения частоты, системы формирования и разводки пучков и т. д.) доставлены и устанавливаются в лазерную лабораторию. Разработано программное обеспечение для управления лазерами накачки EdgeWave. Таким образом, в 2019 г. становится возможным проведение тестовых экспериментов по селективной резонансной лазерной ионизации с использованием эталонной ячейки.

Разработан первый дизайн лентопротяжной станции в iThemba Labs (ЮАР). Проведены тестовые измерения и реальный on-line эксперимент по γ -спектроскопии изотопов иттербия для определения деформации и неаксиальности этих ядер. Выполнено моделирование секступольного ионопровода для оценки возможных потерь ионов, выходящих из газовой ячейки. Моделирование предсказывает эффективность переноса, близкую к 100 %, на первых 65 мм пути ионов и спад эффективности при больших расстояниях транспортировки. Для повышения эффективности транспорта и снижения времени пролета ионов разрабатывается сегментированный квадрупольный ионопровод [20, 21]. Проведено 3D-моделирование динамики пучка в масс-сепараторе ГАЛС. Завершено изготовление магнита сепаратора и вакуумной камеры. На площадке производителя была проведена совместная сборка ярма и обмотки сепаратора и их тестовые испытания [20, 21].

Продолжены совместные эксперименты (ОИЯИ, ЦЕРН и Католического университета Левена (Бельгия)) на ISOLDE в ЦЕРН с использованием лазерного ионного источника RILIS. Проведены лазерно-спектроскопические измерения для определения ядерных параметров нейтронно-дефицитных изотопов Au и Tl [22].

Масс-спектрометр MASHA. В кооперации с Университетом им. Палацки в Оломоуце (Чехия) и Институтом экспериментальной и прикладной физики Чешского технического университета в Праге

В рамках программы модернизации циклотрона У-400М изготовлены и доставлены в Дубну новые катушки основного магнита, ведется подготовка к монтажу.

продолжена работа по модернизации систем управления и сбора данных установки MASHA, основанных на стандарте WAGO-I/O-SYSTEM, compactRIO и PXI/PXIe. Системы прошли успешное тестирование в экспериментах, выполненных в 2018 г. Создана система измерения токов на базе стандарта PXI/PXIe для тестирования нескольких видов ЭЦР-источников (с стеклоэмалевым покрытием, с покрытием TiN и др.) с использованием импульсного вентиля (минимальная длина импульса 2 мс).

Выполнены эксперименты по измерению времени сепарации короткоживущих продуктов, образующихся в реакциях слияния $^{40}\text{Ar} + ^{144}\text{Sm}$ и $^{40}\text{Ar} + ^{166}\text{Er}$. В экспериментах применена новая конструкция горячего поглотителя, основанная на использовании тонкой бумаги из графитовых нанотрубочек. В этих же экспериментах проведены ресурсные испытания горячего поглотителя, работавшего при температуре 1800 °С и интенсивности первичного пучка $\leq 0,5 \mu\text{мкА}$. Показано, что время сепарации не превышает 1 с, что примерно в два раза меньше, чем было получено ранее при использовании толстого поглотителя. Эффективность сепарации, измерявшаяся при интенсивности пучка $^{40}\text{Ar} \leq 0,5 \mu\text{мкА}$, не изменялась в течение 85 ч, тогда как для толстого поглотителя эффективность уменьшалась в 6 раз за то же время облучения.

Продолжены работы по созданию новой конструкции ЭЦР-источника и горячей ловушки. Особенностью новой конструкции является возможность работы всего комплекса при температуре до 300 °С, а внутренняя поверхность вакуумных объемов будет иметь химически инертное стеклоэмалевое покрытие. В настоящее время выполняются измерения эффективности и времени ионизации для инертных газов и ртути с использованием быстрого клапана. Данный клапан позволяет осуществлять подачу газа или паров вещества в ЭЦР-источник с минимальной длительностью импульса, не превышающей 2 мс.

Исследования, проведенные в ЛЯР в 2018 г., поддержаны пятью грантами РФФИ и двумя грантами РНФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kalagin I., Dmitriev S., Oganessian Yu., Gulbekian G., Gikal B., Bogomolov S., Ivanenko I., Ivanov G., Kazari-nov N., Osipov N., Semin V. The New DC-280 Cyclotron. Status and Road Map // Phys. Part. Nucl. Lett. 2018. V. 15, No. 7. P. 813.
2. Rezyunkina K. et al. The Influence of Octupole Vibration on the Low-Lying Structure of ^{251}Fm and Other Heavy $N = 151$ Isotones // Phys. Rev. C. 2018. V. 97. P. 054332.

3. *Svirikhin A. I. et al.* Short-Lived Isotopes of Trans-fermium Elements: Studying Characteristics of Spontaneous Fissioning // *Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys.* 2018. V. 82, No. 6. P. 632.
4. *Steinogger R., Aksenov N. V., Albin Y. V. et al.* // Book of Abstr. of the IX Intern. Symp. on Exotic Nuclei, Petrozavodsk, Russia, 10–15 Sept. 2018.
5. *Kozulin E. M., Knyazheva G. N., Ghosh T. K., Sen A., Itkis I. M., Itkis M. G., Novikov K. V., Diatlov I. N., Pchelintsev I. V., Bhattacharya C., Bhattacharya S., Banerjee K., Saveleva E. O., Vorobiev I. V.* Fission and Quasifission of the Composite System $Z = 114$ Formed in Heavy-Ion Reactions at Energies Near the Coulomb Barrier // *Phys. Rev. C.* 2019 (submitted).
6. *Pan A. N., Kozulin E. M., Itkis I. M., Itkis M. G., Knyazheva G. N., Gikal K. B., Novikov K. V., Kvochkina T. N., Burtebayev N. T., Covalchuk K. V.* Proton Induced Fission of ^{232}Th at Low and Intermediate Energies // *Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys.* 2018. V. 82, No. 6. P. 721–724 (*Пан А. Н., Козулин Э. М., Иткис Ю. М. и др.* Деление ^{232}Th под действием протонов низких и средних энергий // *Изв. РАН. Сер. физ.* 2018. Т. 82, № 6. С. 800–803).
7. *Gikal K. B., Kozulin E. M., Itkis I. M., Itkis M. G., Knyazheva G. N., Novikov K. V., Pan A. N.* Searching for the Superasymmetric Fission Mode of ^{248}Cf , ^{254}Fm , and ^{260}No in Reactions $^{22}\text{Ne} + ^{232}\text{Th}$, ^{238}U ; $^{16}\text{O} + ^{232}\text{Th}$, ^{238}U // *Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys.* 2018. V. 82, No. 6. P. 716–720 (*Гикал К. Б., Козулин Э. М., Иткис Ю. М. и др.* Поиск суперасимметричной моды деления ^{248}Cf , ^{254}Fm и ^{260}No , полученных в реакциях $^{22}\text{Ne} + ^{232}\text{Th}$, ^{238}U ; $^{16}\text{O} + ^{232}\text{Th}$, ^{238}U // *Изв. РАН. Сер. физ.* 2018. Т. 82, № 6. С. 795–799).
8. *Harca I. M., Kozulin E. M. et al.* The Spin of Fragments Following the Heavy Ion Induced Fission in the $^{32}\text{S} + ^{197}\text{Au}$ Reaction Near the Interaction Barrier // *Eur. Phys. J. A.* 2019 (submitted).
9. *Saiko V. V., Karpov A. V.* Analysis of Multinucleon Transfer Reactions with Spherical and Statically Deformed Nuclei by Using a Langevin-Type Approach // *Phys. Rev. C.* 2019 (submitted).
10. *Fomichev A. S. et al.* The ACCULINNA-2 Project: The Physics Case and Technical Challenges // *Eur. Phys. J. A.* 2018. V. 54. P. 97.
11. *Bezbakh A. A. et al.* A Neutron Spectrometer for Experiments with Radioactive Beams on the ACCULINNA-2 Fragment-Separator // *Instrum. Exp. Tech.* 2018. V. 61, No. 5. P. 631.
12. *Stefan I. et al.* Neutron-Rich Nuclei Produced at Zero Degrees in Damped Collisions Induced by a Beam of ^{18}O on a ^{238}U Target // *Phys. Lett. B.* 2018. V. 779. P. 456–459.
13. *Зернышкин В. А. и др.* Траектории движения заряженных частиц в магнитном анализаторе высокого разрешения (МАВР) // *Письма ЭЧАЯ.* 2018. Т. 15, № 5(217). С. 421–430.
14. *Kabyshev A. M. et al.* Some Peculiarities of Interactions of Weakly Bound Lithium Nuclei at Near-Barrier Energies // *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 2018. V. 45. 025103 (16 p.).
15. *Naumenko M. A., Penionzhkevich Yu. E. et al.* // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2018. V. 1023. P. 012018.
16. *O'Connell J. H., Aralbayeva G., Skuratov V. A., Saifulin M., Janse van Vuuren A., Akilbekov A., Zdorovets M.* Temperature Dependence of Swift Heavy Ion Irradiation Induced Hillocks in TiO_2 // *Mater. Res. Express.* 2018. V. 5, No. 5. P. 1–10.
17. *Apel P. Y., Blonskaya I. V., Lizunov N. E., Olejniczak K., Orelovitch O. L., Toimil-Molares M. E., Trautmann C.* Osmotic Effects in Track-Etched Nanopores // *Small.* 2018. V. 14. 1703327 (10 p.).
18. *Кравец Л. И., Алтынов В. А., Яблоков М. Ю., Гильман А. Б., Satulu V., Mitu B., Dinescu G.* Исследование морфологии и химической структуры наноразмерных пленок политетрафторэтилена, осажденных на поверхности трековых мембран плазмохимическими методами // *Химия высоких энергий.* 2018. Т. 52, № 4. С. 318–325.
19. *Каманина И. З., Пухаева Н. Е., Густова М. В., Фронтасьева М. В., Чигоева Д. Н., Каплина С. П.* Использование ядерно-физических методов для анализа отходов горно-обогатительной промышленности на примере Унальского хвостохранилища // *Успехи соврем. естествознания.* 2018. № 7. С. 142–150.
20. *Zemlyanoy S., Avvakumov K., Kazarinov N., Fedosseev V., Bark R., Blazczak Z., Janas Z.* Heavy Neutron Rich Nuclei: Production and Investigation // *J. Phys. C. S.* 2018. V. 1023. P. 012004.
21. *Zemlyanoy S. G., Zagrebaev V. I., Avvakumov K. A., Kazarinov N. Yu., Kudryavtsev Yu., Fedosseev V., Bark R., Janas Z.* GALS — Setup for Production and Study of Heavy Neutron Rich Nuclei at Dubna // *IGLIS-NET Newslett.* 2018. No. 6. P. 18–21.
22. *Cubiss J. G., Barzakh A. E., Andreyev A. N., Al Monthery M., Althubiti N., Andel B., Antalic S., Atanasov D., Blaum K., Cocolios T. E., ..., Fedosseev V. N., ..., Zemlyanoy S. G., Zuber K.* Change in Structure between the $I = 1/2$ States in ^{181}Tl and $^{177,179}\text{Au}$ // *Phys. Lett.* 2018. V. 786. P. 355.



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ ИМ. И. М. ФРАНКА

Научная программа Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка в 2018 г. была направлена на получение новых результатов в рамках пяти 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 фотолюминесценции для исследований конденсированных сред», 04-4-1133-2018/2020, руководители Г. М. Арзуманян и Н. Кучерка); по ней-

тронной ядерной физике («Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона», 03-4-1128-2017/2019, руководители В. Н. Швецов, Ю. Н. Копач, Е. В. Лычагин и П. В. Седышев); по развитию базовых установок лаборатории («Развитие исследовательской ядерной установки ИБР-2 с комплексом криогенных замедлителей нейтронов», 04-4-1105-2011/2019, руководители А. В. Белушкин и А. В. Виноградов); 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 и В. И. Приходько).

НЕЙТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

В 2018 г. реактор ИБР-2 работал на физические эксперименты в рамках пользовательской программы только 41 день. Получена 131 заявка на проведение экспериментов из 13 стран мира. Из них 39% заявок были направлены на решение задач в области материаловедения, 25% были посвящены физическим проблемам, остальные 36% охватывали исследования в области химии, геологических наук, биологии и прикладные задачи. К реализации были приняты 116 поданных заявок.

Структурные исследования новых оксидных, интерметаллических и наноструктурированных материалов. Недавно в условиях экстремального воздействия высоких давлений и температур был синтезирован новый бинарный оксид марганца Mn_2O_3 со структурой перовскита. Уникальность этого материала состоит в том, что в позициях А и В перовскитной структуры (ABO_3) располагаются одноименные ионы марганца. Проведено комплексное исследование структурных, магнитных и сегнетоэлектрических свойств данного материала в области низких температур (рис. 1). Установлено существование двух сложных модулированных антиферромаг-

нитных фаз ($T_{N1} \approx 100$ К, $T_{N2} \approx 50$ К). В АФМ-фазе, возникающей при T_{N1} , появляется продольная волна спиновой плотности с вектором распространения $k_1 = (0 \ 0 \ 0,125)$. При температурах $T < T_{N2}$ формируется несоразмерная АФМ-фаза с геликоидально и циклоидально модулированными компонентами, описываемыми комбинацией волновых векторов $k_{2-0} = (0 \ 0 \ 1,244)$, $k_{2-1+} = (0 \ 0 \ 1,006)$, $k_{2-1-} = (0 \ 0 \ 0,494)$, $k_{2-2+} = k_{2-2-} = (0 \ 0 \ 0,256)$. В области $T < T_{N2}$ наблюдалось появление спининдуцированной спонтанной сегнетоэлектрической поляризации, а также магнитоэлектрического эффекта [1].

Стали и сплавы на основе железа до настоящего времени являются основными конструкционными материалами, демонстрирующими впечатляющее разнообразие полезных качеств, и, соответственно, они активно изучаются на протяжении столетий. В то же время по крайней мере некоторые фундаментальные свойства их основного компонента — железа — до сих пор не получили общепринятого объяснения. В частности, это касается механизма фазовых переходов между его аллотропными

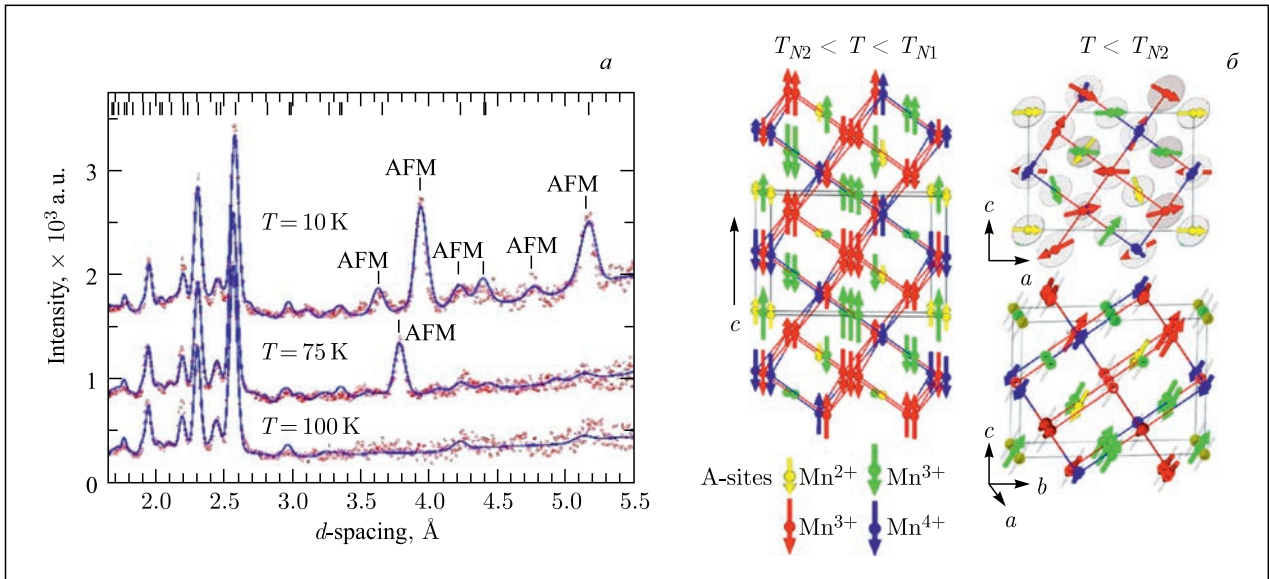


Рис. 1. Нейтронные дифракционные спектры (а) и симметрия модулированных магнитных структур (б) оксида марганца Mn_2O_3

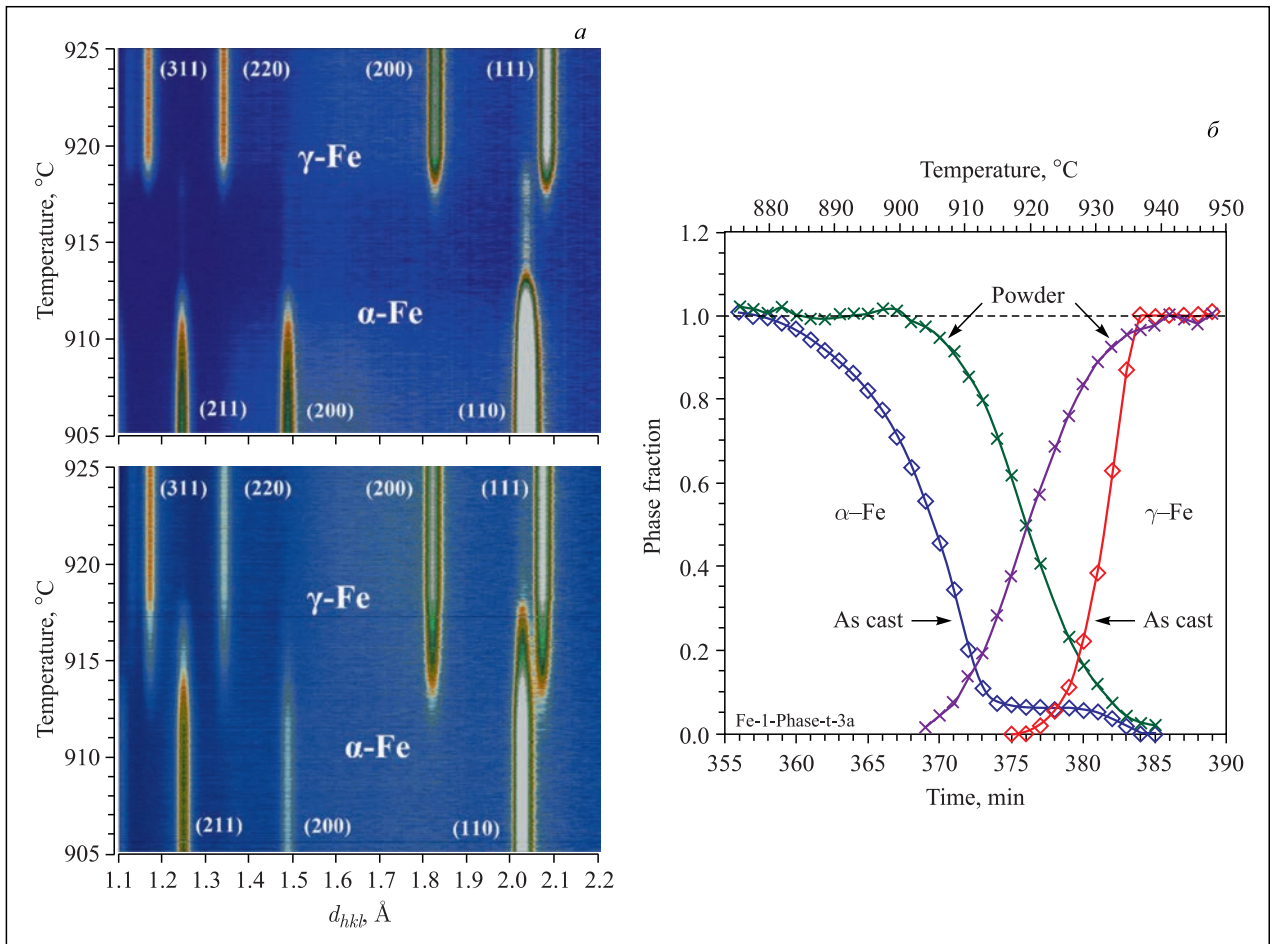


Рис. 2. а) 2D-представление дифракционных спектров от образцов железа Fe-1 (вверху) и Fe-2 (внизу) при их нагревании. Показана область фазового перехода $\alpha \rightarrow \gamma$, соответствующая температуре 911°C . Исходное состояние — $\alpha\text{-Fe}$, для него указаны пики (110), (200) и (211). Конечное состояние — $\gamma\text{-Fe}$, для него указаны пики (111), (200), (220) и (311). В обоих случаях температура повышалась линейно со скоростью $\Delta T/\Delta t \approx 0,5^\circ\text{C}/\text{мин}$. Регистрация дифракционных спектров происходила каждую секунду. б) Зависимости от времени содержания α - и γ -фаз от образцов железа Fe-1 (As cast, ромбы) и Fe-2 (Powder, крестики) при их нагреве со скоростью $2,2^\circ\text{C}/\text{мин}$

модификациями, α - и γ -фазами. Наиболее часто используемая при теоретическом анализе перестройки атомов при переходе $\alpha \rightarrow \gamma$ в железе и сталях модель Бэйна предполагает растяжение объемноцентрированной кубической ячейки вдоль одной из осей 4-го порядка на $\sim 21\%$ и сжатие в перпендикулярной плоскости на $\sim 12\%$. Образуется объемноцентрированная тетрагональная ячейка, в которой смена осей переводит ее в гранецентрированную кубическую ячейку. Такая перестройка атомов не предполагает их координированных перемещений в отличие от перестройки при кооперативном (мартенситном) переходе. Однако скорость превращения столь велика, что, несмотря на большие деформации, дальний порядок фактически сохраняется на всех стадиях перестройки структуры.

Для получения информации о микроскопических механизмах перестройки атомной структуры технически чистого Fe впервые использована дифракция нейтронов *in situ* и в реальном времени [2]. Эксперименты проведены на фурье-дифрактометре высокого разрешения на реакторе ИБР-2 с образцами трех типов: мелкокристаллическим порошком Fe, литым Fe, полученным разливом в форму, и литым Fe, прошедшим цикл медленного нагрева до полного превращения в γ -фазу и медленного охлаждения до возврата в α -фазу. Цикл нагрев–охлаждение в области температур до 960°C повторялся трижды. На рис. 2 переход $\alpha \rightarrow \gamma$ показан в виде 2D-распределений интенсивностей пиков в координатах межплоскостное расстояние–температура (время) для образцов Fe-1 (литой) и Fe-2 (порошок), измеренных при их нагревании с постоянной скоростью $\Delta T/\Delta t \approx 0,5^\circ\text{C}/\text{мин}$. В образце Fe-1 γ -фаза появляется только после по-

чти полного исчезновения α -фазы (см. рис. 2). Разрыв между исчезновением α -фазы и образованием γ -фазы подтвердился при нагреве всех исследованных литых образцов с точностью до содержания α -фазы в середине области разрыва и его температурной ширины, которые в некоторой степени зависят от скорости нагрева. Для порошка Fe-2 ситуация выглядит радикально другой: изменение содержания фаз происходит синхронно и с пересечением уровня 0,5 в середине интервала времени, соответствующего появлению γ -фазы и исчезновению α -фазы. Как видно из рис. 2, в порошке время от начала уменьшения α -фазы до ее полного исчезновения составляет около 18 мин, а для литого образца это время и, соответственно, температурный интервал почти в 2 раза больше.

Исследования магнитных жидкостей и наночастиц. С помощью нейтронной рефлектометрии на рефлектометре ГРЭИНС изучено влияние внешнего неоднородного магнитного поля на адсорбцию магнитных наночастиц феррожидкости на плоской границе раздела сред (магнитная жидкость на основе трансформаторного масла/монокристалл кремния). Показано, что кривые зеркального отражения чувствительны к приложенному внешнему магнитному полю (рис. 3). Так, при малых магнитных полях ($< 35\text{ мТл}$) данная система описывается простой моделью с четкими границами между двумя полубесконечными средами. Однако наблюдается небольшое увеличение концентрации магнитных частиц в приграничном слое. При дальнейшем увеличении внешнего магнитного поля ($35\text{--}75\text{ мТл}$) экспериментальные кривые можно описать лишь моделью, состоящей из нескольких слоев на границе раздела сред.

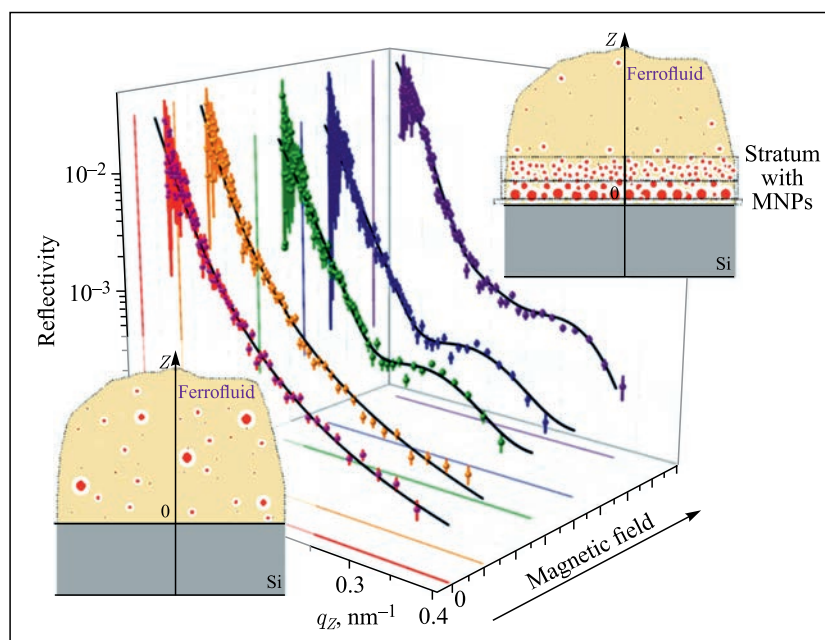


Рис. 3. Данные нейтронной рефлектометрии и предложенная модель адсорбции магнитных наночастиц феррожидкости на границе с твердым телом при увеличении напряженности внешнего магнитного поля

В этом случае наблюдается формирование двух адсорбционных слоев с различным содержанием магнитного материала в каждом из слоев [3].

Исследование углеродных наноматериалов.

В последние несколько десятилетий интенсивно исследовались коллоидные системы на основе нематических жидких кристаллов и наночастиц, предоставляющие потенциальные возможности варьирования физико-химических свойств тонких слоев жидкого кристалла для практических применений, связанных с сохранением и визуализацией информации. Методами малоуглового рассеяния нейтронов и поляризационной микроскопии исследованы особен-

ности агрегации наночастиц алмаза в композитах на основе нематических жидких кристаллов [4]. Показано, что, как и исходные используемые в синтезе водные дисперсии наноалмазов, композитная система обладает многоуровневой структурой (рис. 4). Наноалмазы собраны во фрактальные кластеры с размерностью 2, существенно меньшей, чем в исходных дисперсиях (размерность 2,3). Кластеры входят в состав квазилинейных агрегатов, способных образовывать непрерывную сетку при концентрациях от 1 мас. %. Дополнительно рассмотрен вопрос о влиянии толщины слоя жидкокристаллической суспензии на процесс агрегации.

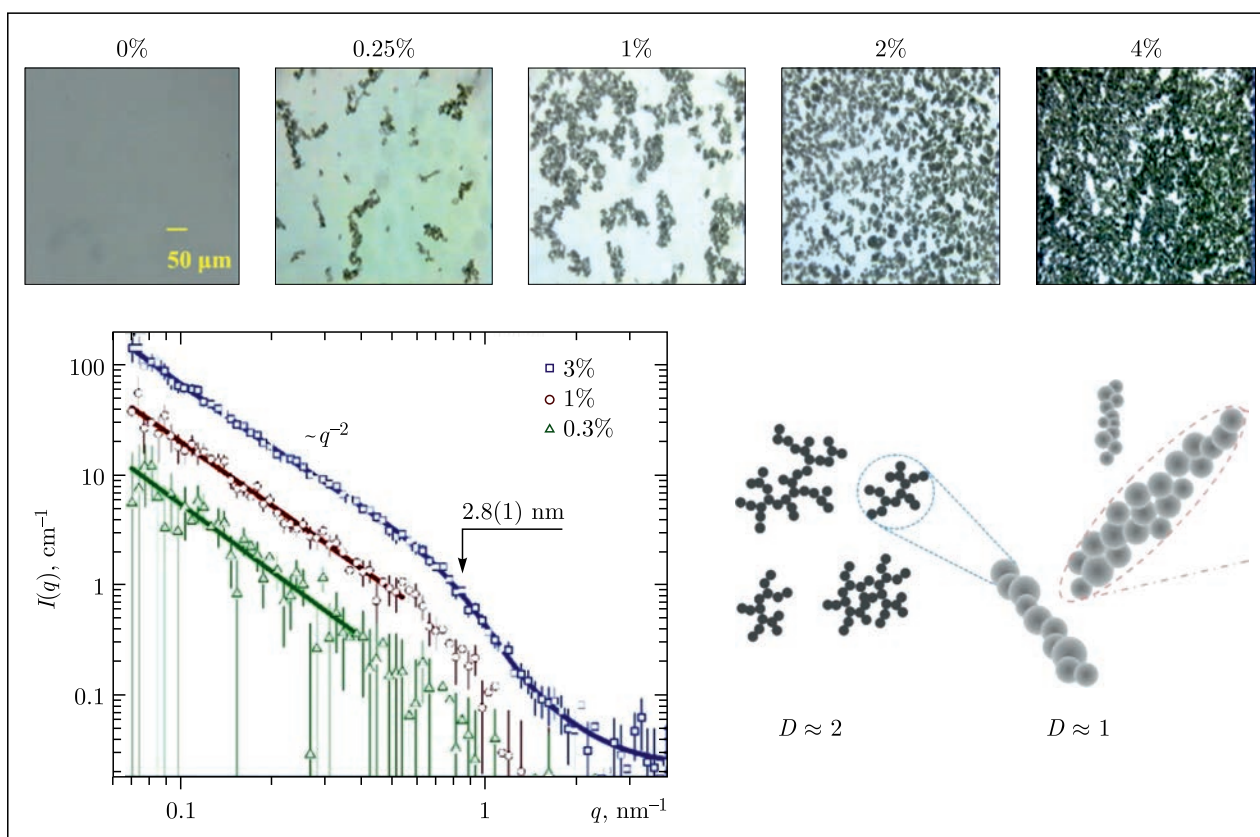


Рис. 4. Структура жидкокристаллической суспензии с наноалмазами

Исследование слоистых наноструктур и электрохимических границ раздела. В рамках исследования путей предотвращения паразитных образований на поверхностях электродов в литиевых аккумуляторах для улучшения их характеристик и повышения безопасности их работы на рефлектометре ГРЭИНС проведена серия экспериментов по нейтронной рефлектометрии на модельных электрохимических границах раздела жидкий электролит – твердый электрод без добавления и с добавлением неэлектроактивной добавки (тетрабутиламмония перхлорат, ТВАР) в литийсодержащий электролит [5]. Из анализа зеркального отражения в режиме *operando* было показано, что формирование твердоэлектролитной интерфазы (Solid-Electrolyte Inter-

phase, SEI) на поверхности электрода, а также электроосаждение лития и рост паразитных образований существенно подавляются при добавлении неэлектроактивной добавки в электролит. Полученные профили плотности длины рассеяния перпендикулярно поверхности электрода позволили более детально проанализировать различные режимы образования SEI, а также формирование и рост нанометровых слоев лития в разных условиях.

Методические результаты. Совместно с сотрудниками РГП ИЯФ (Алма-Ата, Казахстан) проведены работы по проектированию новой установки радиографии и томографии на базе стационарного исследовательского атомного реактора ВВР-К, по за-

казу и приобретению специального оборудования и материалов для ее создания. В экспериментальном зале реактора на канале 1 создана основная конфигурация установки и биологическая защита. Измеренная на выходе данного канала плотность потока тепловых нейтронов составляет $\sim 4,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Проведены первые тестовые эксперименты, которые демонстрируют хорошие перспективы использования установки нейтронной радиографии и томографии на реакторе ВВР-К для нейтронных исследований в различных фундаментальных и прикладных областях.

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

Основная цель темы — разработка современных методов нелинейной рамановской микроспектроскопии для высокочувствительной (единичные молекулы) и химически селективной регистрации органических молекул. Метод будет основан на спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС) на молекулах, адсорбированных на наноструктурированных подложках.

В 2018 г. исследования сектора рамановской спектроскопии в основном были сфокусированы на реализации следующих задач:

- тестирование ГКР-активных подложек различной конфигурации с целью выявления наиболее оптимальных для эффективной ГКАРС-спектроскопии;
- получение и анализ спектров гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) и гигантского когерентного антистоксова рассеяния света (ГКАРС), а также карт интенсивности света, рассеянного на органических молекулах, прикрепленных к Au-наночастицам;
- модернизация действующей программы «КАРС» микроспектрометра NanoSP с целью адаптации ее к ультрачувствительной модальности ГКАРС (SECARS);
- получение данных о структурных и спектроскопических/люминесцентных свойствах наноструктур ядро-оболочка на основе $\text{SrF}_2:\text{Yb,Er}@\text{SrF}_2$.

Получение и анализ спектров ГКР и ГКАРС, а также карт интенсивности света, рассеянного на органических молекулах, прикрепленных к Au-наночастицам. Полученные экспериментальные результаты впервые демонстрируют возможность регистрации высококонтрастных ГКАРС-сигналов от молекул-репортеров тионитробензойной кисло-

ты (TNB), прикрепленных к золотым наночастицам, осажденным на поверхности новых ГКР-активных метаматериалов на основе наноструктурированной фасеточной поверхности диэлектрической пленки SeO_2 , напыленной на Al-подслое. Исследования показали, что при раман-резонансном лазерном возбуждении молекул/Au-NP-конъюгатов, иммобилизованных на поверхности, интенсивные ГКАРС-сигналы могут генерироваться при лазерных мощностях, не приводящих к разрушению конъюгатов.

Исследования показали, что сопряжение КАРС с вышеуказанными структурами плазмонных метаматериалов обеспечивало высокий (до 400) контраст химических изображений исследуемых молекул-репортеров. Принимая во внимание относительно легкое управление свойствами и высокую стабильность исследуемой ГКР-активной структуры в условиях окружающей среды, ее можно рассматривать в качестве перспективного кандидата на роль ГКАРС-биосенсора с ультравысокой мономолекулярной чувствительностью.

Результаты по измерениям ГКАРС. С целью наиболее точной оценки интенсивности сигнала ГКАРС предварительно были проведены измерения на вышеупомянутых подложках с иммобилизованными на поверхности золотыми наночастицами — немодифицированными молекулами аналита. Пространственное распределение сигналов эпи-КАРС с определенной площади поверхности образца регистрировалось на двух длинах волны накачки: $\lambda_p = 932$ и 900 нм. Выбранные значения λ_p соответствуют рамановским сдвигам 1333 см^{-1} (резонансному с одним из раман-активных переходов TNB) и 1714 см^{-1} (нерезонансному переходу).

НЕЙТРОННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

В 2018 г. в ЛНФ работы в области ядерной физики велись в традиционных направлениях: изучение процессов нарушения пространственной и вре-

менной четности при взаимодействии нейтронов с ядрами, изучение процесса деления, экспериментальное и теоретическое исследование фундаментальных

свойств нейтрона, гамма-спектроскопия нейтронно-ядерных взаимодействий, структура атомного ядра, получение новых данных для реакторных приложений и для ядерной астрофизики, эксперименты с ультрахолодными нейтронами, а также прикладные работы, связанные с применением нейтронного активационного анализа. Успешно реализуется научная программа по исследованию неупругого рассеяния быстрых нейтронов (проект TANGRA). Ряд экспериментов в области фундаментальной физики и физики ультрахолодных нейтронов проводился на установках ядерных центров Германии, Китая, Франции, Швейцарии.

Развитие установки ИРЕН. В течение 2018 г. производилась полная замена системы хладоснабжения ускорителя ЛУЭ-200 установки ИРЕН. Параллельно проводились работы по реконструкции помещений для комплекса пневмотранспортной установки «Регата-2» и радиохимической лаборатории. Завершено создание и проведены испытания на стенде уникального инжектора электронов, который представляет собой трехэлектродную электронную пушку с окисно-бариевым катодом от СВЧ-лампы ГС-34. Особенностью данного инжектора является возможность управления длительностью импульса пучка электронов в диапазоне от 40 до 400 нс [6].

Главные научные результаты. *Позиционно-чувствительная ионизационная камера для исследования МНД в делении, индуцированном резонансными нейтронами.* В лаборатории была разрабо-

тана и сконструирована позиционно-чувствительная двойная ионизационная камера (ДИК) для экспериментальных исследований корреляций испускания мгновенных нейтронов деления (МНД) с характеристиками осколков деления (ОД) [7]. ДИК предназначена для измерения кинетических энергий, масс и ориентации в 3D-пространстве оси деления коррелированных ОД. Сконструированная в лаборатории ДИК предназначена для использования в составе детектора МНД, состоящего из 32 детекторов быстрых нейтронов с жидким сцинтиллятором ВС-501, расположенных на поверхности сферы диаметром 1,4 м и сконцентрированных вокруг оси пучка резонансных нейтронов ИРЕН.

Работы в рамках проекта TANGRA. *Измерения угловой анизотропии вылета гамма-квантов в реакциях неупругого рассеяния нейтронов с энергией 14,1 МэВ на различных ядрах.* В 2018 г. в рамках проекта TANGRA были проведены измерения угловых распределений гамма-квантов в реакции $(n, n'\gamma)$ на различных ядрах. Измерения проводились на двух установках: «Ромашка», состоящей из 22 детекторов на основе сцинтилляторов NaI(Tl), и «Ромаша», состоящей из 18 детекторов на основе сцинтилляторов BGO. Общий вид экспериментальных установок показан на рис. 5.

Были проведены измерения для следующих элементов: C, Si, O, Bi, Al, Pb, Fe, Ti, Sn, Zn, Mn, Mg, K, Ca, Na, Cl, N, Ni, P. Пример углового распределения гамма-квантов с энергией 6,13 МэВ для реакции $^{16}\text{O}(n, n'\gamma)^{16}\text{O}$ приведен на рис. 6.

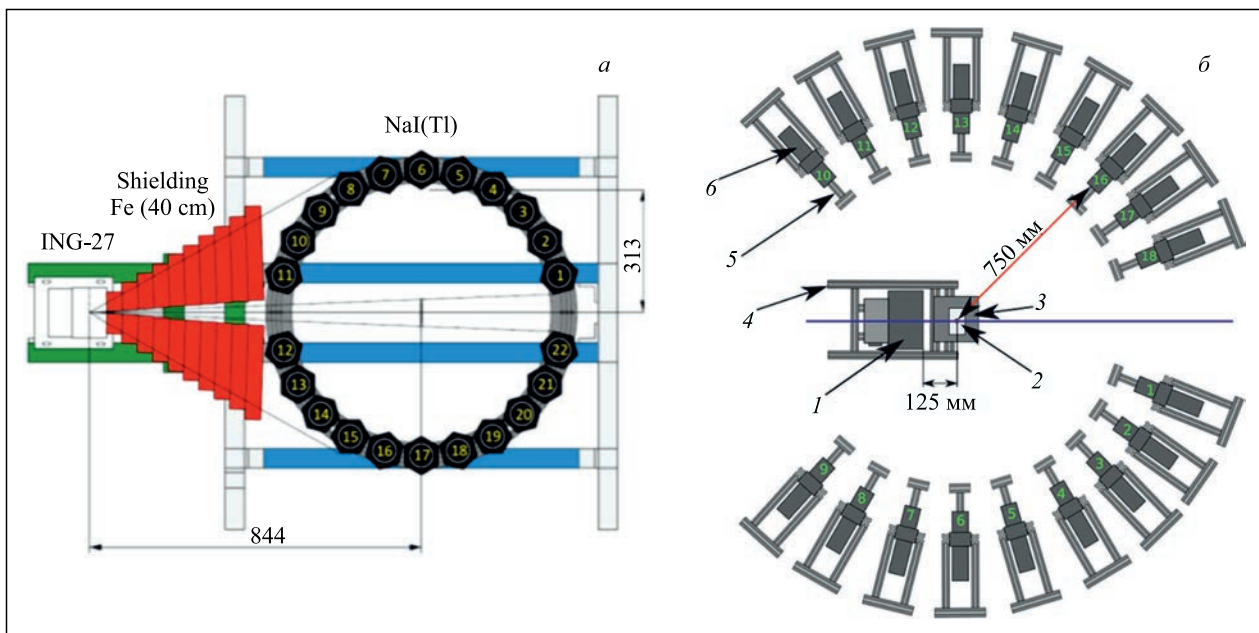


Рис. 5. Общий вид экспериментальных установок: а) детекторная система «Ромашка», состоящая из 22 сцинтилляторов NaI(Tl); б) детекторная система «Ромаша», состоящая из 18 сцинтилляторов BGO: 1 — генератор ИНГ-27; 2 — мишень; 3 — держатель мишени; 4 — алюминиевая рама установки; 5 — подставка для детектора γ -излучения; 6 — детектор γ -излучения

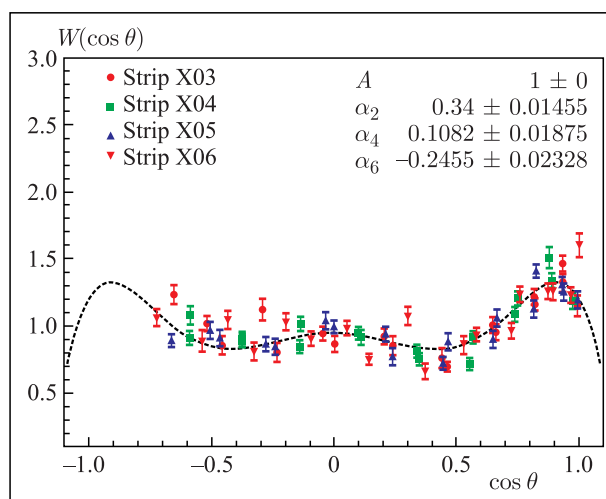


Рис. 6. Угловое распределение гамма-квантов с энергией 6,13 МэВ из реакции $^{16}\text{O}(n, n'\gamma)^{16}\text{O}$. Зависимость вероятности испускания гамма-квантов от косинуса угла вылета относительно направления падающих нейтронов описывается выражением $W(\theta) = A \sum_{i=0}^{2J} a_i P_i(\theta)$

Аналитические исследования на реакторе ИБР-2. В 2018 г. на установке РЕГАТА был проведен многоэлементный инструментальный нейтронный активационный анализ ~ 2000 экологических образцов (растительности, почвы, воздушных фильтров), ряда технологических, биологических и археологических образцов, а также образцов внеземного происхождения в рамках программ и гран-

тов стран-участниц ОИЯИ и протоколов о научно-техническом сотрудничестве с научными и образовательными учреждениями из разных стран. Проведены исследования тестовых образцов для межлабораторного сравнения результатов по программе МАГАТЭ. Выполнен элементный анализ ~ 1000 образцов на атомно-абсорбционном спектрометре iCE3500 фирмы Thermo Scientific.

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕАКТОР ИБР-2 И КОМПЛЕКС ХОЛОДНЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ НЕЙТРОНОВ

В 2018 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 2018 г. были проведены два цикла работы замедлителя КЗ-202 в режиме криогенного замедли-

теля. В 2018 г. охлаждение КЗ-202 проводилось новой криогенной системой. После модернизации системы трубопроводов, тепловых мостов и оптимизации параметров работы оборудования удалось снизить температуру в камере КЗ-202 на 10 К. В результате минимальная температура в камере КЗ-202 составила 20–22 К. Эксперименты, проведенные на

Номер цикла	Период	Режим работы замедлителя	Время работы реактора на физический эксперимент, ч
1	15.01–28.01	Водяной	262
2	06.02–18.02	Криогенный	272
3	14.03–17.03	Водяной	56
4	09.04–21.04	Водяной	283
5	14.05–16.05	Водяной	45
6	—	—	Отменен
7	—	—	Отменен
8	19.11–04.12	Водяной	247
9	10.12–28.12	Водяной	422
<i>Всего</i>			1587

спектрометрах РЕМУР (канал №8) и НЕРА (канал №7с) при новых значениях температуры, показали увеличение потока холодных нейтронов до 22 %.

В соответствии с договором №170-154126/400/683 от 24/08/2015 г. при изготовлении ПО-3Р на АО «Воткинский завод» в 2018 г. сотрудниками МТО ЛНФ проводились работы по курированию из-

готовления узлов и деталей подвижного отражателя, а также приемка изделий из состава отражателя на промежуточных этапах и контрольных сборках ИРМ2М.110.000СБ и ИРМ2М.50.000СБ. В настоящее время на Воткинском заводе осуществляется сборка ПО-3Р перед испытаниями по согласованной программе.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРОВ ИБР-2

В 2018 г. завершены работы по созданию чистого производственного помещения (ЧПП) для сборки нейтронных детекторов. ЧПП находится в корпусе №119 ЛНФ и имеет в своем составе две чистые зоны: тамбур и рабочую зону. В рабочей зоне выполняются намотка и мойка электродов детекторов, а также сборка детекторов. В помещении поддерживаются постоянные показатели температуры и влажности воздуха, проводятся работы по очистке

воздуха от аэрозольных частиц и удалению взвешенных частиц. Чистота воздуха в тамбуре соответствует классу 7 ИСО, в рабочей зоне — классу 6 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Создание чистого производственного помещения позволяет значительно сократить время, необходимое для сборки нейтронных детекторов, и, что особенно важно, повысить качество выполняемых работ.

МЕРОПРИЯТИЯ

С 28 мая по 1 июня в Сиане (Китай) проходил 26-й Международный семинар по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-26). В 2018 г. впервые его соорганизаторами, кроме основателя и многолетнего организатора — Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, стали Northwest Institute of Nuclear Technology (NINT) и Xi'an Jiaotong University (XJTU), а также Chinese Radiation Physics Society (CRPS).

С 3 по 5 июля в Дубне проходила международная конференция «Биомониторинг атмосферных загрязнений» (BioMAP-8), целью которой было распространение знаний о методах и стратегиях мониторинга окружающего воздуха.

24-я конференция по использованию рассеяния нейтронов в конденсированных средах РНИКС-2018 проходила 17–21 сентября в Петергофе под Санкт-Петербургом и продолжила более чем полувековую традицию проведения таких совещаний, на которых обсуждаются актуальные задачи, связанные с применением методов рассеяния нейтронов. Объединенный институт ядерных исследований являлся соорганизатором данной конференции наряду с НИЦ «Курчатовский институт», Петербургским институтом ядерной физики и Санкт-Петербургским государственным университетом.

23 октября в Доме ученых ОИЯИ состоялся международный научно-мемориальный семинар, посвященный 110-летию со дня рождения лауреата Нобелевской и государственных премий, организатора и многолетнего руководителя Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований академика Ильи Михайловича Франка.

Очередная международная конференция «Биомембраны'2018», организованная при участии Объединенного института ядерных исследований, прошла с 1 по 5 октября на базе Московского физико-технического института (Долгопрудный). Основной целью конференции являлось информирование российского научного сообщества и обсуждение последних достижений современной интегрированной структурной биологии биомембран и мембранных белков, теоретической биофизики мембранных систем и их компьютерного моделирования.

6–8 декабря в Доме международных совещаний ОИЯИ проходило рабочее совещание «Перспективные идеи и эксперименты для нового дубненского источника нейтронов 4-го поколения (ДИН-IV)». На этом совещании подведены итоги трехлетнего этапа работы над концепцией ДИН-IV и определены направления дальнейшей деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cong J., Zhai K., Chai Y., Shang D., Khalyavin D. D., Thompson R. D., Kozlenko D. P. et al. Spin-Induced Multiferroicity in the Binary Perovskite Manganite Mn_2O_3 // Nature Commun. 2018. V. 9. P. 2996.
2. Balagurov A. M., Bobrikov I. A., Golovin I. S. Anomalous Behavior of an $\alpha \rightarrow \gamma$ Phase Transition in Iron: Results of *in situ* Neutron Diffraction Experiment // JETP Lett. 2018. V. 107. P. 558–563.
3. Nagorny A. V., Petrenko V. I., Rajnak M., Gapon I. V., Avdeev M. V., Dolnik B., Bulavin L. A., Kopsan-sky P., Timko M. Particle Assembling Induced by Non-Homogeneous Magnetic Field at Transformer Oil-Based Ferrofluid/Silicon Crystal Interface by Neutron Reflectometry // Appl. Surf. Sci. 2019 (in press).
4. Tomylo S. V., Tomchuk O. V., Ivankov O. I., Ryukhtin V., Bulavin L. A., Avdeev M. V. Multilevel Structure of Diamond Nanoparticles — Liquid Crystal Composites // Mater. Today: Proc. 2018 (submitted).
5. Avdeev M. V., Bobrikov I. A., Petrenko V. I. Neutron Methods for Tracking Lithium in Operating Electrodes and Interfaces // Phys. Sci. Rev. 2018. P. 20170157.
6. Голубков Е. А., Лебедев Н. И., Минашкин В. Ф., По-кровский С. В., Репкин А. Н., Чепурченко Р. А., Ша-братов В. Г., Швец В. А. Трехэлектродная высоковольтная электронная пушка ускорителя ЛУЭ-200 установки ИРЕН ЛНФ ОИЯИ. Препринт ОИЯИ Р9-2018-42. Дубна, 2018. 9 с.
7. Zeynalov Sh. S., Sedyshev P. V., Sidorova O. V., Shvetsov V. N. Position Sensitive Detector for Prompt Fission Neutron Investigations // Intern. J. Mod. Phys.: Conf. Ser. 2018. V. 48. P. 1860123.



ЛАБОРАТОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В 2018 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 рамках сотрудничества с другими лабораториями ОИЯИ сотрудники ЛИТ принимали участие в исследованиях по 25 темам Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ.

В 2018 г. Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс (МИВК) ОИЯИ пополнился новым высокопроизводительным компонентом. Успешно установлен и введен в эксплуатацию суперкомпьютер «Говорун», представляющий собой гетерогенную вычислительную платформу, содержащую вычислительные компоненты с узлами на базе процессоров Intel® Xeon Phi™ 7290 и Intel® Xeon® Scalable, а также компонент с ускорителями вычислений GPU NVIDIA V100 (DGX), что позволяет проводить ресурсоемкие, массивно-параллельные расчеты, для которых требуются различные типы вычислительных архитектур. Процессорная составляющая суперкомпьютера «Говорун» реализована российской компанией ЗАО «РСК Тех-

нологии» — разработчиком и интегратором «полного цикла» суперкомпьютерных решений нового поколения на основе передового жидкостного охлаждения, а также целого ряда собственных инновационных решений.

МИВК ОИЯИ, состоящий из четырех ключевых компонентов — грид-инфраструктуры, центрального вычислительного комплекса, вычислительного облака и высокопроизводительной платформы HybridLIT, в состав которой входит суперкомпьютер «Говорун», обеспечивает выполнение целого спектра конкурентоспособных исследований, ведущихся на мировом уровне в ОИЯИ в экспериментах MPD, BM@N, ALICE, ATLAS, CMS, NOvA, BES-III, STAR, COMPASS и др. В состав МИВК входит единственный в странах-участницах ОИЯИ грид-центр уровня Tier-1, являющийся одним из семи мировых центров хранения и обработки данных эксперимента CMS (ЦЕРН). Грид-сайты ОИЯИ уровня Tier-1 и Tier-2 являются элементами всемирной грид-инфраструктуры, используемой в рамках проекта WLCG для обработки данных экспериментов на LHC и других грид-приложений.

В 2018 г. сотрудниками Лаборатории информационных технологий опубликовано свыше 250 научных работ в реферируемых изданиях, представлено 103 доклада на международных и российских конференциях.

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ОИЯИ

В 2018 г. продолжены работы, связанные с развитием и обеспечением надежного функционирования сетевой и информационно-вычислительной инфраструктуры ОИЯИ. Основными элементами этой инфраструктуры являются телекоммуникационные каналы связи, локальная вычислительная сеть (ЛВС) ОИЯИ, многофункциональный информационно-вычислительный комплекс и базовое программ-

ное обеспечение, в том числе на основе облачных, грид- и гибридных технологий, объединяющие информационно-вычислительные ресурсы Института в единую, доступную для всех пользователей среду.

В 2018 г. начаты работы по созданию новых средств поддержки работы пользователей МИВК — по развитию и упрощению доступа к данным, по предоставлению пользователям удобных инструмен-

тов доступа к их домашним директориям, по удаленному доступу к разделяемым хранилищам данных и программ, по удобному и унифицированному способу аутентификации и авторизации. Установлены и находятся в опытной эксплуатации общие для всех компонентов МИВК системы: CVMFS — для организации доступа к разделяемому программному обеспечению групп пользователей, EOS — для распределенного хранения и доступа к данным. Объем системы на базе EOS составляет 3,74 ПБ. Эти системы будут применяться для хранения, обработки, анализа данных и моделирования экспериментов на NICA с использованием ресурсов МИВК и для создания единого пространства EOS на двух площадках ОИЯИ.

Телекоммуникационные каналы связи ОИЯИ.

В 2018 г. обеспечивалась надежная работа высокоскоростного канала связи Дубна–Москва. Внешний канал ОИЯИ построен на основе технологии DWDM и использовал одну лямбду (одну частоту) 100 Гбит/с и две лямбды (две частоты) по 10 Гбит/с каждая. Согласно плану развития начата модернизация сетевой инфраструктуры и внешних каналов связи. Сконфигурированное/настроенное оборудование DWDM

для организации дополнительной волоконно-оптической линии связи Дубна–Москва с пропускной способностью 100 Гбит/с установлено на площадке МГТС-9 в Москве, что позволит иметь новый прямой канал в ЦЕРН. Таким образом, внешняя распределенная сеть ОИЯИ будет представлена прямым каналом связи ОИЯИ–ЦЕРН и резервным каналом, проходящим через МГТС-9 в Москве и Амстердаме, обеспечивающими функционирование LHCOPN (ОИЯИ–ЦЕРН), для связи центров Tier-0 (ЦЕРН) и Tier-1 (ОИЯИ) и внешней наложенной сети LHCONE, предназначенной для центра Tier-2 (ОИЯИ), а также прямыми каналами для связи по технологии RU-VRF с коллаборацией научных центров RUHEP и с сетями Runnet, RASnet.

Распределение входящего (превышающего 10 ТБ) и исходящего трафиков по подразделениям ОИЯИ в 2018 г. приведено в таблице.

Общий входящий трафик ОИЯИ, включая серверы общего назначения, Tier-1, Tier-2 и вычислительный комплекс, составил в 2018 г. 18,62 ПБ. Основным является трафик с научно-образовательными сетями, составляющий 96,6 % от общего.

Подразделение	Входящий трафик, ТБ	Исходящий трафик, ТБ
Лаборатория ядерных проблем	197,80	67,84
Лаборатория физики высоких энергий	161,99	77,77
Лаборатория информационных технологий	87,55	22,91
Лаборатория нейтронной физики	76,84	39,77
Гостинично-ресторанный комплекс	67,72	8,11
Лаборатория ядерных реакций	67,09	11,49
Узел удаленного доступа	50,01	5,21
Управление ОИЯИ	41,33	28,24
Лаборатория теоретической физики	29,08	7,91
МСЧ-9	19,92	1,12
Университет «Дубна»	17,69	20,02
ОАО НПК «Дедал»	16,89	1,25
Управление социальной инфраструктурой	11,99	1,06
СМТС	11,63	10,35
Лаборатория радиационной биологии	10,65	3,47

Локальная вычислительная сеть ОИЯИ.

В 2018 г. были продолжены работы по развитию и совершенствованию сетевых компонентов ИТ-структуры ОИЯИ с целью повысить ее эффективность. Реализуется проект новой связи между площадками ЛЯП и ЛФВЭ с двойным резервированием для повышения надежности оптической транспортной магистрали и пропускной способностью 4×100 Гбит/с. В стадии тестирования и конфигурирования находится оборудование на 100 Гбит/с для опорной оптической магистрали сети ОИЯИ и сетевой инфраструктуры МИВК. Проведена модерниза-

ция узла интернет-обмена IX-GW сети ОИЯИ, VPN-сервиса и вычислительного кластера сетевой службы. На новую аппаратную основу, новое программное обеспечение и новый тип хранения данных перенесен институтский почтовый кластер mail.jinr.ru. Основу данной платформы составляют дисковый кластер на основе CEPH и виртуальный кластер на основе Proxmox (KVM). В настоящее время почтовый сервис mail.jinr.ru содержит 2621 актуальный почтовый ящик. На webmail.jinr.ru установлен plugin, позволяющий работать с мобильных устройств. В опытную эксплуатацию введена система

SSO-login (единого входа аутентификации), упрощающая доступ конечного пользователя к приложениям, интегрированным в систему. На сегодня в систему SSO интегрированы такие сервисы, как PIN, «База документов ОИЯИ», ADB2, SED. Ведется постоянный мониторинг более 400 элементов сетевой инфраструктуры, более 150 сервисов, более 20 000 счетчиков. Зафиксировано примерно 48 000 событий, указывающих на атаки на сеть ОИЯИ. Каждый месяц отправляется примерно 250 уведомлений внешним провайдерам об атаках на сеть.

ЛВС ОИЯИ содержит 7629 сетевых элементов и 13 897 IP-адресов, 6910 пользователей сети, 2465 пользователей сервиса mail.jinr.ru, 1489 пользователей электронных библиотек и 344 пользователя сервиса удаленного доступа.

Грид-среда ОИЯИ. Грид-инфраструктура ОИЯИ представлена центром уровня Tier-1 для эксперимента CMS на LHC и центром уровня Tier-2, который поддерживает целый ряд виртуальных организаций: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, BES, BIOMED, COMPASS, MPD, NOVA, STAR и др.

Система обработки данных в ОИЯИ Tier-1 для CMS состоит из 332 64-битных машин: двух CPU, шести 16-ядерных CPU, что составляет в общей сложности 6512 ядер для пакетной обработки и обеспечивает производительность 96,43 kH506. Система хранения состоит из дисковых массивов и долговременного хранилища данных на лентах, которые поддерживаются программным обеспечением (ПО) dCache-3.2 и Enstore 4.2.2. Общая полезная емкость дисковых серверов составляет 8,3 ПБ, лен-

точного робота IBM TS3500 — 11 ПБ. ПО Torque 4.2.10/Maui 3.3.2 (custom build) используется в качестве менеджера ресурсов и планировщика задач соответственно. ПО PhEDEx используется как инструмент управления размещением данных CMS. Для обработки данных используется стандартный стек программ проекта WLCG: 2×CREAM, 4×ARGUS, BDI top, BDI site, APEL parsers, APEL publisher, EMI-UI, 220×EMI-WN+gLExec-wn, 4×FTS3, LFC, WMS, L&B, glide-proxyrenewal. Система поддержки сервисов обеспечивает функционирование вычислительного сервиса, сервиса хранения данных, грид-сервисов, сервиса пересылки данных (FTS — File Transfer System), системы управления распределенными вычислениями (PBS — Portable Batch System), информационного сервиса (мониторинг сервисов, серверов, хранения, передачи данных, информационные сайты).

Центр уровня Tier-1 для CMS в ОИЯИ продемонстрировал стабильную работу в течение всего периода после его запуска в работу в полном объеме [1]. В 2018 г. выполнено 7 543 958 задач, обработано 173 594 млн событий, что составило 24,2% от общего числа событий эксперимента CMS, обработанных всеми центрами Tier-1. На рис. 1 показан вклад мировых центров 1-го уровня в обработку экспериментальных данных CMS за 2018 г. Сайт ОИЯИ занимает второе место в мире по своей производительности.

На рис. 2 показано распределение событий, обработанных в ОИЯИ в центре уровня Tier-1 CMS в 2018 г. по разным типам потоковой обработки данных (реконструкция, моделирование, повторная обработка, анализ и т. д.).

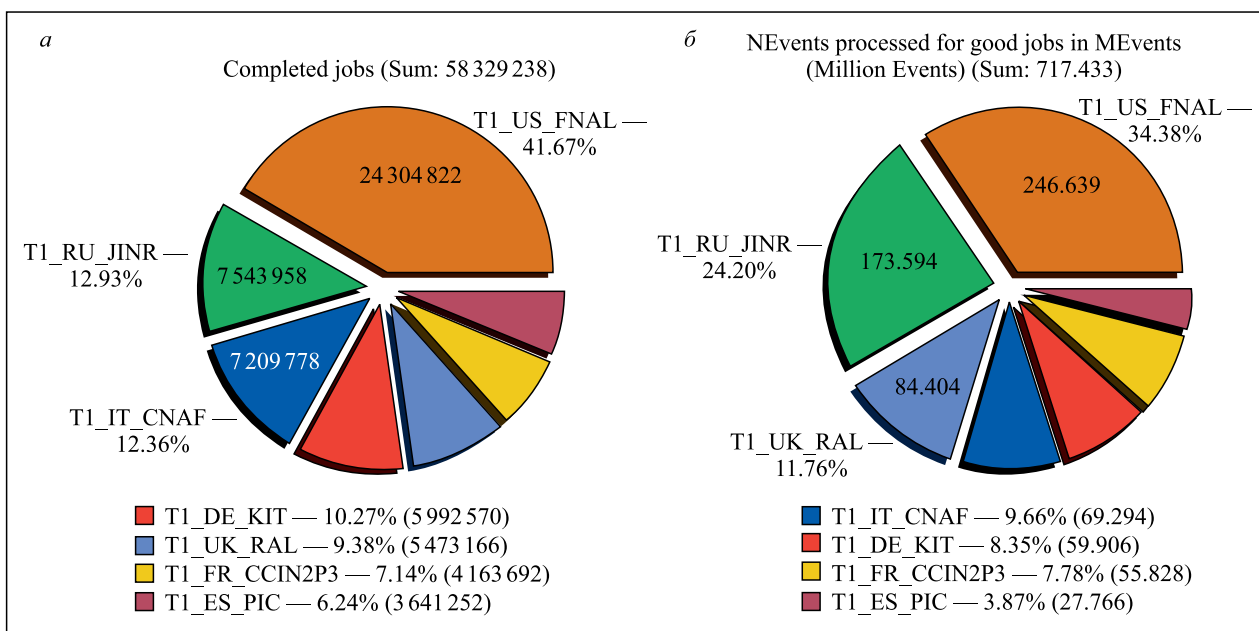


Рис. 1. Число заданий (а) и количество событий (б), обработанных для CMS Tier-1 (в млн событий) за 2018 г.

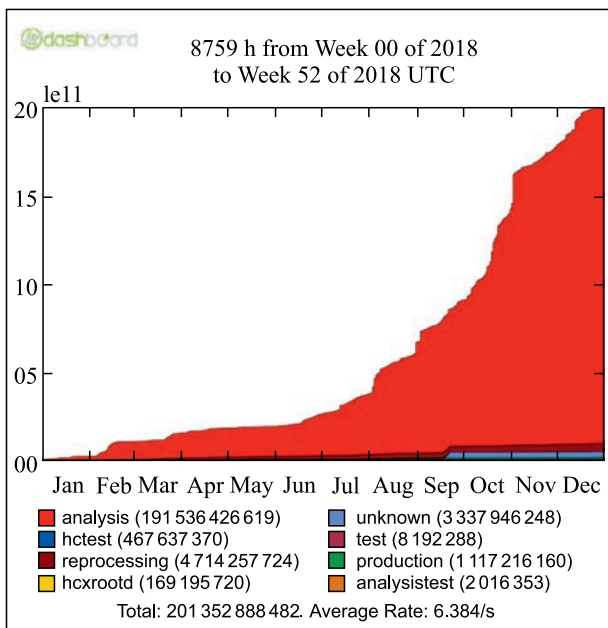


Рис. 2. Распределение событий, обработанных в ОИЯИ в центре уровня Tier-1 CMS в 2018 г. по типам обработки (реконструкция, моделирование, повторная обработка, анализ и т. д.)

Одной из основных функций центров уровня Tier-1 является обеспечение обмена данными со всеми мировыми сайтами, работающими на эксперимент CMS, и обеспечение хранения сырых экспериментальных и моделированных данных. В 2018 г. общий объем обмена данными с ленточным роботом составил 12,3 ПБ, из них записано 5,6 ПБ новых данных. Более активно использовалось дисковое хранилище: общий объем переданных данных составил 60,2 ПБ, из них 19,5 ПБ новых данных. На рис. 3 приведена статистика обмена данными Tier-1 CMS ОИЯИ с другими грид-центрами за 2018 г. Средняя

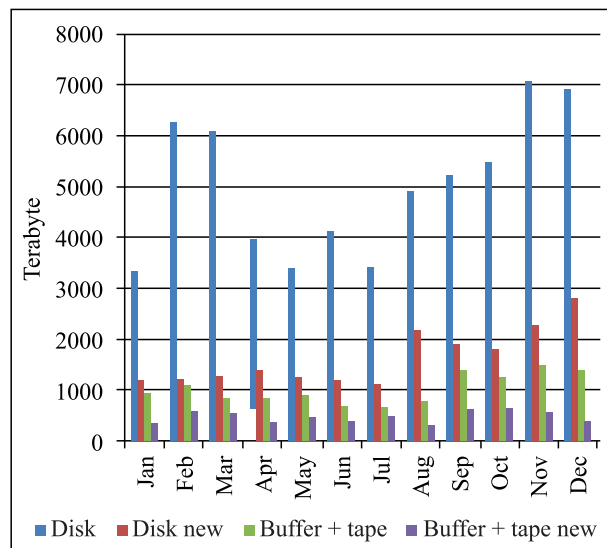


Рис. 3. Статистика обмена данными Tier-1 CMS ОИЯИ с другими грид-центрами за 2018 г.: Disk — все обмены с дисковым массивом (чтение и запись); Disk new — новые данные из общего объема (запись); Buffer + tape — все обмены с ленточным роботом (чтение и запись); Buffer + tape new — новые данные из общего объема, переданного на ленточный робот (запись)

скорость передачи данных в Tier-1 CMS ОИЯИ составляет 400–520 МБ/с.

Центр уровня Tier-2 в ОИЯИ обеспечивает обработку данных всех четырех экспериментов на LHC (ALICE, ATLAS, CMS, LHCb) и, кроме того, поддерживает целый ряд виртуальных организаций, не входящих в LHC (BES, BIOMED, COMPASS, MPD, NOVA, STAR, ILC). Вычислительные ресурсы центра Tier-2 состоят из 4128 ядер. Система хранения данных установлена в двух вариантах программного исполнения: две установки dCache и две установки XROOTD. Объем систем хранения и доступа

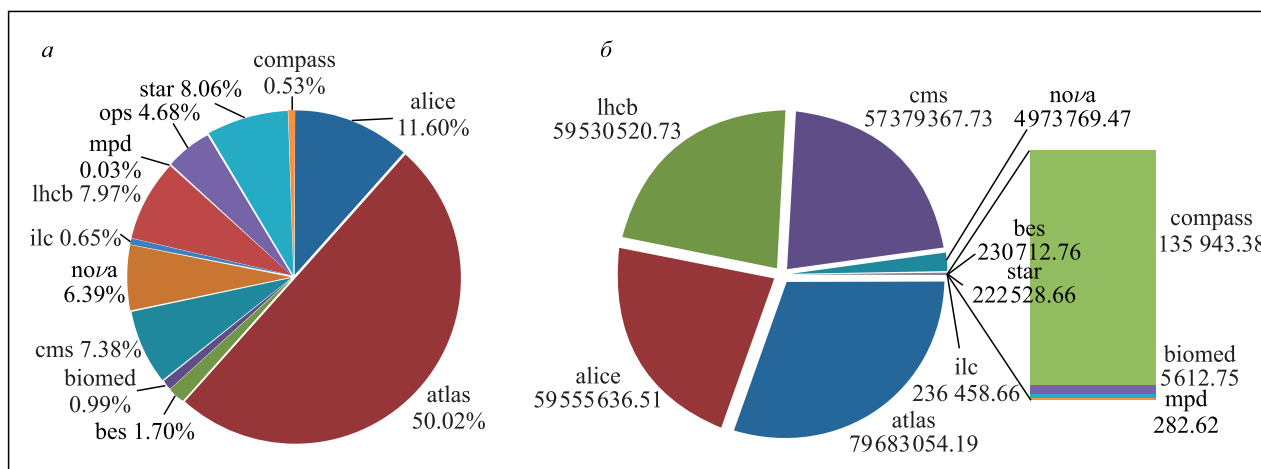


Рис. 4. Использование грид-сайта JINR-LCG2 в ЛИТ виртуальными организациями глобальной грид-инфраструктуры: а) распределение по числу задач; б) распределение по нормированному времени ЦПУ в HS06 часах

к данным составляет 2,7 ПБ. На рис. 4 приведены данные по использованию сайта Tier-2 (JINR-FCG2) в ЛИТ виртуальными организациями в рамках грид-проектов в 2018 г.

Высокопроизводительная система вычислений. МИВК обеспечивает проведение пользователями вычислений, в том числе параллельных, вне рамок грид-среды. Это необходимо как экспериментам

NOVA, PANDA, BES, NICA-MPD и др., так и локальным пользователям из лабораторий ОИЯИ. Все вычислительные мощности доступны пользователям ОИЯИ и пользователям грид-среды через единую систему пакетной обработки заданий. На рис. 5 приведено распределение по времени и количеству задач, выполненных на вычислительном кластере подразделениями Института и группами пользователей.

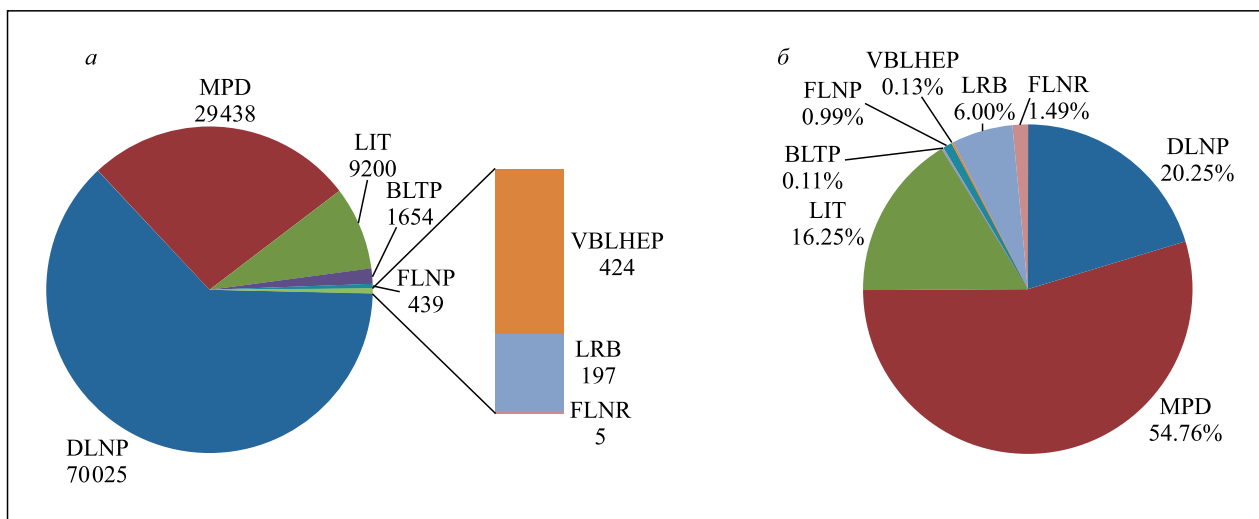


Рис. 5. Статистика использования вычислительного кластера подразделениями и экспериментами ОИЯИ без учета пользователей грид-среды: а) распределение по числу задач; б) распределение по нормированному времени ЦПУ в HS06 часах

Облачная среда. ОИЯИ участвует в большом количестве научно-исследовательских проектов, во многих из которых важным средством для получения значимых научных результатов выступают вычислительные ресурсы. В связи с этим объединение счетных мощностей организаций стран-участниц Института в некую единую информационно-вычислительную среду представляется важной и актуальной задачей, решение которой позволило бы существенно ускорить проведение научных исследований. Для эффективного использования локальных вычислительных ресурсов в каждой из участвующих в их объединении организаций созданы или создаются облачные инфраструктуры. В 2018 г. проводились работы по интеграции облаков каждой из партнерских организаций стран-участниц ОИЯИ в распределенную платформу на основе промежуточного ПО DIRAC (Distributed Infrastructure with Remote Agent Control) [2]. Облака организаций, интегрированные в распределенную информационно-вычислительную среду ОИЯИ, приведены на рис. 6.

В 2018 г. ресурсы облачной инфраструктуры ОИЯИ были увеличены с 728 ядер ЦПУ и 3 ТБ общего объема ОЗУ до 1572 ядер ЦПУ и 8 ТБ общего объема ОЗУ. Основными пользователями облачной

инфраструктуры являются ЛЯП, ЛИТ и эксперимент NOVA.

Разработан сервис, который предоставляет пользователям облака ОИЯИ возможность получения доступа к счетным ресурсам посредством проблемно-ориентированного веб-интерфейса, адаптированного для формирования вычислительной задачи, использующей конкретный прикладной пакет или их связку для работы в достаточно узкой области исследований. От пользователя данного сервиса требуется всего лишь указать в веб-интерфейсе значения для параметров его задачи и адрес для загрузки результатов счета [3]. Вся вычислительная часть будет выполнена на виртуальных машинах (ВМ) облачной инфраструктуры ОИЯИ. Схема и взаимосвязи компонентов данного сервиса представлены на рис. 7.

Разработан метод повышения эффективности использования облачных ресурсов [4], в основе которого лежит идея динамического перераспределения ВМ на физическом оборудовании. Реализована двухранговая стратегия распределения ВМ по узлам облачной инфраструктуры, что позволяет одновременно минимизировать количество простаивающих ресурсов облачной инфраструктуры и влияние перегрузок.



Рис. 6. Облака организаций, интегрированные в распределенную информационно-вычислительную среду ОИЯИ

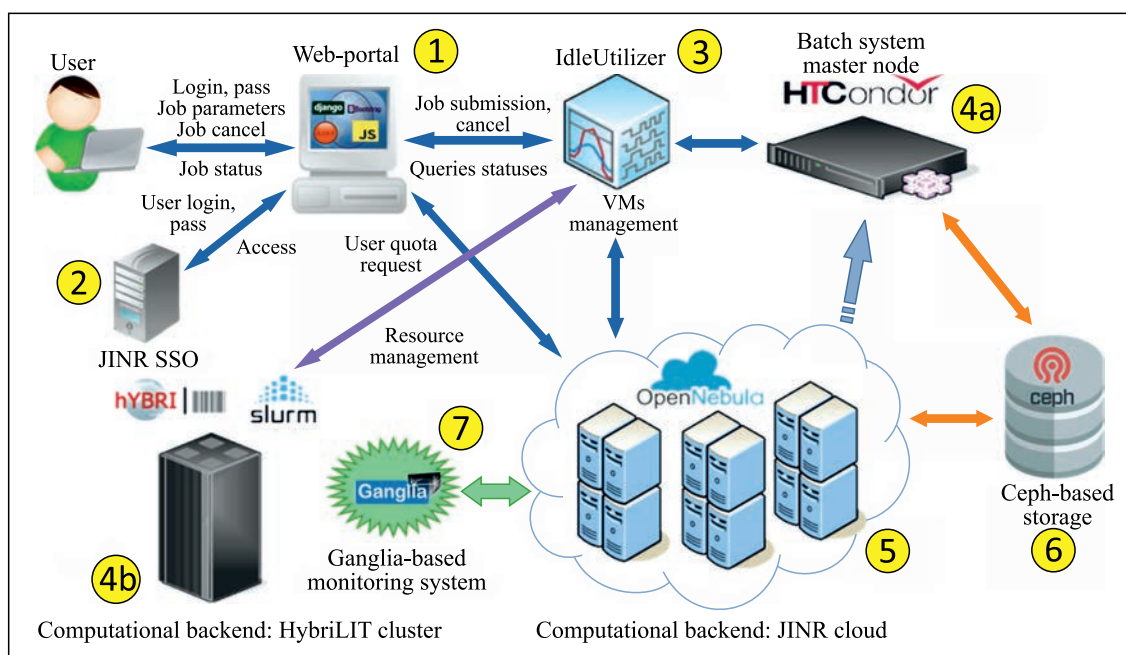


Рис. 7. Схема сервиса обеспечения доступа пользователям к счетным ресурсам посредством проблемно-ориентированного веб-интерфейса

Гетерогенная инфраструктура. В 2018 г. МИВК ОИЯИ пополнился новым высокопроизводительным компонентом — суперкомпьютером «Говорун» [5]. Суперкомпьютер — естественное развитие гетерогенной платформы HybriLIT — привел к существенному увеличению производительности как CPU-, так и GPU-компонента платформы. GPU-компонент суперкомпьютера включает в себя пять серверов NVIDIA DGX-1. В каждом сервере установлено во-

семь GPU NVIDIA Tesla V100, основанных на самой современной архитектуре NVIDIA Volta. Кроме того, один сервер NVIDIA DGX-1 имеет 40960 ядер CUDA, которые по своей вычислительной мощности эквивалентны 800 высокопроизводительным центральным процессорам. В DGX-1 используется целый ряд новых технологий, в том числе шина NVLink 2.0 с пропускной способностью до 300 Гбит/с.

В состав нового суперкомпьютера входит высокоплотная архитектура «РСК Торнадо» с прямым жидкостным охлаждением, разработанная специалистами российской группы компаний РСК. В ЛИТ установлены новые универсальные вычислительные шкафы «РСК Торнадо» с рекордной энергетической плотностью и системой прецизионного жидкостного охлаждения, сбалансированной для постоянной работы с высокотемпературным хладагентом (до +63 °С на входе в вычислительный шкаф). Благодаря работе в режиме «горячая вода» для данного решения удалось применить круглогодичный режим free cooling (24 × 7 × 365) с использованием только сухих градирен, работающих при температуре окружающего воздуха до +50 °С, а также полностью избавиться от фреонового контура и чиллеров. В результате среднегодовой показатель PUE-системы, отражающий уровень эффективности использования электроэнергии, составляет менее чем 1,03. То есть на охлаждение расходуется менее 3 % всего потребляемого электричества, что является выдающимся результатом для НРС-индустрии.

Основу вычислительных узлов составили серверные продукты Intel: самые мощные 72-ядерные серверные процессоры Intel® Xeon® Phi™ 7290, процессоры семейства Intel® Xeon® Scalable (модели Intel® Xeon® Gold 6154) и новейшие высокоскоростные твердотельные диски Intel® SSD DC P4511 с интерфейсом NVMe емкостью 1 ТБ. Для высокоскоростной передачи данных между вычислительными узлами в составе суперкомпьютера используется передовая технология коммутации Intel® Omni-Path, обеспечивающая скорость незаблокируемой коммутации до 100 Гбит/с, на основе 48-портовых коммутаторов Intel® Omni-Path Edge Switch 100 Series со 100%-м жидкостным охлаждением. Применение Intel® Omni-Path Architecture позволяет не только удовлетворить текущие потребности ресурсоемких приложений пользователей, но и обеспечить необходимый запас пропускной способности сети на будущее.

Пиковая производительность суперкомпьютера составляет 1 PFlops для операций с одинарной точностью и 500 TFlops — с двойной.

В настоящее время суперкомпьютер используется для решения задач, требующих массивно-параллельных расчетов в различных областях ядерной физики и физики высоких энергий, в частности в решеточной квантовой хромодинамике для исследования свойств адронной материи при высокой плотности энергии и барионного заряда и в присутствии сверхсильных электромагнитных полей, для математического моделирования взаимодействий антипротонов с протонами и ядрами с использованием генераторов DPM, FTF и UrQMD + SMM, развиваемых в ОИЯИ и представляющих интерес для эксперимента NICA-MPD, для моделирования динамики столкновений релятивистских тяжелых ионов,

а также для решения прикладных задач — расчета джозефсоновских переходов, моделирования динамики многочастичных бозонных систем в магнито-оптических ловушках, расчета поправок для матричного элемента в первом борновском приближении в случае реакции прямой ионизации атома гелия быстрым протоном с учетом различных моделей конечного состояния и др.

Средняя загрузка по вычислительным компонентам: компонента на базе Intel® Xeon® Scalable составляет 80,58 % (максимально — 89 %), на базе Intel® Xeon® Phi™ — 38,41 % (максимально — 74 %), компонента с ускорителями вычислений GPU — 73,58 % (максимально — 100 %). Всего за период эксплуатации всеми группами, проводящими расчеты на суперкомпьютере, было выполнено свыше 66 000 задач на всех вычислительных компонентах.

Система мониторинга. Для обеспечения надежной работоспособности МИВК в режиме 24 × 7 крайне важно мониторить все компоненты на трех уровнях: аппаратном, сетевом и сервисном. Разные компоненты МИВК требуют разного подхода к мониторингу, и едва ли найдется одна система мониторинга, способная удовлетворить всем требованиям и в то же время остаться гибкой для изменений. Создана и развивается многоуровневая система мониторинга МИВК, использующая разные технологии: Nagios, Icinga2, Grafana, а также системы, разработанные в ЛИТ. Grafana как средство визуализации используется в настоящее время только в вычислительном облаке ОИЯИ, но может быть принята и для других компонентов. Мониторинг сервисов Tier-1, мониторинг гетерогенного кластера HybriLIT и суперкомпьютера «Говорун» специально разработаны в ЛИТ.

В 2018 г. велись работы по доработке программного комплекса для моделирования распределенных систем хранения и обработки данных (SyMSim) с целью применения для совершенствования топологии вычислительной сети и производительности центра обработки данных Института физики высоких энергий Китайской академии наук. В качестве входных данных для моделирования использовались параметры из базы данных вычислительной инфраструктуры этого института, а также некоторые данные эксперимента BES-III. Первые результаты моделирования показали, что предложенный подход позволяет делать оптимальный выбор топологии сети, повышая ее производительность и экономя ресурсы [6].

В рамках работ по созданию системы хранения и обработки данных установок BM@N и MPD, входящих в состав комплекса NICA, разработана и реализована в виде программы новая схема макро моделирования, использующая вероятностный подход для оценки различных конфигураций оборудования, при котором определяются вероятности потерь информа-

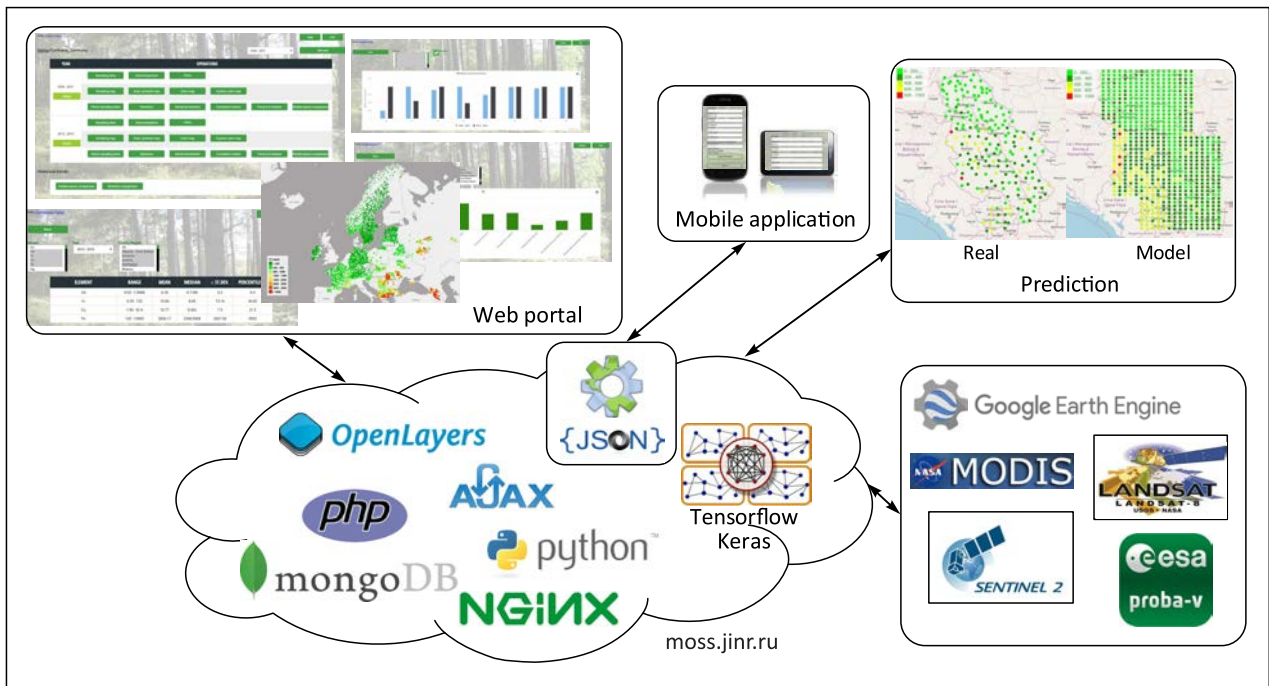


Рис. 8. Архитектура и технологии портала moss.jinr.ru

ции, поступающей с детекторов для каждой из этих конфигураций, и выбирается с учетом экономических факторов та, для которой эта вероятность не превышает заданный предел, а цена минимальна. Программа апробирована на расчетах работоспособности системы сбора и хранения данных установки VM@N от ценовых вложений в систему дисковой памяти промежуточного хранилища данных [7].

В ЛИТ разработан набор взаимосвязанных облачных сервисов и средств для управления и обработки данных биомониторинга, позволяющий упростить и автоматизировать этапы мониторинга, начиная от выбора мест для сбора образцов и заканчивая генерацией карт распределения загрязнений и прогнозированием изменений в окружающей среде. Это первое решение в России и Европе, позволяющее всем специалистам, вовлеченным в сеть биологического мониторинга, получать доступ к данным о загрязнении окружающей среды. В 2018 г. продолжено развитие архитектуры и технологий портала moss.jinr.ru (рис. 8). Добавлена возможность сравнения концентраций тяжелых металлов в образцах за разные годы как в виде диаграмм, так и в виде статистических выкладок. Оптимизирован модуль сравнения концентраций в странах и регионах. Доработан модуль вычисления геоиндексов — появилась возможность задавать уровень фонового загрязнения. Расширены возможности создания карт загрязнения пользователями платформы, и добавлена возможность импорта данных в Google Earth. Сформированы карты и статистические выкладки для атласа 2015–2016 гг. Разработана альфа-версия мобильного

приложения для фиксации данных о местах сбора образцов и загрузки их в платформу. Приложение позволит уменьшить количество ошибок при заполнении форм и предоставит потенциальную возможность проверки корректности определения типа мха участниками за счет использования методов машинного обучения.

В рамках работ по проекту РФФИ ведется разработка методов и средств использования высокопроизводительных вычислительных инфраструктур и программных приложений для обработки текстовой и графической информации о болезнях растений

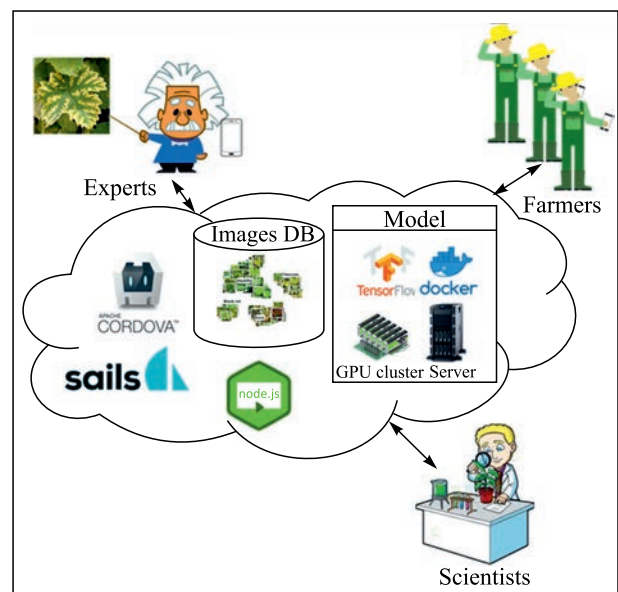


Рис. 9. Архитектура платформы для определения болезней растений

с целью минимизации потерь в сельском хозяйстве [8]. Была предложена архитектура платформы (рис. 9) для определения болезней растений, использующая современные программные и организационные технологии. Реализован веб-портал проекта (<http://pdd.jinr.ru/>). Разработана специальная модель глубокой сверточной сети с сиамской архитектурой, которая позволяет обойти проблему малой выборки. Точность распознавания на тестовой выборке изображений составила более 95 %.

Выполнен ряд работ по дальнейшему развитию системы управления проектом АРТ EVM для NICA: разработан сводный отчет «NICA — освоение средств» с возможностью детализации, который позволяет оперативно контролировать информацию о финансировании проекта, а также прогнозировать расходы на текущий год на основе экспертных оценок; разработан модуль учета платежей по контрактам; выполнены другие текущие работы для формирования справок и отчетов; осуществлялось текущее сопровождение системы.

В рамках задачи по дальнейшему развитию системы «1С Управление производственным предприятием» был создан модуль по закупкам компьютерной техники. Был улучшен модуль формирования регламентированной отчетности хозрасчетных подразделений. В первом полугодии 2018 г. были закуплены программы «1С:ERP Управление предприятием 2», «1С:ЗУП Зарплата и управление кадрами», проводятся их настройка и обучение сотрудников группы 1С использованию данных продуктов. На базе программы «1С:Розница» были запущены кассовые аппараты на стадионе «Наука» и в Доме физкультурника.

В рамках работ по развитию системы электронного документооборота (СЭД) «Дубна» разработаны и запущены в эксплуатацию 10 новых документов и 8 подготовлены к запуску в эксплуатацию. Разработаны три специализированных отчета мониторинга состояния и сроков прохождения документов в системе (рис. 10). Разработана и запущена в эксплуатацию версия СЭД «Дубна», адаптированная для мобильных устройств. Выполнен ряд работ по совершенствованию системной части СЭД «Дубна»: реализована и запущена в эксплуатацию аутентификация пользователей через единую систему аутентификации SSO ОИЯИ, выполнен полный рефакторинг средств задания и проверки прав доступа пользователей к документам для более гибкого управления правами доступа, разработаны средства автоматизации создания нового типа документов, его формы и шаблонов маршрутов согласования. При разработке СЭД «Дубна» использованы открытые технологии и программные средства: Java Servlet, Apache Tomcat, WALT, MySQL, JQuery, Linux. Быстрое и эффективное развитие системы достигнуто благодаря использованию принципов гибкой методологии разработки (agile software development).

Развитие информационных сервисов JINR Document Server ведется в рамках проекта JOIN2 (Just anOther INvenio INstance), нацеленного на объединение усилий организаций-партнеров для развития программной платформы Invenio с учетом их специфики. Партнерами проекта являются библиотеки научных центров и университетов Германии. К настоящему времени на тестовом сервере jds-join2 развернуты коллекции авторитетных записей «Организации», «Подразделения» и «Персоналии». Собраны

id	Документ	Отправлен на согласование	Содержание	Контрагент	Общий срок	История	Место нахождения	Дата завершения	Диспетчер закупки	Комментарии
29753	Заявка №3018	07.12.2018 16:35	Договор на керамические подшипники	ООО «ГЕРМЕС ТЕХНИЧЕСКИЕ...	22д	ок.>	СМТС, 2д4ч		Цымбулов М.И.	
Договор: нет										
25650	Заявка №2749	18.10.2018 18:18	Шиннопрод системы электропитания Бустер...	ООО «КЛМ инжиниринг»	41д	ок.>		17.12.2018	Цымбулов М.И.	
30794	Договор №100-1452	17.12.2018 16:04	- "-	КЛМ ИНЖИНИРИНГ ООО	16д	ок.>	СМТС, 1д0ч		Цымбулов М.И.	
25789	Заявка №2807	30.10.2018 08:21	Выполнение монтажных и ремонтных работ в...	ООО "Стройэнерго"	33д	ок.>		14.12.2018	Цымбулов М.И.	
31748	Договор №100-1477	21.12.2018 11:51	- "-	ООО «СТРОЙЭНЕРГО»	12д	ок.>	ОКС, 0д22ч Управление, 0д22ч		Цымбулов М.И.	
25652	Заявка №2748	18.10.2018 18:13	Распределительное устройство РУ-0,69кВ сис...	FRAKO-TERM, Польша	46д	ок.>		24.12.2018	Цымбулов М.И.	
32000	Договор №100-1481	24.12.2018 17:47	Распределительное устройство РУ-0,69кВ системы электропитания Бустера	FRAKO-TERM	10д	ок.>	СМТС, 2д3ч		Цымбулов М.И.	
31874	Заявка №3068	21.12.2018 16:01	- "-	ООО "ЭПП-Т"	6д	ок.>		09.01.2019	Цымбулов М.И.	
32703	Договор №9	14.01.2019 09:18	- "-	ООО "ЭПП-Т"	2д8ч	ок.>	ОКС, 0д0ч		Цымбулов М.И.	
32742	Заявка №9	15.01.2019 10:51	Контракт SENIS AG	SENIS AG	1д5ч	ок.>	СМТС, 0д2ч		Цымбулов М.И.	
Договор: нет										
31346	Заявка №3059	19.12.2018 11:47	Заявка на приобретение сверхпроводящего к...	В прошлый раз (июнь 2018, з...	12д	ок.>		15.01.2019	Цымбулов М.И.	
32791	Договор №100-1508	16.01.2019 10:11	- "-	II+C Warenvertriebsgesellschaft	0д7ч	ок.>	Управление, 0д1ч		Цымбулов М.И.	
32835	Заявка №17	16.01.2019 14:09	Трубы из ВЧ керамики с фланцами	Kunshan Guoli electronic techn...	0д3ч	ок.>	ЛФВЭ, 0д0ч		Цымбулов М.И.	

Рис. 10. Специализированный отчет мониторинга состояния заявок на закупку и договоров поставки

сведения для формирования справочника по грантам с участием ОИЯИ. В модуль ввода данных внедрены web-формы с расширенной функциональностью, что позволяет, в частности, автоматически импортировать метаданные в публикации из внешних библиографических баз данных по ряду идентификаторов, таких как DOI, arXiv, InsWoS.

В 2018 г. получено свидетельство о государственной регистрации компьютерной программы «Программный комплекс интеллектуального диспетчирования и адаптивной самоорганизации виртуальных вычислительных ресурсов». Авторами ее являются Н. А. Балашов, А. В. Баранов, И. С. Кадочников, В. В. Кореньков, Н. А. Кутовский, И. С. Пелеванюк. Программный комплекс предназначен для оптимизации потребления вычислительных ресурсов в облачных инфраструктурах и может быть использован провайдерами облачных ресурсов в инфраструктурах, построенных по модели IaaS на платформе OpenNebula. Комплекс включает: стратегию планирования ВМ, основанную на ранжировании ВМ и серверов, API для взаимодействия с платформой OpenNebula, административный веб-интерфейс, расширения net-snmp и соответствующие им модули опроса для Icinga 2, позволяющие собирать информацию о текущем потреблении ресурсов ВМ на базе KVM, а также контейнеров OpenVZ.

Продолжалась традиционная работа по сопровождению и развитию библиотеки программ JINRLIB. В библиотеку был включен комплекс про-

грамм DFM-POTM/DFM-POTM_MPI, реализующий построение ядро-ядерного оптического потенциала упругого рассеяния на основе модели двойного фолдинга и включающий написанную на языке C++ последовательную версию DFM-POTM и параллельную версию DFM-POTM_MPI, разработанную с использованием технологии MPI (авторы К. В. Лукьянов, Е. В. Земляная, М. В. Башагин, <http://www.info.jinr.ru/programs/jinrlib/dfm-potm/index.html>).

В 2018 г. проводились работы по сопровождению и развитию функциональности сервисов, предоставляемых пользователям портала «Визит-центр», обеспечивающего онлайн поддержку выполнения процесса приема визитеров в ОИЯИ (<https://visitcentre.jinr.ru/>) и модернизации веб-портала журналов ОИЯИ «Физика элементарных частиц и атомного ядра» (ЭЧАЯ) и «Письма в ЭЧАЯ» (<http://pepan.jinr.ru/>). Традиционно осуществлялись разработка, создание и поддержка веб-сайтов конференций, симпозиумов по заявкам лабораторий и других подразделений ОИЯИ (Европейская конференция по развитию циклотронов ЕСРМ-2018, <http://esrm2018.jinr.ru/>; Международный симпозиум по экзотическим ядрам EXON-2018, <http://exon2018.jinr.ru/>; организация хостинга с переносом всей информации прошлых конференций (с 2006 по 2017 г.) для создания сайта международной конференции «Математическое моделирование и вычислительная физика» ММСР-2019, <http://mmcp.jinr.ru/>).

МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ, МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Одним из основных направлений деятельности ЛИТ является обеспечение математической, алгоритмической и программной поддержки экспериментальных и теоретических исследований, проводимых в ОИЯИ. Ниже приведена краткая информация о некоторых из полученных результатов.

Разработаны и реализованы два быстрых параллельных алгоритма на основе глубоких нейронных сетей для реконструкции треков элементарных частиц при обработке экспериментальной информации с трекового GEM-детектора в эксперименте ВМ@N на коллайдере NICA. Первый алгоритм, использующий глубокие рекуррентные сети, показал эффективность 98 % на соударениях углерод–углерод, смоделированных программой Geant4. Второй алгоритм, основанный на оригинальном обобщении сверточной нейронной сети, показал высокую эффективность и скорость работы на модельных событиях без магнитного поля [9].

Новые вероятности рождения странных кварк-антикварковых и дикварк-антидикварковых пар были предложены и введены в модель FTF пакета Geant4. Было получено хорошее согласие между расчетами по улучшенной версии модели FTF и экспериментальными данными коллаборации NA61/SHINE по рождению K -мезонов, антипротонов и Λ -гиперонов в протон-протонных, протон-углеродных и π -мезон-углеродных взаимодействиях при различных начальных энергиях. В рамках улучшенной модели FTF были рассчитаны кинематические характеристики Λ -гиперонов и K -мезонов, рожденных в антипротон-протонных взаимодействиях, и проведено сравнение с экспериментальными данными при разных импульсах налетающих антипротонов. Было достигнуто хорошее согласие между экспериментальными данными и расчетами по модели FTF с новыми вероятностями и с вращающимися кварк-глюонными струнами. По-

казана применимость модели FTF для развития физической программы экспериментов Panda Phase0 и Panda Phase1 [10].

Реакции p , d , He, C+C, Ta и C+Ne, Cu при импульсе 4,2, 4,5 и 10 ГэВ/с на нуклон были смоделированы с помощью модели UrQMD, дополненной мультифрагментационной статистической моделью (SMM). Азимутальные корреляции пионов и протонов, рожденных в перечисленных реакциях, были рассчитаны и сравнены с экспериментальными данными, полученными в ОИЯИ на установках SKM-200-GIBS и в пропановой пузырьковой камере. Было достигнуто хорошее согласие между расчетами по UrQMD+SMM и экспериментальными данными [11].

Для эксперимента NICA-SPD было выполнено моделирование упругих p - p - и \bar{p} - p -взаимодействий в рамках единой систематики экспериментальных данных (USESD) в широкой области начальных энергий: от 100 МэВ до нескольких ТэВ. Выполнено моделирование неупругих протон-протонных взаимодействий с помощью FTF при разных энергиях налетающих протонов, и обоснована применимость моделей USESD и FTF для эксперимента NICA-SPD [12].

Метод разделенных формфакторов (РФФ) является эффективным методом исследования структуры полидисперсных систем фосфолипидных везикул на основе анализа данных малоуглового рассеяния. В этом подходе базовые параметры везикулярной системы определяются путем минимизации невязки между экспериментальными данными интенсивности малоуглового рассеяния и результатами РФФ-расчетов. Процедура минимизации основана на обобщенном методе наименьших квадратов, реализованном в программе FUMILI библиотеки JINRLIB. С использованием параллельной MPI-версии этой программы — PFUMILI — на кластере HybriLIT тестировалась эффективность параллельной реализации. Показано, что ускорение вычислений составляет 6–9 раз в зависимости от количества экспериментальных точек. На основе численного анализа данных малоуглового рассеяния нейтронов, полученных на малоугловом спектрометре ЮМО в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка, сделаны оценки структурных параметров везикул фосфолипидной транспортной системы [13].

На основе гибридной модели микроскопического оптического потенциала с использованием трех моделей плотности ядер $^{12,14}\text{Be}$ проведены расчеты наблюдаемых физических характеристик рассеяния этих ядер на углеродной и протонной мишенях. Получено хорошее согласие с экспериментальными данными по рассеянию $^{12,14}\text{Be} + p$ при энергии 700 МэВ. Показано, что для адекватного воспроизведения дифференциальных сечений рассеяния $^{12,14}\text{Be} + ^{12}\text{C}$ при энергии 56 МэВ/нуклон необходим учет вклада неупругих каналов. На основе микро-

скопического подхода рассчитаны импульсные распределения фрагментов развала ^8B в реакциях этого ядра с другими ядрами и полные сечения реакций ^6He и $^8,9\text{Li}$ с другими ядрами в широком диапазоне атомных масс и энергий [14].

Разработана параллельная версия программы расчета ядро-ядерного потенциала двойного фолдинга на базе технологии OpenMP. Проведенные расчеты на кластере HybriLIT подтверждают эффективность разработанной параллельной программы, сопоставимой с ранее разработанной MPI-реализацией [15].

Разработан однопараметрический метод конструкции кварк-адронного фазового перехода в сверхплотной и холодной ядерной материи, который имитирует влияние «макаронных» структур в смешанной фазе вещества. Свободным параметром в предложенном методе является дополнительное давление в окрестности критического значения химического потенциала, принадлежащее сосуществованию адронной и кварковой фаз материи. На основе данного метода численно исследована устойчивость решений третьего семейства компактных звезд по отношению к размягчению фазового перехода из-за возможного существования смешанной фазы. Найдено значение относительного добавочного давления — около 6%, при котором исчезает решение, соответствующее третьему семейству компактных звезд. Кроме того, в рамках рассматриваемых моделей показано, что, по крайней мере, более тяжелая звезда из зарегистрированного слияния пары нейтронных звезд GW170817 могла быть членом третьего семейства гибридных звезд [16].

В рамках непрерывно-атомистической модели, которая состоит из комбинации модели термического пика и метода молекулярной динамики, развит подход, на основе которого исследованы процессы в мишени из никеля при облучении ионами урана с энергией 700 МэВ. Для решения уравнений непрерывно-атомистической модели разработан программный комплекс, расчеты проводились на гетерогенной платформе HybriLIT [17].

Разработан новый метод построения полностью симметричных многомерных гауссовых квадратур на симплексе. Основная идея метода заключается в замене координат узлов на их симметричные комбинации, полученные по теореме Виета, что упрощает систему нелинейных алгебраических уравнений. Конструкция искомым систем уравнений выполняется аналитически с использованием оригинального авторского алгоритма, реализованного в системе Maple. Полученные системы до шестого порядка решаются с использованием встроенной процедуры PolynomialSystem, реализующей технику базисов Грёбнера, а системы более высокого порядка решаются с использованием разработанного символично-численного алгоритма на основе численных методов решения системы нелинейных алгебраических уравнений, реализованных в среде Maple-

Fortran. Полученные квадратурные формулы используются для решения самосопряженных эллиптических краевых задач в d -мерной полиэдральной конечной области методом конечных элементов высокого порядка точности [18].

Проведено исследование проблемы описания N -уровневой квантовой системы в терминах квазивероятностных распределений. Изучен вопрос о классификации квазивероятностных распределений Вигнера на фазовом пространстве, реализованном в виде симплектического флагового многообразия. Квазивероятностное распределение Вигнера строится в форме дуальной свертки матрицы плотности и ядра Стратоновича–Вейля [19]. Показано, что пространство модулей ядра Стратоновича–Вейля задается пересечением пространства орбит коприсоединенного действия группы $SU(N)$ и единичной $(N-2)$ -мерной сферы. Общий подход иллюстрируется подробным описанием пространства модулей 2-, 3- и 4-мерных систем.

Предложен новый алгоритм разложения на неприводимые компоненты перестановочных представлений конечных групп над полями нулевой характеристики. Алгоритм основан на том, что компоненты инвариантного скалярного произведения в инвариантных подпространствах являются операторами проектирования в эти подпространства, что позволяет свести проблему к решению систем квадратных

уравнений. В нулевой характеристике предложенный алгоритм существенно превосходит наиболее известный в вычислительной теории групп алгоритм, называемый MeatAxe. Текущая реализация алгоритма позволяет расщеплять представления размерностей до сотен тысяч [20].

Пакет программ TDDS (Thomas Decomposition of Differential Systems) на языке символьных вычислений Maple, предназначенный для алгебраического анализа систем нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, включен в библиотеку программ журнала «Computer Physics Communications» и в последнюю версию системы Maple (Maple 2018) [21].

Предложено байесовское автоматическое адаптивное квадратурное решение для численного интегрирования, которое учитывает три основных фактора: уточнение автоматической адаптивной схемы m -панели посредством использования квадратурных сумм, адаптированных к масштабам длины области интегрирования; быструю оценку сложности проблемы; использование более слабой точности из двух возможных (спецификации точности ввода и внутренних свойств подынтегральной функции соответственно). Учет вышеперечисленных факторов позволяет достичь максимально возможной точности решения при минимально возможном времени вычислений [22].

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

В ходе исследований, проводимых совместно с ЛНФ в рамках международной программы UNECE International Cooperative Program (ICP) Vegetation по мониторингу и прогнозированию процессов загрязнения воздуха в странах Европы и Азии, в облачном сервисе ОИЯИ была разработана облачная платформа для управления данными мониторинга. Для обеспечения надежного хранения, анализа, обработки и коллективного использования данных мониторинга были применены современные методы программного управления, статистики и машинного обучения, что позволило также использовать дан-

ные спутниковых изображений для прогнозирования атмосферного загрязнения некоторых тяжелых металлов в ряде европейских регионов. В частности, с помощью развитых моделей было успешно спрогнозировано загрязнение воздуха Sb в Норвегии и Mn в Сербии [23]. В настоящее время в системе содержится информация о более чем 6000 точек пробоотбора в 40 регионах различных стран Европы и Азии.

Метод объемных интегральных уравнений магнитостатики с линейной аппроксимацией намагниченности был применен для трехмерного моделирования магнитной системы эксперимента CBM (FAIR, GSI,

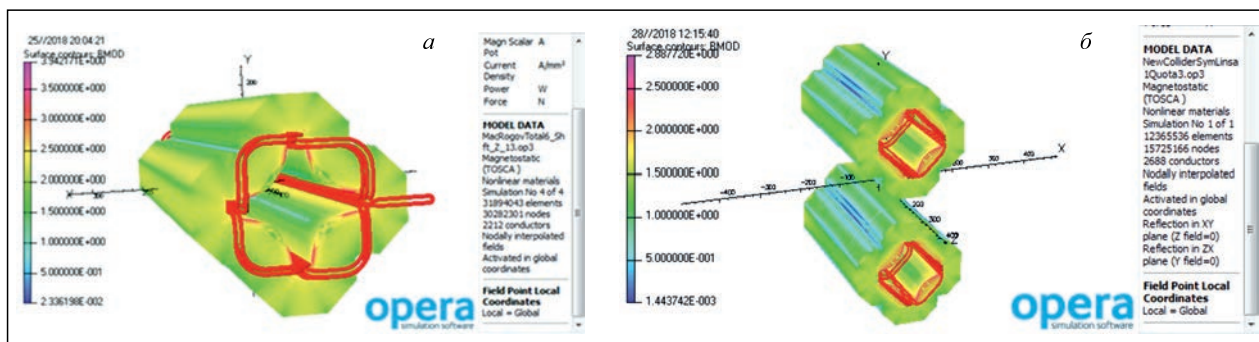


Рис. 11. а) 3D-модель квадрупольного магнита SIS100 (FAIR,GSI); б) 3D-модель квадрупольного магнита коллайдера NICA

Дармштадт) и квадрупольного магнита коллайдера NICA. Данный метод позволяет сузить решение задачи нахождения неизвестных до области, заполненной магнитным материалом. В процессе моделирования учитывалась симметрия магнитного поля, позволявшая сократить число неизвестных в 8 раз в случае магнита SIS100 эксперимента CBM и в 16 раз для квадрупольного магнита коллайдера NICA. Также было проведено исследование влияния отклонения параметров магнита на качество распределения поля в рабочей области магнита. Результаты моделирования представлены на рис. 11 [24].

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

В сотрудничестве с коллегами из Болгарии, Словакии и Японии проведен численный анализ фазовой динамики стека длинных джозефсоновских переходов с учетом индуктивной и емкостной связи между соседними джозефсоновскими переходами. Изучено влияние параметров модели на структуру вольт-амперной характеристики, мощность излучения и динамику флюксонов в отдельных джозефсоновских переходах внутри стека. Продемонстрировано сосуществование зарядовой бегущей волны с флюксонными состояниями. Такое состояние можно рассматривать как новое коллективное возбуждение в системе связанных джозефсоновских переходов. Показано, что наблюдаемое коллективное возбуждение приводит к уменьшению мощности излучения из системы [26].

В сотрудничестве с Прешовским университетом (Словакия) разработаны и реализованы алгоритмы и программное обеспечение для численного моделирования процессов взаимодействия воды и пористых материалов. Актуальность данных исследований обусловлена тем, что физические характеристики пори-

Развита методика среднесрочного прогнозирования суточных объемов пассажирских перевозок в Московском метрополитене. Она включает три варианта прогноза на основе: 1) искусственных нейронных сетей (ИНС); 2) использования сингулярно-спектрального анализа, реализованного в пакете «Гусеница»-SSA; 3) совместного использования ИНС и подхода «Гусеница»-SSA. Разработанные методы и алгоритмы позволяют проводить с приемлемой точностью среднесрочное прогнозирование пассажиропотока в Московском метрополитене [25].

стых материалов существенно зависят от насыщенности водой и влияют на прочностные, защитные и другие свойства данных материалов. Одним из наиболее распространенных типов пор в натуральных и искусственных строительных материалах являются так называемые слепые полужакрытые поры, или поры мешочного типа. Разработана трехмерная модель такого типа пор. Эта модель использовалась для моделирования процессов взаимодействия водяного пара и индивидуальной поры гибридным методом, сочетающим в себе метод молекулярной динамики и метод, основанный на использовании уравнения диффузии. Специальные исследования были проведены для определения зависимостей между различными реализациями термостатов и сохранением термодинамических и статистических характеристик системы водяной пар – пора. Было исследовано два типа эволюции системы водяной пар – пора: высыхание и намокание поры. Также было проведено полное исследование свойств диффузионного коэффициента, диффузионной скорости и других диффузионных параметров системы водяной пар – пора [27].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baginyan A., Balandin A., Belov S., Dolbilov A., Golunov A., Gromova N., Kadochnikov I., Kashunin I., Korenkov V., Mitsyn V., Pelevanyuk I., Shmatov S., Strizh T., Trofimov V., Voytishin N., Zhiltsov V. // CEUR Workshop Proc. 2018. V.2267. P. 1–10; <http://ceur-ws.org/Vol-2267/1-10-paper-1.pdf>.
2. Baranov A. V. et al. // CEUR Workshop Proc. 2018. V.2267. P. 257–261.
3. Balashov N. A., Bashashin M. V., Kuchumov R. I., Kutovskiy N. A., Sokolov I. A. // Modern Information Technologies and IT-Education. 2018. V. 14, No. 1. P. 61–72; doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.061-072>.
4. Balashov N. A., Baranov A. V., Kadochnikov I. S., Korenkov V. V., Kutovskiy N. A., Pelevanyuk I. S. // Modern Information Technologies and IT-Education. 2018. V. 14, No. 1. P. 101–110; doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.101-110>.
5. Adam Gh., Bashashin M., Belyakov D., Kirakosyan M., Matveev M., Podgainy D., Sapozhnikova T., Streltsova O., Torosyan Sh., Vala M., Valova L., Vorontsov A., Zaikina T., Zemlyanaya E., Zuev M. // CEUR Workshop Proc. 2018. V.2267. P. 638–644; <http://ceur-ws.org/Vol-2267/638-644-paper-122.pdf>.
6. Nechaevskiy A., Ososkov G., Pryahina D., Trofimov V., Weidong Li // Eur. Phys. J. Web Conf. <http://www.epj-conferences.org/>.

7. Trofimov V. V., Nechaevskiy A. V., Ososkov G. A., Pryahina D. I. // CEUR Workshop Proc. 2018. V. 2267. P. 393–399; <http://ceur-ws.org/Vol-2267/393-399-paper-75.pdf/>.
8. Uzhinskiy A., Goncharov P., Ososkov G., Nechaevskiy A. // CEUR Workshop Proc. 2018. V. 2267. P. 200–206; Goncharov P., Ososkov G., Nechaevskiy A., Uzhinskiy A., Nestsiaenia I. Advances in Neural Computation, Machine Learning, and Cognitive Research II. Springer, 2018. P. 151–159.
9. Baranov D., Mitsyn S., Goncharov P., Ososkov G. The Particle Track Reconstruction Based on Deep Learning Neural Networks. <https://arxiv.org/abs/1812.03859>.
10. Galoyan A., Ribon A., Uzhinsky V. Contributions to Proc. of IWNT-37, Rila, Bulgaria, 2018; arXiv:1810.09973 [hep-ph].
11. Chkhaidze L., Chlachidze G., Djobava T., Galoyan A., Kharkhelauri L., Togoo R., Uzhinsky V. FERMILAB-PUB-18-497-TD; arXiv:1808.02661 [nucl-ex]; Eur. Phys. J. C. 2018 (in press).
12. Uzhinsky V., Galoyan A. arXiv:1806.01534 [hep-ph].
13. Bashashin M. V. et al. // Eur. Phys. J. Web Conf. 2018. V. 173. P. 05003.
14. Lukyanov K. V., Sobolev Yu. G., Penionzhkevich Yu. E., Zemlyanaya E. V. // J. Phys. Conf. Ser. 2018. V. 1023. P. 012026.
15. Башашин М. В., Земляная Е. В., Лукьянов К. В. // Материалы Всерос. конф. с междунар. участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем». М.: РУДН, 2018. С. 148–251.
16. Ayriyan A. et al. // Phys. Rev. C. 2018. V. 97. P. 045802.
17. Batgerel B. et al. // Eur. Phys. J. Web Conf. 2018. V. 173. P. 03005.
18. Gusev A. A. et al. Lecture Notes in Comp. Science. 2018. V. 11077. P. 197–213.
19. Khvedelidze A., Abgaryan V. On the Family of Wigner Functions for N -Level Quantum System. arXiv: <https://arxiv.org/abs/1708.05981>. 2018.
20. Корняк В. В. // Записки научных семинаров ПОМИ. 2018. Т. 468. С. 228–248.
21. Gerdt V., Lange-Hegermann M., Robertz D. // Comp. Phys. Commun. 2019. V. 234. P. 202–215; <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2018.07.025>.
22. Adam Gh., Adam S. // Eur. Phys. J. Web Conf. 2018. V. 173. P. 01001; doi: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201817301001>.
23. Ужинский А. В., Ососков Г. А., Гончаров П. В., Фронтасьева М. В. // Компьютерные исследования и моделирование. 2018. Т. 10, № 4. С. 535–544; <http://crm.ics.org.ru/journal/article/2716/>.
24. Akishin P., Sapozhnikov A. // Eur. Phys. J. Web Conf. 2018. V. 173. P. 03001.
25. Иванов В. В., Осетров Е. С. // Письма в ЭЧАЯ. 2018. Т. 15, № 1(213). С. 88–108.
26. Rahmonov I. et al. // Eur. Phys. J. Web Conf. 2018. V. 173. P. 06011.
27. Nikonov E., Pavlus M., Popovicova M. // Eur. Phys. J. Web Conf. 2018. V. 173. P. 06009.



ЛАБОРАТОРИЯ РАДИАЦИОННОЙ БИОЛОГИИ

В 2018 г. в лаборатории продолжены исследования по теме 04-9-1077-2009/2020 «Исследования биологического действия тяжелых заряженных частиц различных энергий» по следующим направлениям: фундаментальные радиобиологические и радиационно-генетические исследования; исследования влияния ускоренных заряженных частиц на центральную нервную систему; математическое моде-

лирование радиационно-индуцированных эффектов; радиационные исследования на базовых установках ОИЯИ и в окружающей среде. Продолжены работы по теме 04-9-1112-2013/2019 «Исследование космического вещества на Земле и в ближайшем космосе; исследование биологических и геохимических особенностей ранней Земли».

РАДИАЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА И РАДИОБИОЛОГИЯ

Анализ структуры кластерных двунитевых разрывов ДНК при действии тяжелых ионов и γ -квантов. С использованием пучков ускорителей тяжелых ионов продолжены исследования закономерностей и механизмов формирования двунитевых разрывов (ДР) ДНК в клетках человека и млекопитающих при облучении *in vitro* и *in vivo*. ДР ДНК, как известно, представляют собой наиболее тяжелые повреждения генетического материала и являются молекулярным субстратом формирования летальных событий для клетки, различного вида структурных мутаций генов, лежащих в основе многих радиационно-индуцированных эффектов. Отличительной особенностью действия тяжелых заряженных частиц на генетические структуры клеток является формирование кластерных повреждений ДНК, в том числе близко расположенных двунитевых разрывов ДНК, что нехарактерно для ионизирующих излучений электромагнитной природы. Одиночные кластерные ДР ДНК включают не только разрывы главной цепи валентности — сахарофосфатного остова, но и модифицированные основания. Детальное изучение тонкой структуры таких повреждений является важной задачей, поскольку репарбельность разных по составу кластерных ДР весьма различна. Следует отметить, что в литературе отсутствуют сведения о структуре таких одиночных кластерных ДР ДНК, включающих модифици-

рованные основания. Использование специфичных флуоресцентных антител позволяет визуализировать белки-маркеры репарации ДР ДНК (53BP1) и белки, участвующие в репарации поврежденных оснований (OGG1). Места колокализации этих белков-маркеров представляют собой сайты формирования кластерных ДР ДНК. В экспериментах на клетках фибробластов человека в культуре с использованием методов иммуноцитохимии при действии ускоренных ионов ^{15}N и γ -квантов ^{60}Co были изучены закономерности формирования таких кластерных повреждений ДНК.

Качественный анализ полученных изображений окрашенных ядер фибробластов показал, что преобладающее большинство радиационно-индуцированных 53BP1-фокусов колокализуется с OGG1-фокусами, образуя 53BP1/OGG1-кластеры как при действии ускоренных ионов ^{15}N , так и при действии γ -квантов. На рис. 1 отражена кинетика формирования и элиминации 53BP1/OGG1-кластеров при действии ускоренных ионов ^{15}N и γ -квантов ^{60}Co . Количество 53BP1/OGG1-кластеров снижается со временем после облучения при действии излучений с высоким и низким значениями линейной передачи энергии (ЛПЭ). Однако скорость элиминации кластеров фокусов при действии ускоренных ионов замедлена по сравнению с действием γ -квантов, что отчетливо видно через 4 ч после облучения. Че-

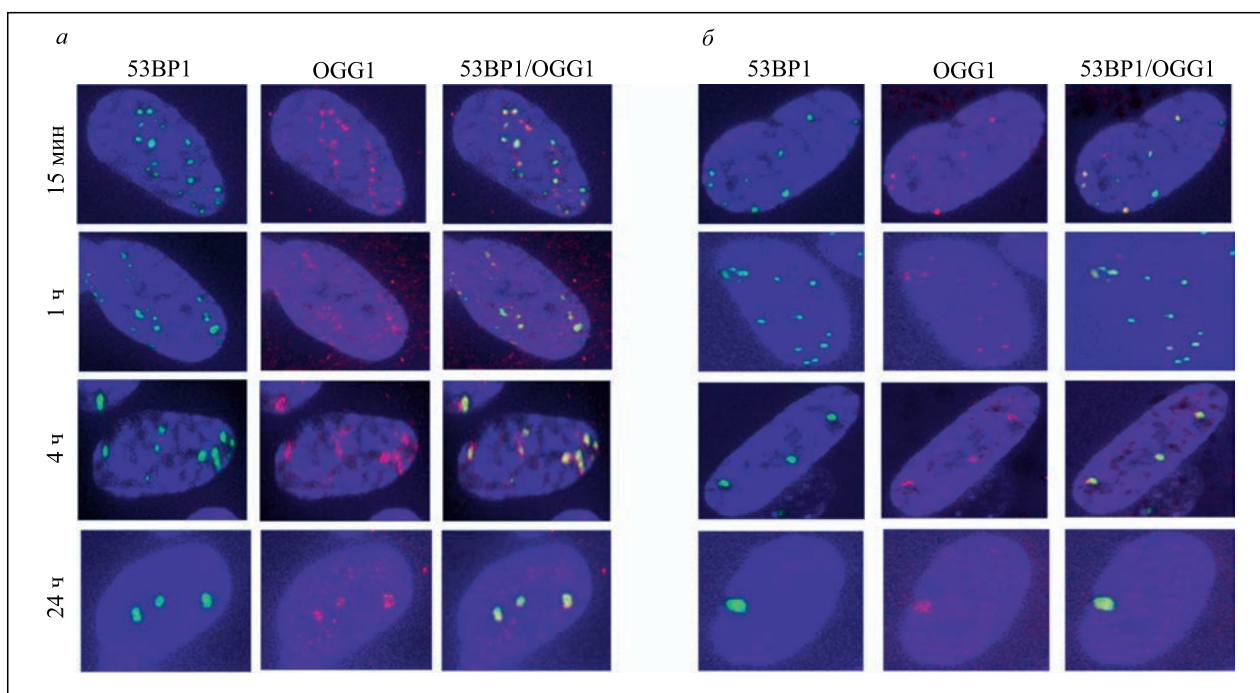


Рис. 1. Формирование кластерных ДР ДНК в ядрах фибробластов при действии излучений с высоким значением ЛПЭ (ускоренных ионов ^{15}N) (а) и низким значением ЛПЭ (γ -квантов ^{60}Co) (б)

рез 24 ч после облучения в ядрах фибробластов, облученных ускоренными ионами, уровень неэлиминированных 53BP1/OGG1-кластеров выше по сравнению с γ -квантами. Полученные данные свидетельствуют о затруднении процессов репарации кластерных ДР ДНК, индуцированных ионами ^{15}N [1–6].

С целью исследования возможных причин замедления процессов восстановления кластерных ДР ДНК при действии ионов ^{15}N был проведен сравнительный анализ структуры 53BP1/OGG1-кластеров при действии ускоренных ионов ^{15}N и γ -квантов ^{60}Co (рис. 2). Исследования показали, что индуцированные γ -квантами кластеры содержат до 6 фокусов 53BP1 и до 7 фокусов OGG1. Подавляющее большинство кластеров включает 1–5 фокусов 53BP1 и 1–4 фокуса OGG1 (рис. 2, а), в то время как кластеры, индуцированные действием ионов ^{15}N , содержат до 9 фокусов 53BP1 и до 11 фокусов OGG1, а подавляющее большинство кластеров состоит из 1–6 фокусов 53BP1 и 2–8 фокусов OGG1 (рис. 2, б).

Полученные данные наглядно демонстрируют усложнение структуры 53BP1/OGG1-кластеров и, соответственно, структуры кластерных ДР ДНК при действии излучения с высокой ЛПЭ за счет увеличения количества индивидуальных повреждений разного типа в составе кластера. Представленные на рис. 2 гистограммы демонстрируют сохранение сложной структуры вплоть до 24 ч после облучения обоими видами излучения, что свидетельствует о затруднении репарации всех типов повреждений, входящих в кластер. В ходе исследований проведен анализ структуры кластеров фокусов, зарегистриро-

ванных после облучения γ -квантами и ускоренными ионами ^{15}N . Было выделено три группы кластеров. Первая группа включала кластеры, в которых количество OGG1-фокусов превышает число 53BP1-фокусов, вторая — в которых число фокусов OGG1 и 53BP1 совпадает, а третья группа — в которых количество OGG1-фокусов меньше фокусов 53BP1.

Из материалов, представленных на гистограмме рис. 3, видно, что при действии γ -квантов и ускоренных ионов выявляется большое число кластеров с равным количеством фокусов (40–50 % и 30–40 % соответственно). Однако число кластеров, относящихся к 1-й и 3-й группам, существенно различается при использовании излучений с разной ЛПЭ. Это может свидетельствовать о том, что при действии ускоренных ионов в составе подавляющего большинства кластеров (более 50 %) на один ДР ДНК приходится несколько повреждений оснований, в то время как при действии γ -квантов в 40 % кластеров на один ДР ДНК приходится менее одного повреждения основания.

Полученные данные свидетельствуют о том, что излучения с низким и высоким значениями ЛПЭ индуцируют принципиально разные по составу кластерные ДР ДНК.

Формирование двунитевых разрывов ДНК в клетках центральной нервной системы млекопитающих.

С использованием метода ДНК-комет предпринято изучение закономерностей формирования ДР ДНК в структурах центральной нервной системы (ЦНС) грызунов. В гомогенатах тканей гиппо-

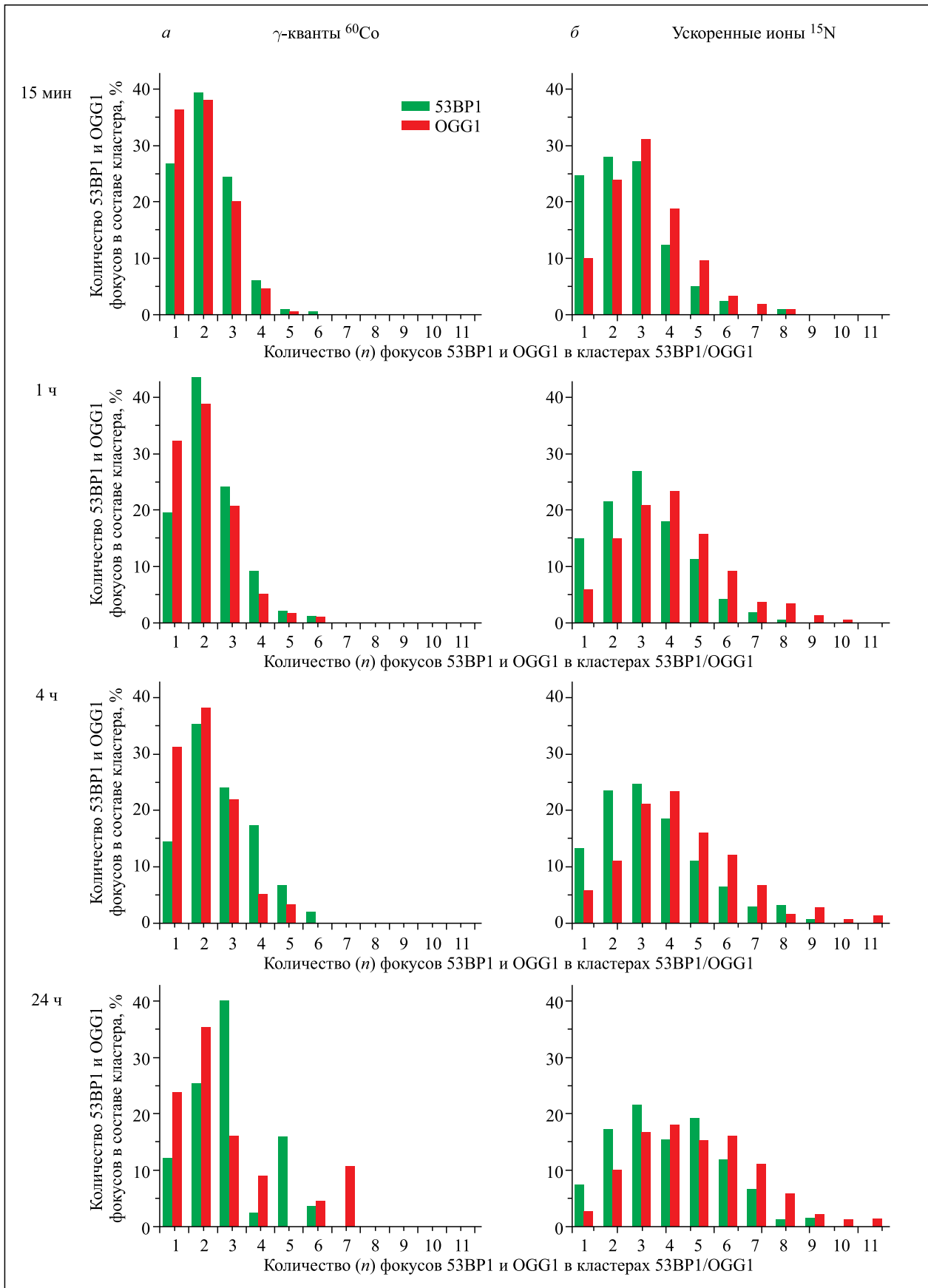


Рис. 2. Распределение фокусов 53BP1 и OGG1 по кластерам 53BP1/OGG1 в ядрах фибробластов при действии γ -квантов ^{60}Co (а) и ускоренных ионов ^{15}N (б)

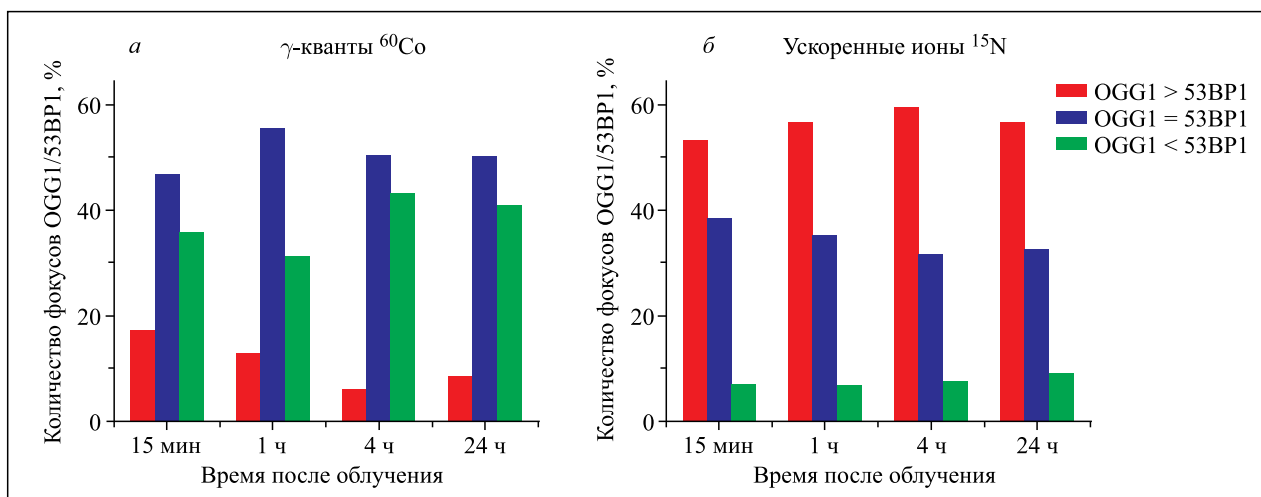


Рис. 3. Соотношения фокусов OGG1 и 53BP1 в кластерах, индуцированных действием γ -квантов ^{60}Co (а) и ускоренных ионов ^{15}N (б)

кампа мышей исследована зависимость индукции ДР ДНК от дозы ионизирующих излучений с разной ЛПЭ. В экспериментах были использованы ускоренные с различной энергией ионы азота и γ -кванты ^{60}Co . На рис. 4 представлена дозовая зависимость момента хвоста комет при облучении клеток ионами азота с разными значениями ЛПЭ и γ -квантами. Видно, что для всех использованных видов излучений наблюдается линейный характер выхода повреждений ДНК, а с увеличением ЛПЭ излучения возрастает эффективность индукции ДР ДНК.

На основании полученных данных были определены значения относительной биологической эффективности ускоренных ионов, определяемые как от-

ношение доз, индуцирующих равные эффекты при γ -облучении и при действии ускоренных тяжелых ионов. Для ионов ^{15}N с ЛПЭ, равной 71 и 160 кэВ/мкм, значения коэффициента относительной биологической эффективности (ОБЭ) соответственно составляют 1,2 и 1,5.

Проведен сравнительный анализ кинетики репарации ДР ДНК в клетках гиппокампа мышей при облучении *in vitro* γ -квантами и ускоренными ионами азота. На рис. 5 виден экспоненциальный характер всех использованных видов излучений. Уровень повреждений, индуцированных ускоренными ионами с ЛПЭ, равной 160 кэВ/мкм, превышает значения, выявляемые при γ -облучении и при действии ионов азота с меньшей ЛПЭ. Через 24 ч после облучения

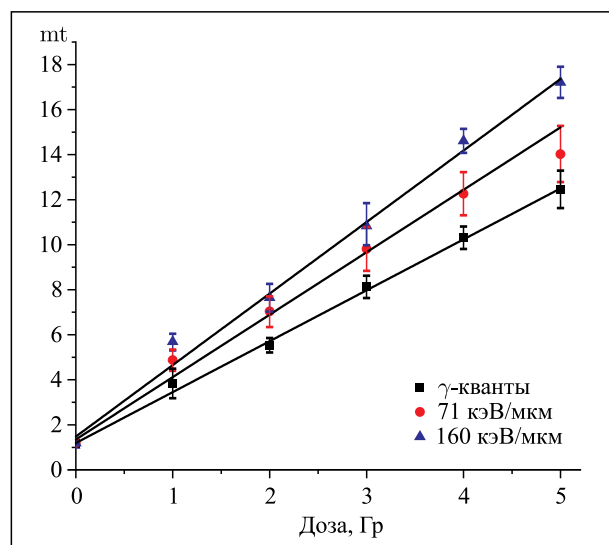


Рис. 4. Дозовая зависимость индукции ДР ДНК в клетках гиппокампа мышей при действии γ -квантов и ускоренных ионов ^{15}N с ЛПЭ 71 и 160 кэВ/мкм *in vitro*

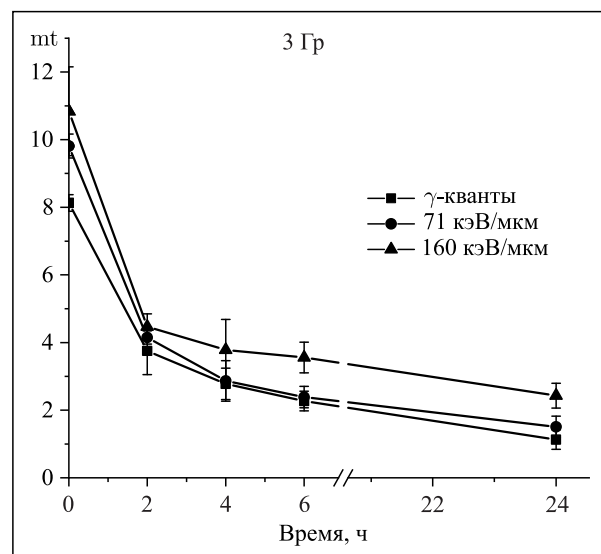


Рис. 5. Кинетика репарации ДР ДНК в клетках гиппокампа мышей при облучении γ -квантами ^{60}Co и ускоренными ионами ^{15}N с ЛПЭ 71 и 160 кэВ/мкм в дозе 3 Гр *in vitro*

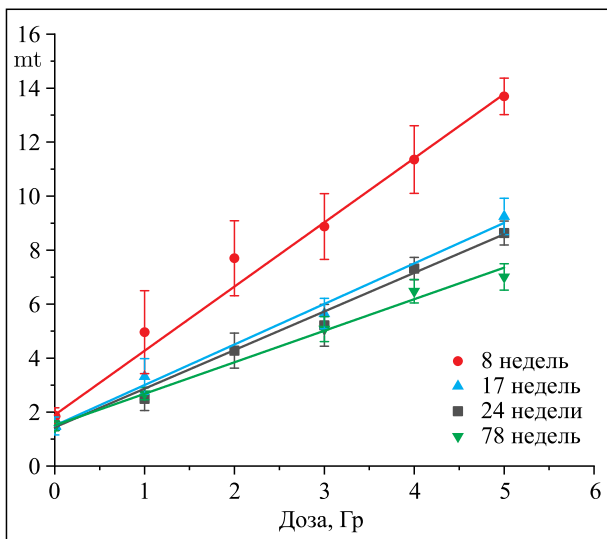


Рис. 6. Дозовая зависимость индукции ДР ДНК в клетках гиппокампа мышей при тотальном облучении γ -квантами ^{60}Co особей разного возраста (8, 17, 24, 78 недель) *in vivo*

ионами азота с ЛПЭ, равной 160 кэВ/мкм, количество остаточных повреждений превышает контрольный уровень в 2 раза. Полученные результаты отражают функционирование в облученных клетках быстрой (около 2 ч) и медленной (до 24 ч и более) фаз репарации ДР ДНК.

В специальной серии экспериментов была изучена индукция ДР ДНК в клетках гиппокампа мышей разного возраста при облучении *in vivo* γ -квантами ^{60}Co . Полученные материалы (рис. 6) свидетельствуют о влиянии возраста экспериментальных животных на формирование повреждений в генетических структурах нейронов ЦНС. Количество по-

вреждений, формирующихся у молодых животных (8 недель), существенно больше, чем у взрослых особей. Это может быть связано с тем, что количество незрелых и пролиферирующих нейронов в гиппокампе молодых животных примерно в 10 раз больше, чем у взрослых особей. Количество повреждений ДНК у животных, чей возраст составлял 17 и 24 недели, практически одинаково для каждой дозы облучения. Количество ДР ДНК у 78-недельных мышей в 2 раза меньше, чем у 8-недельных животных при γ -облучении в дозе 5 Гр. Таким образом, полученные *in vivo* результаты свидетельствуют о том, что возраст экспериментальных животных влияет на радиочувствительность нейрональных элементов.

Радиационно-индуцированные эффекты облучения молодых нейрональных элементов были также исследованы в экспериментах с использованием первичной культуры гиппокампа крыс. Для получения культуры нейронов гиппокампа использовали эффективный ингибитор синтеза ДНК 1- β -D-арабинофуранозилцитозин (АраЦ) в концентрации 3 мМ. Выявлено, что инкубирование первичной культуры в течение 24 ч в условиях влияния АраЦ приводит к гибели значительной части популяции астроцитов (более 90%). Изучено действие γ -квантов ^{60}Co на первичную культуру гиппокампа крыс как с добавлением, так и без добавления АраЦ. Отмечено, что через 1 ч после облучения наблюдался максимальный уровень формирования $\gamma\text{H2AX/53BP1}$ -фокусов в нейронах гиппокампа (рис. 7). Формирование ДР ДНК в астроцитах определялось по фосфорилированному гистону H2AX (γH2AX). Максимальный выход γH2AX -фокусов в данном виде клеток наблюдался через 1 ч после воз-

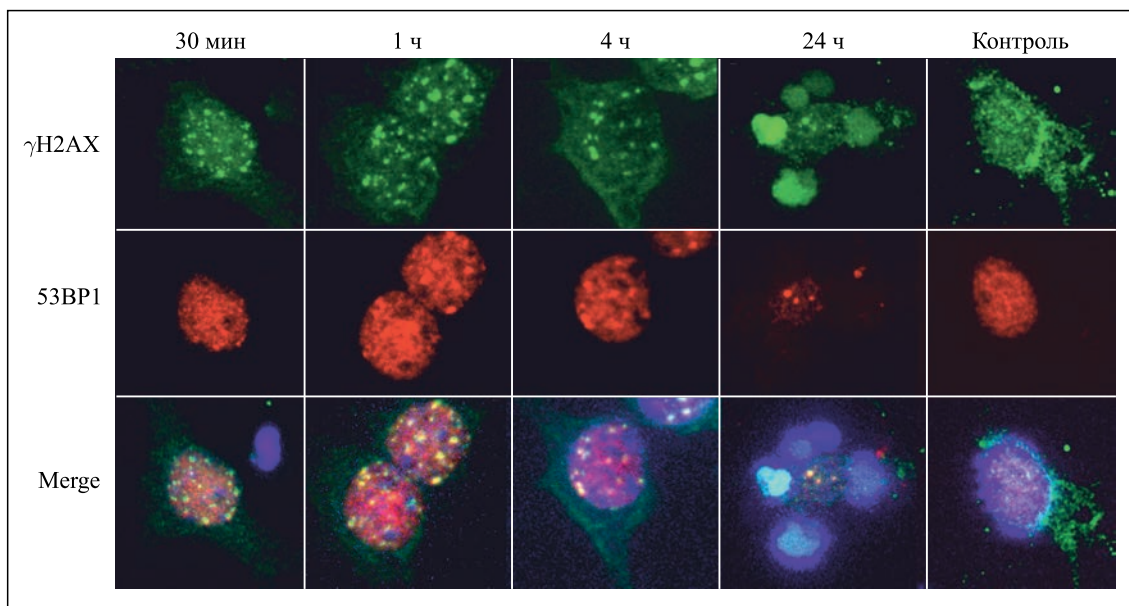


Рис. 7. Кинетика формирования $\gamma\text{H2AX/53BP1}$ -фокусов в нейронах культуры гиппокампа крыс *in vitro* с добавлением АраЦ после воздействия γ -квантов ^{60}Co в дозе 3 Гр (1000-кратное увеличение)

действия. Через 24 ч после облучения отмечена эффективная элиминация фокусов как в нейронах, так и в астроцитах гиппокампа. В то же время в нейронах наблюдались отдельные неотрепарированные γ H2AX/53BP1-фокусы. По окраске ядер DAPI выявлен повышенный уровень пикнотических ядер, что свидетельствует о высоком уровне апоптотической гибели клеток в пострadiационном периоде [7, 8].

Формирование двунитевых разрывов ДНК в нейронах головного мозга крыс при действии ускоренных ионов криптона (^{36}Kr). На парафиновых срезах головного мозга крыс методом иммуногисто-

химического окрашивания с использованием специфичных к белкам γ H2AX и 53BP1 антител изучена индукция и репарация двунитевых разрывов ДНК в гиппокампальной формации при действии ускоренных ионов ^{36}Kr с энергией 2,46 ГэВ/нуклон. Выявлено формирование сложных кластерных ДР ДНК в различных структурах этой формации центральной нервной системы в различные сроки после воздействия тяжелых ядер (рис. 8). Установлено, что большая часть γ H2AX/53BP1-фокусов находится в составе сложноорганизованных кластеров ($\sim 80\%$) и локализуется в сайтах визуализированных репарационных белков ($\sim 75\%$) по ходу треков тяжелых заря-

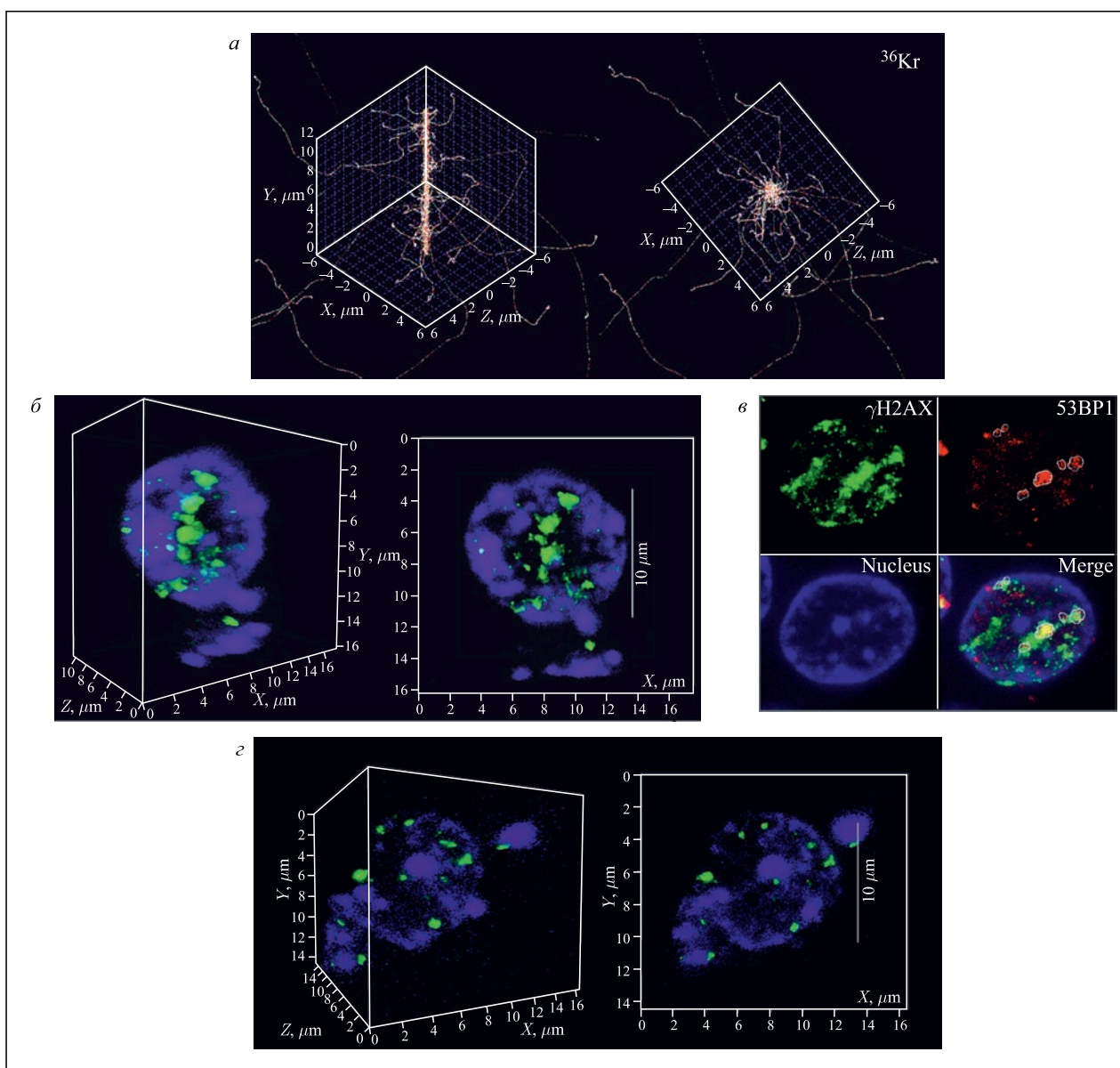


Рис. 8. Визуализация трека иона ^{36}Kr в ядре клетки зубчатой фасции методом иммуногистохимического окрашивания. а) Симуляция структуры трека иона ^{36}Kr ($E = 2,58$ ГэВ/нуклон, ЛПЭ 250 кэВ/мкм) RITRACK 3.1 NASA. б) Сформированный ионем криптона трек γ H2AX-фокусов (зеленый цвет), ядро и окрашенный хроматин (синий). в) Визуализация трека иона ^{36}Kr в клетке подобласти CA1 через 1 ч после облучения. з) Визуализация трека протона в ядре клетки зубчатой фасции методом иммуногистохимического окрашивания

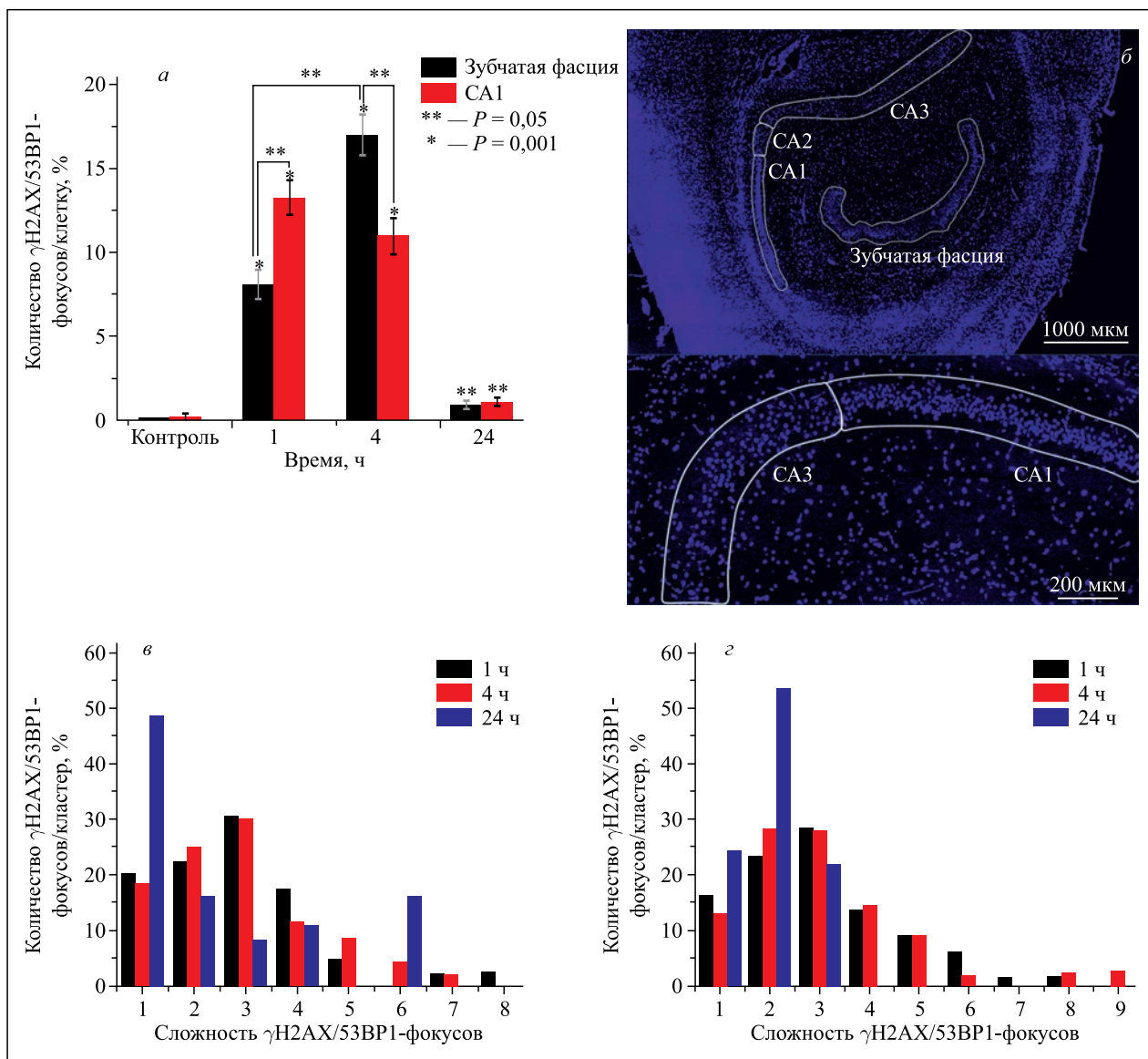


Рис. 9. Кинетика формирования и элиминации γ H2AX/53BP1-фокусов после облучения ионами ^{36}Kq в клетках зубчатой фасции и подобласти CA1 гиппокампальной формации. Представлено среднее значение \pm стандартная ошибка среднего. а) Статистически достоверная разница между количеством γ H2AX/53BP1-фокусов в подобласти CA1 и зубчатой фасции гиппокампальной формации наблюдается через 1 и 4 ч после облучения ($P = 0,05$). Статистически достоверная разница в количестве γ H2AX/53BP1-фокусов наблюдается между 1 и 4 ч после облучения зубчатой фасции. Статистически значимые различия в сравнении с необлученным контролем наблюдаются через 1 и 4 ч при $P = 0,001$, через 24 ч — при $P = 0,05$. б) Анатомия гиппокампальной формации. в, з) Сложность формируемых кластеров фокусов γ H2AX/53BP1 после облучения ионами ^{36}Kq в клетках зубчатой фасции (в) и подобласти CA1 (з) гиппокампальной формации. Представлено среднее значение по различному составу формируемых γ H2AX/53BP1-кластеров. На оси абсцисс отложено количество субфокусов, входящих в индивидуальный γ H2AX/53BP1-кластер, на оси ординат — количество кластеров выделенного состава из всего объема проанализированных γ H2AX/53BP1-фокусов, выраженное в процентах [9–11]

женных частиц. Показано, что через 24 ч пострадиационной инкубации происходит эффективная элиминация радиационно-индуцированных γ H2AX/53BP1-фокусов в клетках зубчатой фасции и подобласти CA1 гиппокампальной формации (рис. 9). В клетках зубчатой фасции пик образования γ H2AX/53BP1-фокусов наблюдается через 4 ч после облучения.

Разработка метода повышения эффективности биологического действия ионизирующих излучений в условиях влияния радиомодификаторов. В ЛРБ ранее было показано, что в клетках, облученных γ -квантами и частицами с высокой ЛПЭ, в условиях влияния ингибиторов синтеза ДНК 1- β -D-арабинофуранозилцитозина (АраЦ) и гидро-

ксимочевины (ГМ) в разной степени модифицируется выход ДР ДНК в пострадиационный период. При γ -облучении в условиях влияния модифицирующих агентов выход ДР ДНК значительно возрастает в ходе пострадиационной инкубации лимфоцитов и клеток человека в культуре. В то же время при действии ускоренных тяжелых ионов модифицирующее действие агентов было меньшим. Их влияние на формирование ДР ДНК обусловлено тем, что АраЦ представляет собой эффективный ингибитор ДНК-полимеразы α и в меньшей степени β , ведущих репаративный синтез ДНК. Гидроксимочевина, являясь ингибитором рибонуклеотидредуктазы, влияет на внутриклеточный пул нуклеотидов, в частности, цитозина и снижает его. В результате этого происходит длительная фиксация возникающих прямых однонитевых разрывов ДНК (ОР ДНК), формирующихся в ходе эксцизионной репарации. Такие повреждения могут являться сайтами формирования энзиматических ДР ДНК в результате атаки нити, оппозитной поврежденному участку, эндонуклеазами типа S_1 . С учетом того, что АраЦ (цитарабин) и ГМ являются официальными препаратами и используются в онкологической клинике, представляется крайне важным изучить влияние этих препаратов на формирование молекулярных нарушений в клетках человека при действии ионизирующих излучений разного качества, прежде всего протонов в пике Брэгга. Клиническое применение данных препаратов в настоящее время основано на ингибировании прохождения кле-

ток по циклу в S-фазе. С учетом ранее полученных данных о модифицирующем влиянии этих агентов на выход ДР ДНК при действии ионизирующих излучений разного качества, а также возможных перспектив их практического применения было исследовано влияние этих агентов на биологическую эффективность пучка протонов в модифицированном пике Брэгга.

Для изучения частоты образования ДР ДНК в клетках при действии протонов в обычных условиях и в присутствии модифицирующих агентов, а также ускоренных ионов бора были использованы иммуноцитохимический и иммуногистохимический методы определения γ H2AX/53BP1-фокусов. Наряду с этим использовался метод ДНК-комет. Было установлено, что при облучении клеток протонами в отсутствие модификаторов наблюдается увеличение количества радиационно-индуцированных фокусов (РИФ) с последующим их снижением в пострадиационный период. Наибольшее количество фокусов формируется через 1 ч после лучевого воздействия, и их количество через 24 ч минимально. Совершенно иной тип кинетики формирования γ H2AX/53BP1-фокусов наблюдается при облучении клеток протонами в присутствии модификаторов. Влияние АраЦ и ГМ такое, что со временем пострадиационной инкубации клеток происходит не уменьшение количества РИФ, а их резкое увеличение, которое сохраняется до 24 ч наблюдения (рис. 10).

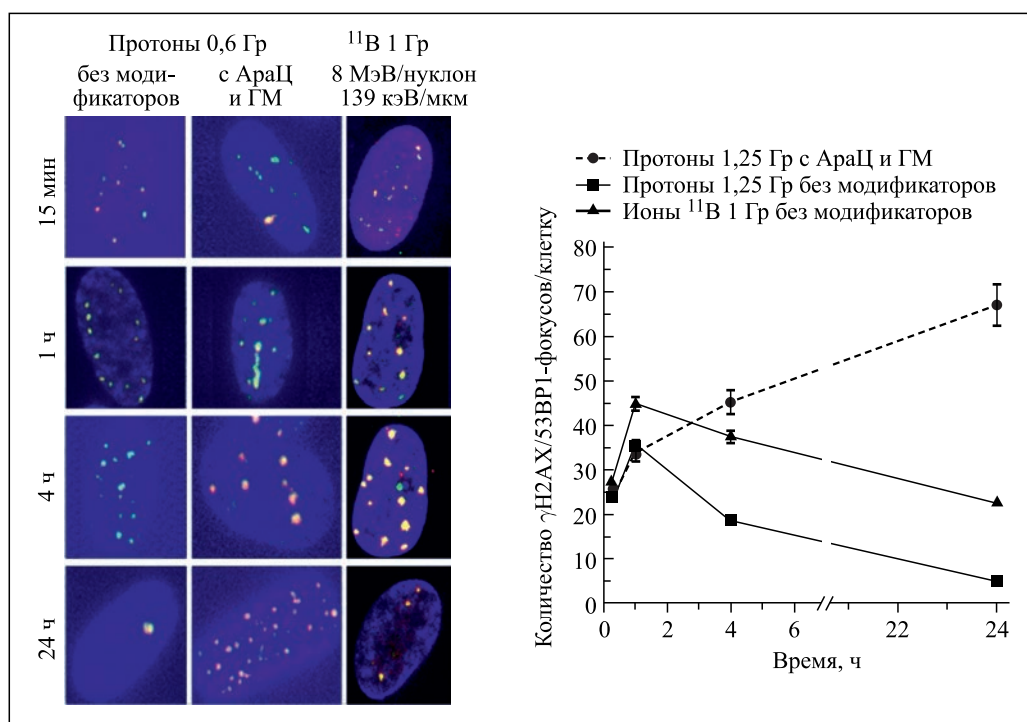


Рис. 10. Изображения индивидуальных γ H2AX/53BP1-фокусов и кинетика их формирования и элиминации в ядрах клеток человека при действии протонов в пике Брэгга и ускоренных ионов бора с энергией 8 МэВ/нуклон при облучении в обычных условиях и в присутствии АраЦ и ГМ

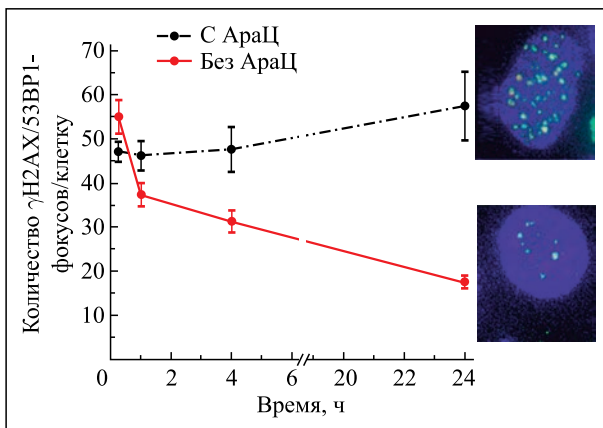


Рис. 11. Кинетика формирования и элиминации γ H2AX/53BP1-фокусов в ядрах клеток глиобластомы человека (U87), облученных в дозе 1,25 Гр протонами в расширенном пике Брэгга

С учетом полученных результатов, свидетельствующих о высокой биологической эффективности пучка протонов в пике Брэгга в условиях влияния ингибиторов репаративного синтеза ДНК, проведено сравнение биологической эффективности протонов и ускоренных ионов бора, обладающих близкими физическими характеристиками с ионами углерода. На рис. 10 можно видеть, что, как и при действии протонов, наибольшее количество γ H2AX/53BP1-фокусов в ядрах фибробластов человека при облучении тяжелыми ионами формируется через 1 ч после лучевого воздействия. Количество РИФ для ионов бора примерно в 2 раза превышает их число при облучении протонами в обычных условиях в течение всего пострadiационного периода.

Кинетика репарации РИФ сходна с кинетикой, наблюдаемой для протонов в обычных условиях. Однако при облучении клеток в присутствии АраЦ и ГМ количество РИФ через 4 ч и особенно через 24 ч после облучения резко увеличено по сравнению с действием ионов бора. Эти различия в количестве фокусов обусловлены, с одной стороны, формированием энзиматических ДР ДНК в условиях влияния модификаторов, а с другой — репарацией ДР в пострadiационный период при действии на клетки тяжелых ионов.

Особый интерес представляют результаты, полученные при облучении культуры клеток глиобластомы человека (U87) протонами в расширенном пике Брэгга в условиях влияния АраЦ. Полученные данные свидетельствуют об эффективной модификации формирования ДР ДНК в опухолевых клетках, при этом количество γ H2AX/53BP1-фокусов в

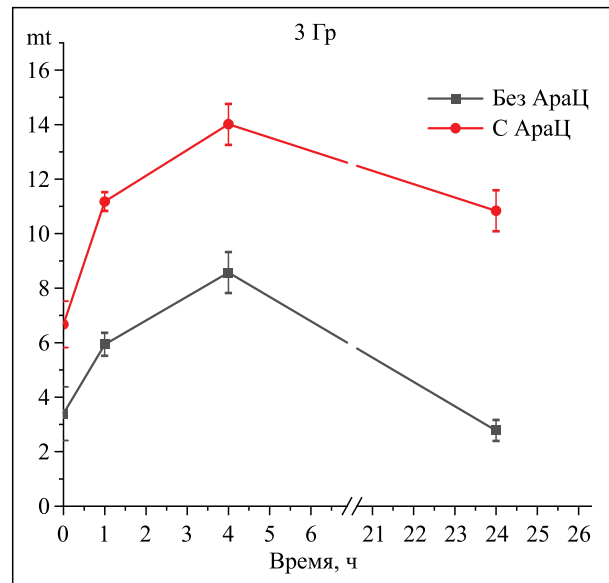


Рис. 12. Кинетика формирования и элиминации ДР ДНК в клетках гиппокампа крыс при краниальном облучении *in vivo* протонами в модифицированном пике Брэгга в дозе 3 Гр в условиях модифицирующего влияния арабинозидцитозина (АраЦ)

ядрах клеток глиобластомы, облученных в присутствии АраЦ, к 24 ч пострadiационной инкубации примерно в 3,5 раза выше, чем у облученных в обычных условиях (рис. 11).

С помощью метода ДНК-комет изучена кинетика формирования и репарации ДР ДНК в клетках гиппокампа крыс (самцов, линия Sprague-Dawley) при краниальном облучении протонами *in vivo* в дозе 3 Гр в условиях модифицирующего действия ингибитора репарации ДНК АраЦ (рис. 12). Как можно видеть, при облучении клеток протонами как в нормальных условиях, так и в присутствии модификатора наблюдается возрастание количества ДР ДНК с последующим их снижением в пострadiационный период. Сравнительный анализ показал, что к 24 ч пострadiационной инкубации количество γ H2AX/53BP1-фокусов в ядрах клеток гиппокампа крыс *in vitro*, облученных в присутствии АраЦ, примерно в 4,5 раза выше, чем у облученных в нормальных условиях.

Таким образом, данные, полученные при облучении как *in vitro*, так и *in vivo*, свидетельствуют о том, что повреждающее действие протонов в расширенном пике Брэгга на генетические структуры клеток резко возрастает в присутствии арабинозидцитозина — агента, блокирующего репаративный и репликативный синтез ДНК. Возникающие в результате облучения ОР ДНК длительное время остаются нерепарируемыми и трансформируются в энзиматические ДР ДНК в процессе обработки эндонуклеазами опозитных ОР ДНК сайтов, что повышает эффективность радиационного воздействия. Это обстоятельство дает основание полагать, что комбиниро-

ванное применение использованных официальных препаратов может быть перспективным для использования в клинике лучевой терапии, а также значительно сближает области использования протонных и углеродных ускорителей для терапевтических целей [12–14].

Исследование влияния модуляторов окислительного и нитрозативного стресса на индукцию хромосомных aberrаций в клетках карциномы молочной железы человека CAL51 при действии различных доз γ -излучения. Воздействие ионизирующей радиации приводит к существенному возрастанию выхода активных форм кислорода (АФК) и азота (АФА) в клетках. Эффект, оказываемый данными радикалами на судьбу клетки, в значительной степени зависит от дозы воздействия. При умеренном повышении их уровня они могут выступать в роли активаторов защитных механизмов. Это обусловлено тем, что данные радикалы являются регуляторами многих метаболических процессов через редокс-чувствительные сигнальные каскады, а также способны активировать белки, участвующие в репарации ДНК. Однако сверхпродукция этих радикалов приводит к развитию так называемого окислительного и нитрозативного стресса, сопровождающегося значительным увеличением повреждений ДНК,

липидов, белков и других внутриклеточных структур. Для подавления окислительного и нитрозативного стресса разработан ряд соединений, таких как перехватчики свободных радикалов и антиоксиданты с различным механизмом действия, которые нейтрализуют АФК и АФА и оказывают выраженный защитный эффект как *in vitro*, так и *in vivo*. Вместе с тем эффект данных соединений на клетки, облученные малыми дозами ионизирующих излучений, не был исследован до настоящего времени.

Также изучалось влияние перехватчика супероксида аниона TEMPOL и перехватчика оксида азота карбокси-РТЮ (сРТЮ) на индукцию хромосомных aberrаций в клетках карциномы молочной железы человека CAL51, облученных различными дозами γ -излучения. Анализ числа aberrантных клеток проводился анафазным методом через 8 ч после облучения. Всего было проведено шесть экспериментов. Проверка достоверности различия выхода aberrантных клеток, когда эти различия неочевидны, была проведена с использованием обратного χ^2 -критерия Фишера, позволяющего проверить глобальную нулевую гипотезу для всей серии из шести экспериментов.

Установлено, что перехватчик АФК TEMPOL в области больших доз γ -излучения (50, 100 и 200 сГр) приводит к снижению выхода хромосомных aberr-

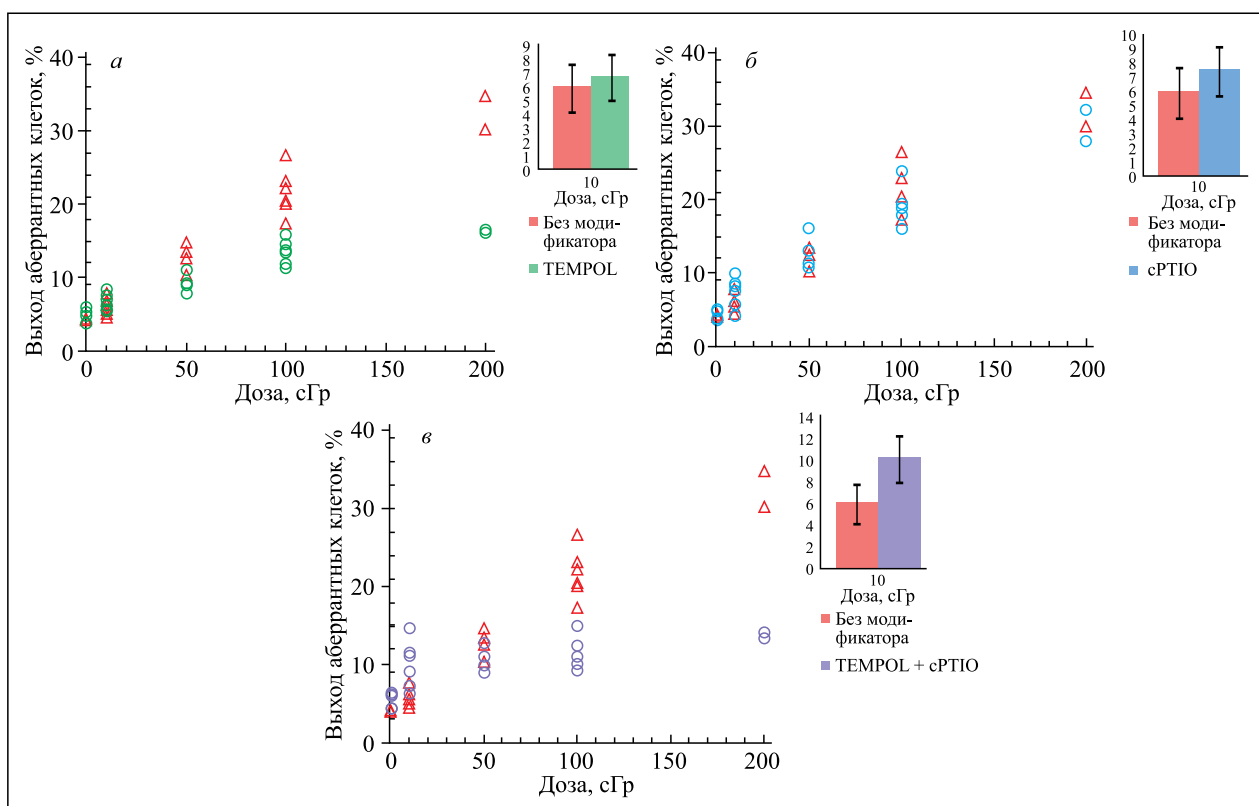


Рис. 13. Влияние антиоксиданта TEMPOL и перехватчика оксида азота сРТЮ на выход aberrантных клеток CAL51 при действии γ -излучения: а) TEMPOL 2 мМ; б) сРТЮ 30 мкМ; в) TEMPOL + сРТЮ. Планки погрешностей представляют 95%-е доверительные интервалы

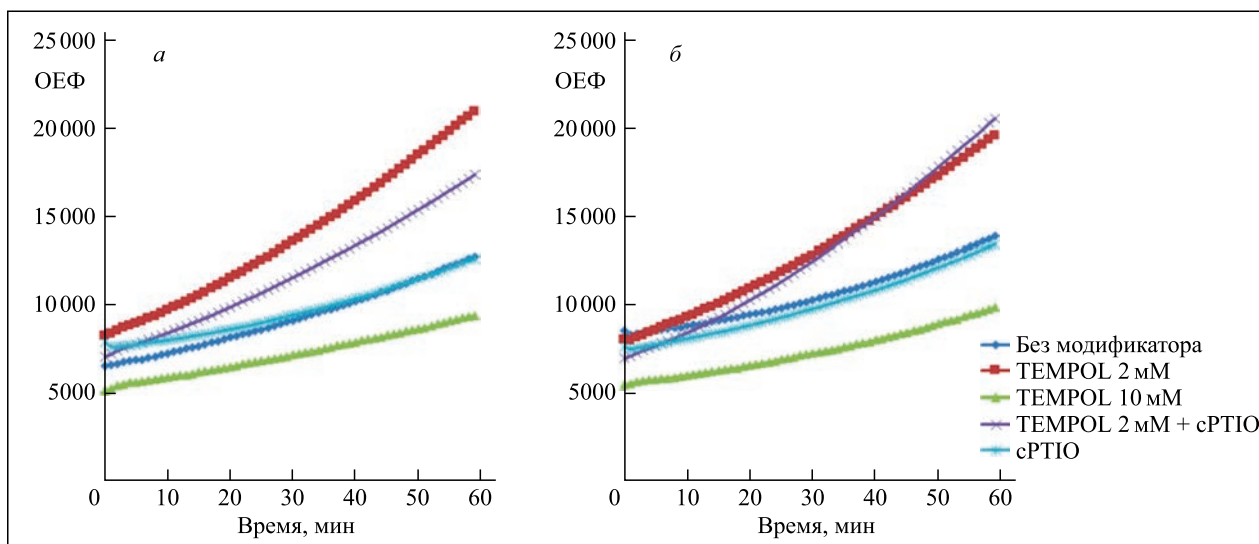


Рис. 14. Влияние антиоксиданта TEMPOL и перехватчика оксида азота сРТЮ на уровень активных форм кислорода в клетках карциномы молочной железы человека CAL51. Измерения проводились через 8 ч после облучения в течение 1 ч: а) доза 10 сГр; б) доза 1 Гр. По оси ординат — относительные единицы флуоресценции (ОЕФ)

раций, что в полной мере согласуется с его способностью нейтрализовать действие оксидантов (рис. 13, а). Вместе с тем не удалось обнаружить существенного влияния на выход aberrантных клеток перехватчика NO^{\bullet} сРТЮ (рис. 13, б), что противоречит некоторым ранее опубликованным данным, указывающим на то, что повышенный уровень оксида азота способен вызывать повреждения ДНК. Данное заключение подтверждается и тем, что при совместном использовании данных модификаторов ярко выраженный эффект TEMPOL не изменялся в присутствии сРТЮ (рис. 13, в).

Другая картина наблюдалась при дозе 10 сГр, когда был обнаружен обратный эффект данных модификаторов, т. е. в присутствии TEMPOL и сРТЮ доля aberrантных клеток возрастала (рис. 13, см. вставки). Причем при их совместном использовании эффект был максимальным и в среднем превышал контрольный выход aberrантных клеток в 2 раза. Как показал статистический анализ, различия были достоверны на уровне $\alpha = 0,05$.

Измерение уровня активных форм кислорода в клетках, облученных в дозе 10 сГр, показало, что TEMPOL не подавлял, а усиливал генерацию АФК (рис. 14, а), что могло бы служить объяснением увеличения выхода aberrаций в его присутствии при этой дозе. Однако аналогичная картина наблюдалась и в клетках, облученных дозой 1 Гр (рис. 14, б).

Известно, что нитроксиды, такие как TEMPOL, являются стабильными радикалами в воде, однако внутри клетки претерпевают ряд химических трансформаций. Они могут быть восстановлены до гидросиламина или окислены до оксоаммония в зависимости от редокс-статуса клетки. Оксоаммоний является достаточно сильным оксидантом, способ-

ным вызывать повреждения биомолекул. Ситуация, когда TEMPOL усиливал генерацию АФК, но снижал эффект воздействия индукторов окислительного стресса, наблюдался в ряде ранее опубликованных работ. Это предполагает наличие альтернативного механизма действия данного антиоксиданта, не связанного с его способностью нейтрализовать супероксид анион. В качестве такого механизма рассматривают активацию цитопротекторных редокс-чувствительных сигнальных каскадов в условиях повышенного уровня АФК в присутствии TEMPOL. Так, в кератиноцитах человека, облученных ультрафиолетом, данный нитроксид увеличивал генерацию АФК, но одновременно активировал протективный каскад Keap1-Nrf2-ARE . В качестве другого возможного механизма рассматривается способность оксоаммония восстанавливаться до исходного нитроксида при взаимодействии с супероксидом анионом при высокой концентрации последнего и выступать при этом в роли миметика супероксиддисмутазы.

Цитогенетический анализ повреждений хромосом в клетках человека и млекопитающих. В 2018 г. завершена комплектация оборудования и программного обеспечения, необходимого для нового эффективного метода анализа хромосом человека и животных multicolor Fluorescent *in situ* Hybridization (mFISH). Многоцветный FISH-анализ позволяет идентифицировать каждую пару хромосом клеток человека (22, X, Y), мышей (20, X, Y), крыс и других животных путем использования набора хромосомоспецифических проб, меченных уникальными сочетаниями из пяти флуорохромов. Комбинации флуорохромов интерпретируются программой анализа (MetaSystems, Германия) (рис. 15). Метод

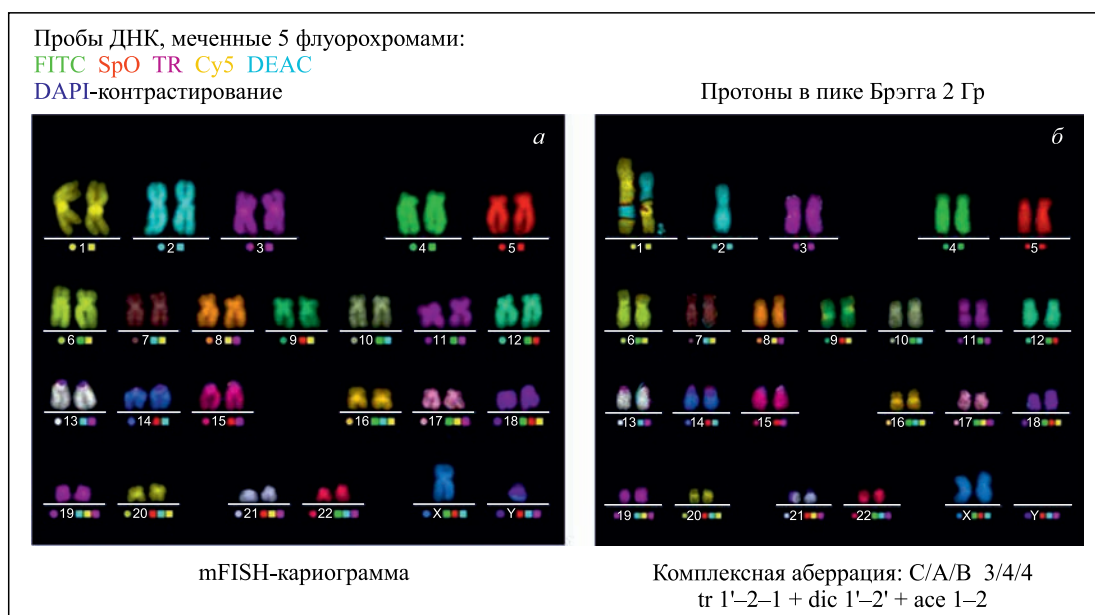


Рис. 15. Принцип метода mFISH и кариограммы лимфоцитов человека: а) нормальный кариотип человека (46; XY); б) комплексная aberrация, индуцированная протонами в расширенном пике Брэгга в дозе 2 Гр, состоящая из четырех разрывов в трех хромосомах. При стандартном окрашивании (краситель Гимза) регистрируется как дицентрик с фрагментом, т. е. два разрыва в двух хромосомах

позволяет оценивать частоту симметричных наследуемых aberrаций — транслокаций, а также комплексных aberrаций хромосом (трех и более разрывов в двух и более хромосомах) (рис. 15, б). Последние являются маркером плотноионизирующих излучений, отражающим кластерный характер образования повреждений ДНК вдоль трека частиц. Так как действие протонов на нормальные и опухолевые клетки человека методом mFISH практически не исследовано, то первоочередной задачей является проверка выводов, сделанных на основе 2–3-цветного FISH-анализа, что ОБЭ всех исследованных протонов (с энергиями от 5 до 2500 МэВ) больше единицы по выходу комплексных aberrаций хромосом. Поскольку 2–3-цветный FISH-анализ выявляет только какую-то часть комплекса хромосомных aberrаций из-за ограниченного числа окрашенных хромосом, а пересчет aberrаций, наблюдавшихся методом 2–3-цветного FISH, на полный геном ведет к искажению данных и потере значительной части информации, то реальная и полная оценка комплексных aberrаций возможна только методом mFISH.

Анализ хромосомных aberrаций, индуцированных в лимфоцитах крови человека протонами с энергией 150 МэВ и протонами в расширенном пике Брэгга в дозе 3 Гр методом mFISH (рис. 16), выявил более высокую эффективность протонов в расширенном пике Брэгга по сравнению с протонами с энергией 150 МэВ: 253 и 200 aberrаций на 100 клеток соответственно. Анализ проводился по системе mPAINT: учитывались ацентрические фраг-

менты (один ДР ДНК в одной хромосоме), не связанные с обменами, и простые обмены, возникающие из двух ДР ДНК в двух хромосомах и включающие транслокации, дицентрики, кольца центрические и ацентрические, перичентрические инверсии, а также комплексные aberrации, состоящие из трех и более разрывов в двух и более хромосомах, которые описывались формулой C/A/B (chromosome/arm/breaks). Как видно на рис. 16, облучение протонами в расширенном пике Брэгга индуцирует большее количество всех типов aberrаций, чем при облучении той же дозой протонами с энергией 150 МэВ, но особенно резко возрастает число кольцевых хромосом (в 1,8 раза) и комплексных aberrаций (в 1,6 раза). Оценен вклад комплексных aberrаций в общее число разрывов хромосом: как видно на рис. 17, процент разрывов, происходящих из комплексных aberrаций, составил 25, 33 и 43 % после облучения γ -квантами, протонами с энергией 150 МэВ и протонами в расширенном пике Брэгга соответственно. Таким образом, данные, полученные методом mFISH, свидетельствуют о более высокой биологической эффективности корпускулярных излучений по сравнению с фотонным, в основе которой лежит более высокая комплексность возникающих хромосомных нарушений.

Завершен цикл работ, посвященных анализу и моделированию данных по индукции хромосомных aberrаций в лимфоцитах человека разными видами излучений, полученных классическим метафазным методом [15–17]. В 2018 г. проведена оценка чувствительности разных цитогенетических методов.

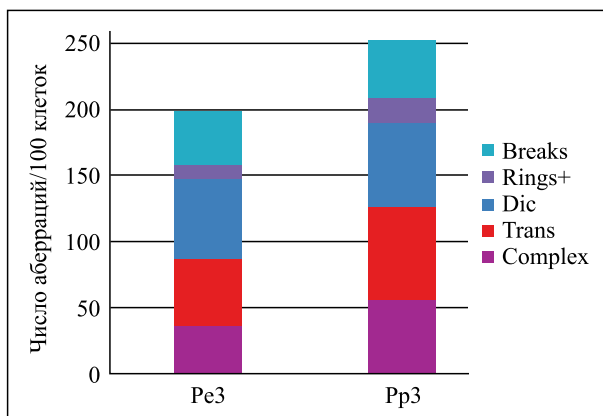


Рис. 16. Частота разных видов хромосомных aberrаций, индуцированных в лимфоцитах крови человека протонами 150 МэВ (Pe3) и протонами в расширенном пике Брэгга (Pr3) в дозе 3 Гр, регистрируемых методом mFISH: Breaks — ацентрические фрагменты; Rings+ — центрические и ацентрические кольца; Dic — дицентрики; Trans — транслокации; Complex — комплексные aberrации

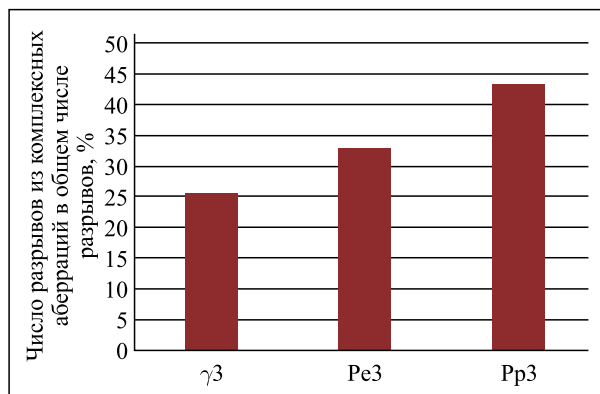


Рис. 17. Вклад комплексных aberrаций в общее число разрывов хромосом, индуцированных в лимфоцитах крови человека после облучения γ -квантами ^{60}Co (γ_3), протонами с энергией 150 МэВ (Pe3) и протонами в расширенном пике Брэгга (Pr3) в дозе 3 Гр и регистрируемых методом mFISH

Классический цитогенетический (метафазный) метод основан на анализе хромосом в делящихся клетках. Главный недостаток метода в том, что клетка должна достичь фазы митоза, а облучение эффективно (ЛПЭ- и дозозависимым образом) индуцирует задержку деления, арест в G2, необходимый для репарации повреждений, интерфазную гибель клетки (апоптоз), поэтому зачастую это влияет на результаты и ведет к недооценке числа повреждений. В этом случае альтернативным методом анализа может служить химически индуцированная преждевременная конденсация хроматина (ПКХ) (chemically induced premature chromosome condensation) с использованием Calyculin A, специфического ингибитора фосфатаз типа 1 и 2A, который вызывает мгновенную конденсацию хроматина в интерфазных клетках, без необходимости достижения клетками митоза. Таким образом, применение метода ПКХ позволяет избежать влияния пертурбаций клеточного цикла на регистрируемый уровень aberrаций хромосом.

Aberrации, регистрируемые метафазным методом, представляют собой конечный итог полностью завершившейся репарации. В то же время интересно оценить исходный уровень повреждений. На рис. 18 представлены дозовые зависимости числа разрывов хромосом, индуцированных в лимфоцитах крови человека γ -квантами ^{60}Co и регистрируемых разными цитогенетическими методами. Выход повреждений, выявляемых методом ПКХ при немедленном введении Calyculin A после облучения, имеет линейную зависимость от дозы и составляет около 15 хроматидных разрывов в G2-клетках/1 Гр γ -облучения/клетку (график PCC 0') по сравнению с 0,4 aberrаций/Гр/клетку, выявляемых классическим метафазным методом с облучением нестимулированных лимфоцитов в стадии G0 (график M 48 ч G0,

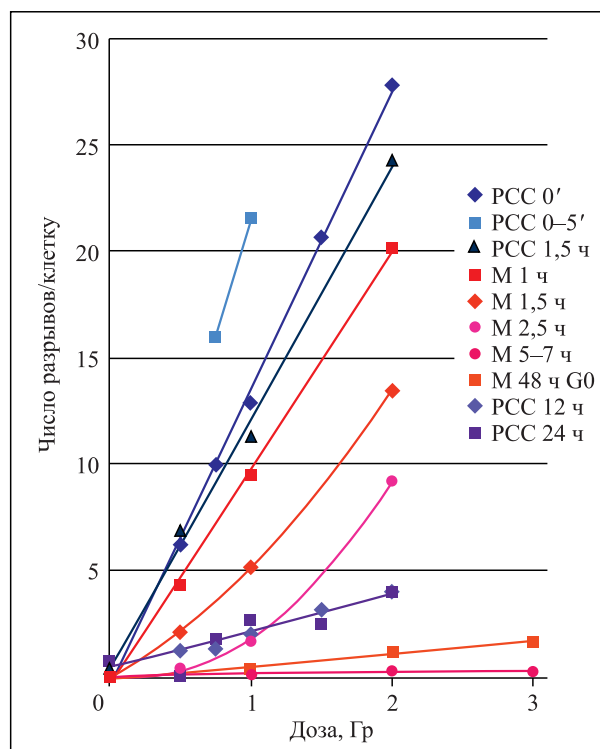


Рис. 18. Дозовые зависимости числа разрывов хромосом, индуцированных в лимфоцитах крови человека γ -излучением и регистрируемых в разные сроки после облучения разными цитогенетическими методами: метафазным (M) и ПКХ (PCC)

классический метафазный метод). Все остальные данные получены при облучении асинхронной популяции стимулированных лимфоцитов. Введение Calyculin A за 5 мин до облучения повышало число разрывов до 22/Гр/клетку (PCC 0-5'), однако проведение экспериментов в таком режиме рискованно,

так как небольшая задержка облучения может привести к отсутствию видимых разрывов из-за начавшегося процесса конденсации хроматина. Репарация повреждений завершается в течение 12 ч после облучения, остаточный уровень разрывов составил около двух хроматидных разрывов в G2-клетках/1 Гр γ -излучения/клетку (PCC 12 ч и PCC 24 ч). Это примерно в 5 раз выше, чем уровень, регистрируемый в митотических клетках (M 48 ч G0, классический метафазный метод). Самым чувствительным среди классических метафазных методов является G2-анализ с фиксацией через 1,5 ч после облучения. Считается, что при этом в анализ попадают только те клетки, которые в момент облучения были в конце G2-фазы за чекпойнтом G2/M и поэтому способны вступать в митоз со множеством повреждений без задержки на их репарацию. В этих митотических клетках регистрируется примерно пять разрывов/Гр/клетку. При фиксации через 1 ч после облучения уровень разрывов повышается до 10, однако в последнем случае анализ затруднен тем, что в клетках в момент облучения уже начинается предмитотическая конденсация хроматина, поэтому разрывы менее четко оформлены. Наиболее интересным представляется сравнение данных G2-анализом (повреждения, регистрируемые в митотических клетках, M 1,5 ч) с ПКХ в этот же срок (повреждения, регистрируемые в G2-клетках, PCC 1,5 ч): наблюдается разница более чем в 2 раза (5 и 12 разрывов/Гр/клетку соответственно). Как видно, далеко не все поврежденные G2-клетки способны достичь митоза, они подвергаются аресту на границе G2/M для репарации повреждений. Это подтверждают и данные метафазного анализа через 2,5 и 5–7 ч после облучения (M 2,5 ч и M 5–7 ч): низкий митотический индекс и низкое число регистрируемых повреждений.

Таким образом, комбинация разных цитогенетических методов позволяет получить наиболее пол-

ное представление об индукции, репарации повреждений ДНК и судьбе клеток. Данные предполагается использовать для моделирования радиационно-индуцированных повреждений хромосом с учетом структуры трека частиц [18].

Генетические эффекты, индуцированные ионизирующим излучением у модельного одноклеточного эукариотического организма (дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*). Общепринятые методики, разработанные для высших эукариот, позволяют фиксировать протяженные перестройки хромосом. Вместе с тем для исследования точечных повреждений, возникающих в клетках эукариот, целесообразно использовать одноклеточные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Для тестирования различных точечных повреждений, а именно всех типов замен пар оснований, были использованы две генетические системы: коллекции из шести изогенных гаплоидных *trp5*-штаммов и 14 изогенных гаплоидных и диплоидных *cus1*-штаммов. Эти штаммы отличаются друг от друга единственной заменой в кодоне 50-го гена *TRP5* и 22-го гена *CYC1*. Получены кривые зависимости точечного мутагенеза для гаплоидных и диплоидных штаммов [19, 20]. При облучении γ -квантами ^{60}Co наблюдалась линейная дозовая зависимость у гаплоидных штаммов для обеих тестерных систем (рис. 19) и степенная зависимость у диплоидных штаммов (рис. 20). Хотя спектры мутаций для гаплоидных штаммов разных тестерных систем отличались, но в обеих тестерных системах превалировали транзиции GC-AT. Для диплоидных *cus1*-штаммов спектр мутаций в целом совпал со спектром гаплоидных *cus1*-штаммов, у них также превалировали транзиции GC-AT. Можно предположить, что спектры мутаций зависят от нуклеотидного контекста, а механизмы мутагенеза отличаются для гаплоидных и диплоидных штаммов.

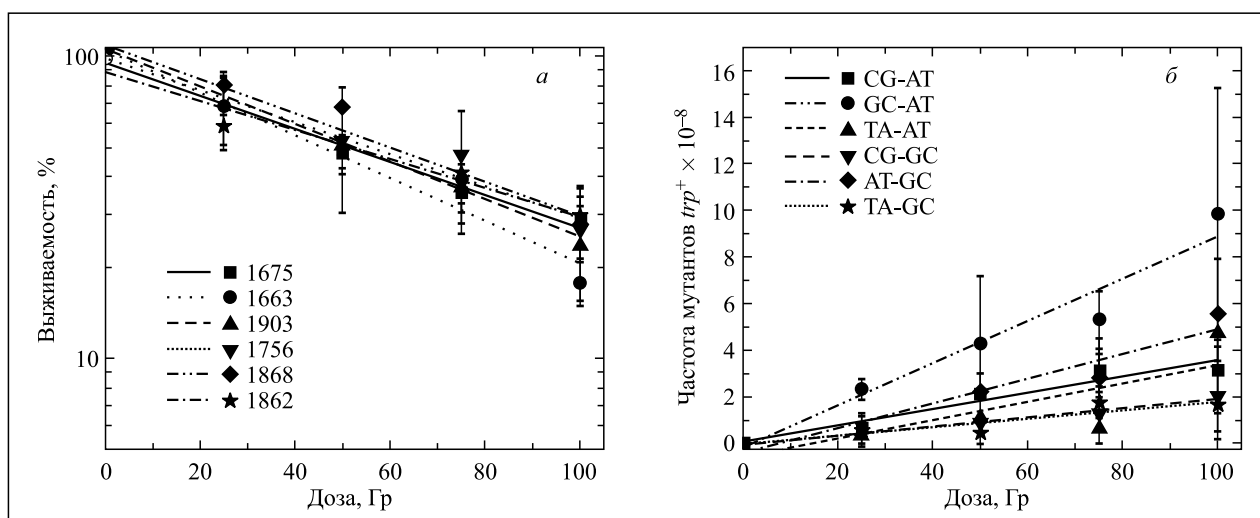


Рис. 19. Кривые выживаемости (а) и мутагенеза (б) гаплоидных *trp5*-штаммов после облучения γ -квантами ^{60}Co

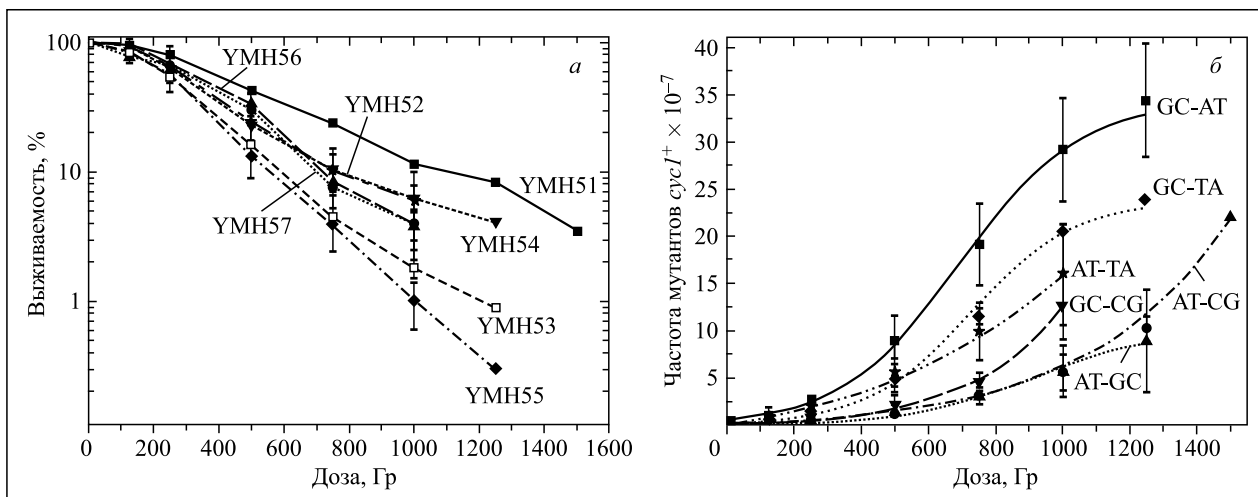


Рис. 20. Кривые выживаемости (а) и мутагенеза (б) диплоидных *susI*-штаммов после облучения γ -квантами ^{60}Co

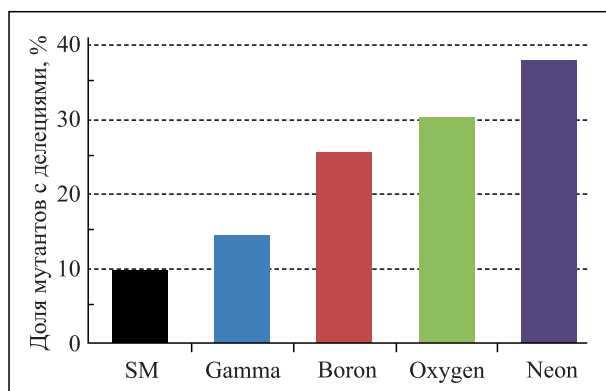


Рис. 21. Доля мутантов с полной или частичной делецией *HPRT*-гена (SM — спонтанные мутанты; Gamma — гамма-индуцированные мутанты; Boron/Oxygen/Neon — мутанты, индуцированные ускоренными ионами ^{11}B , ^{18}O и ^{20}Ne)

Исследование радиационно-индуцированного мутагенеза в клетках млекопитающих. Продолжено исследование радиационно-индуцированного мутагенеза в клетках китайского хомячка (линия V79) после воздействия тяжелых заряженных частиц с разными значениями ЛПЭ (50, 116, 138, 153 кэВ/мкм) и облучения γ -квантами ^{60}Co . Выявлена корреляция между индуцированным мутагенезом в *HPRT*-гене и временем экспрессии после облучения тяжелыми ионами. Проведен молекулярный анализ *hprt*-мутантов, индуцированных излуче-

нием с разными значениями ЛПЭ. В ходе экспериментов выделено и проанализировано более 1200 *hprt*-мутантных клонов. Обнаружены существенные изменения в мутационных спектрах (на уровне экзонов). Установлено значительное увеличение структурных мутаций (делеций) в клеточном геноме с ростом ЛПЭ частиц (рис. 21). Это связано с повышением частоты формирования кластерных повреждений ДНК при облучении клеток тяжелыми заряженными частицами.

РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

Проведен флуоресцентный и хроматографический анализ *бис*-ретиноидов из сетчатки и ретинального пигментного эпителия глаз мышей до и после воздействия на них ускоренными протонами в пике Брэгга [21]. Показано, что в результате воздействия ионизирующего излучения в дозах 1–4 Гр происходит сдвиг в коротковолновую область максимума спек-

тра флуоресценции хлороформного экстракта, полученного как из ретинального пигментного эпителия, так и из сетчаток. Хроматографический анализ этих экстрактов показал изменение относительного содержания отдельных *бис*-ретиноидов. Полученные спектральные и хроматографические данные свидетельствуют о том, что воздействие на мышей уско-

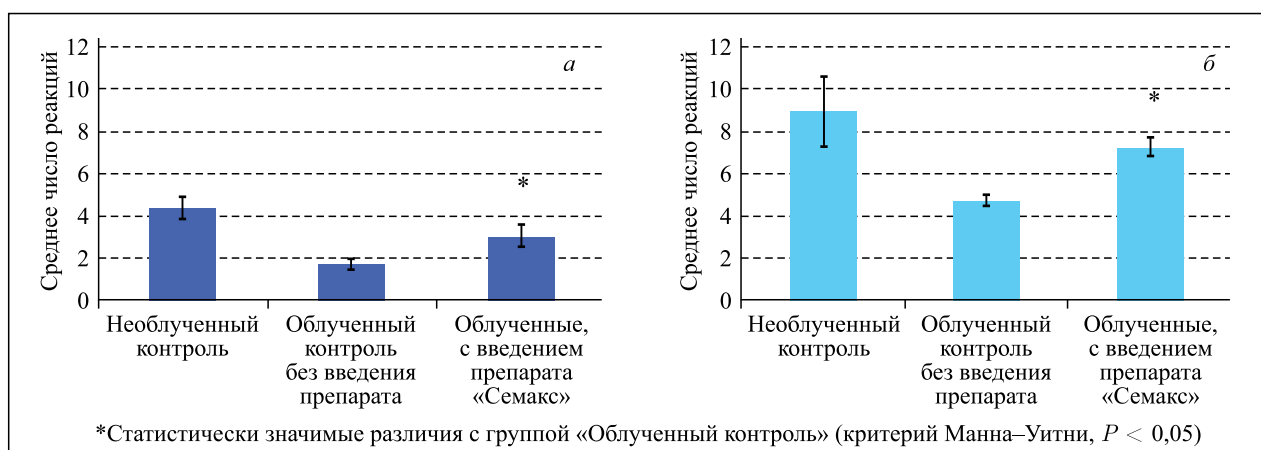


Рис. 22. Показатель эмоционального статуса мышей на 7-е сутки после облучения протонами в дозе: а) 2,3 Гр; б) 3 Гр

ренными протонами в пике Брэгга в дозах 1–4 Гр приводит в тканях глаза к радиационному окислению бис-ретиноидов.

Проведена оценка оптомоторного рефлекса и зрительного поведения у крыс, подвергнутых облучению протонами с энергией 170 МэВ в дозе 5 Гр. Для оценки визуальной функции использовалось оборудование, которое включало платформу и дисплей с визуальной стимуляцией. Обнаружены некоторые поведенческие изменения, индуцированные у крыс при краниальном облучении. Краниальное воздействие протонами на животных не привело к статистически значимому снижению оптомоторного ответа (отношения корректных и некорректных поворотов головы) у крыс на 30-е и 90-е сутки после облучения. Однако в отдаленный период после облучения были обнаружены статистически значимые изменения в зрительном поведении облученных животных. Установлено, что на 90-е сутки после облучения общее время пребывания головы животного в области, в которой оно способно сосредоточить внимание на визуальном стимуле, у облученных животных меньше.

Проведена оценка влияния препарата «Семакс» на поведенческие реакции, силу скелетной мускулатуры, проявления костно-мозгового синдрома и морфологические изменения нейронов головного мозга мышей, облученных ускоренными протонами [22]. Установлено, что данный препарат при интраназальном введении нормализует показатель эмоционального статуса на 7-е сутки после облучения ускоренными протонами в дозах 2,3 и 3 Гр (рис. 22). Препарат также восстанавливает уровень показателя силы скелетной мускулатуры облученных животных до контрольных значений. Морфологическая картина в сенсомоторной коре головного мозга облученных животных, которым вводили препарат «Семакс», близка к нормальной (таблица).

Предложен подход к более точной оценке гистологических изменений в нервной ткани после облучения. С помощью методов компьютерного анализа изображений в программном пакете ImageJ отработан метод регистрации морфометрических показателей нейронов головного мозга. Также был проведен анализ возможности использования сверточных нейронных сетей для нейроморфологических иссле-

Количество нейронов сенсомоторной коры в различных группах животных на 8-е сутки после облучения протонами в дозе 2,3 Гр

Группа	Неизмененные нейроны, %	Обратимые морфофункциональные и компенсаторно-приспособительные нейроны, %	Дистрофические нейроны, %
1. Необлученный контроль	84,5 ± 0,86	14,8 ± 0,81	0,76 ± 0,33
2. Облученный контроль без введения препарата	74,5 ± 0,78*,**	21,5 ± 0,75*	3,87 ± 0,33*,**
3. Облученные, с введением препарата «Семакс»	86,0 ± 1,31	11,9 ± 1,16	1,80 ± 0,41

* Статистически значимое различие с группой № 1 ($P < 0,05$).
 ** Статистически значимое различие с группой № 3 ($P < 0,05$).

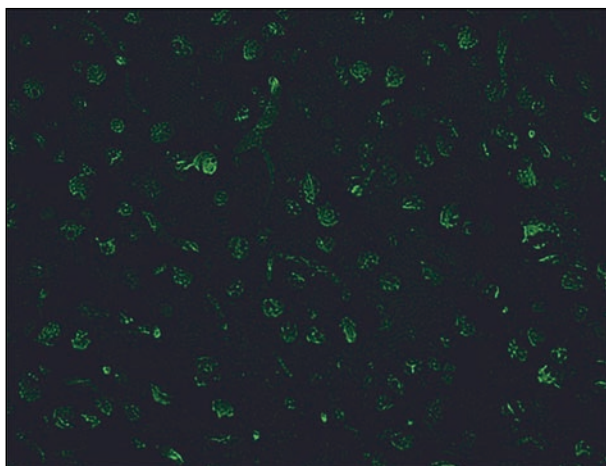


Рис. 23. Нейроны коры головного мозга крысы после облучения протонами в дозе 1 Гр. Покраска: Fluoro Jade B (200-кратное увеличение)

дований ткани головного мозга. Решение задачи осуществляется с помощью дистрибутива Anaconda. Получены первые результаты облучения нейронной сети: распознавание структуры мозга — гиппокампа, определение числа нервных клеток на снимке. Помимо проведения морфологических исследований

с использованием рутинной гистологической техники [23] была освоена методика окраски препаратов головного мозга крыс с применением маркировки дегенеративных нейронов флуорохромом Fluoro Jade B (рис. 23).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ

Продолжено моделирование структуры треков ускоренных заряженных частиц с различными характеристиками и процессов индукции первичных молекулярных повреждений [24–26]. Для преодоления вычислительных трудностей при моделировании радиационно-индуцированных эффектов в нейронных сетях гиппокампа разработаны упрощенные модели нейронов по геометрическим свойствам, эквивалентные нейронам с реальной морфологией. Трех-

мерная структура и параметры упрощенных нейронных моделей и моделей с реалистичной морфологией дендритного дерева были созданы с использованием экспериментальных данных. Подход позволил смоделировать случайное распределение дендритных шипиков в разработанных моделях нейронов. С использованием моделирования методом Монте-Карло в пакете Geant4-DNA показано, что распределение событий энерговыделения и продуктов радиолиза по-

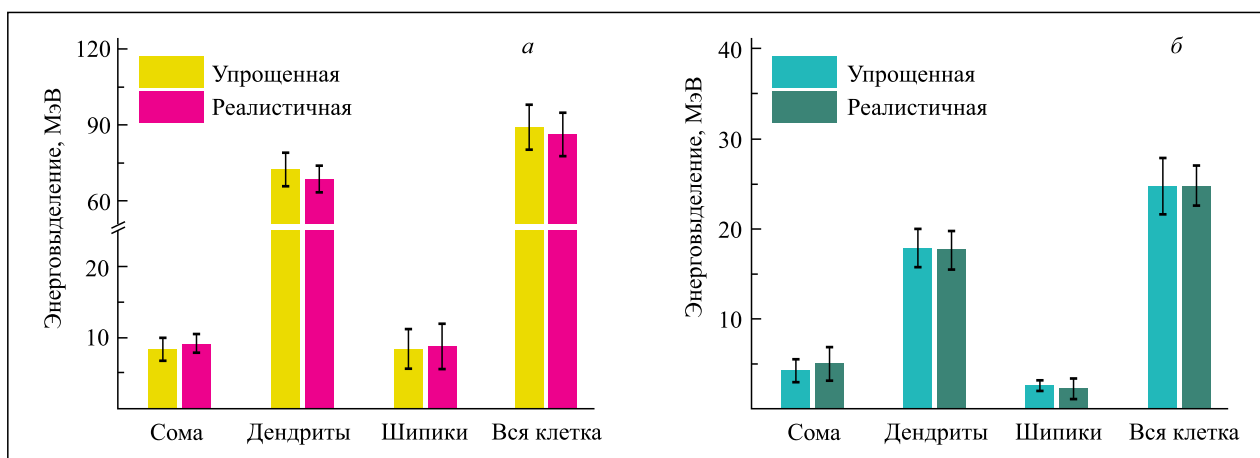


Рис. 24. Общее энерговыделение в реалистичной и упрощенной моделях пирамидной (а) и гранулярной клеток (б) при действии ионов ^{56}Fe с энергией 600 МэВ/нуклон и флюенсом частиц $3,2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$

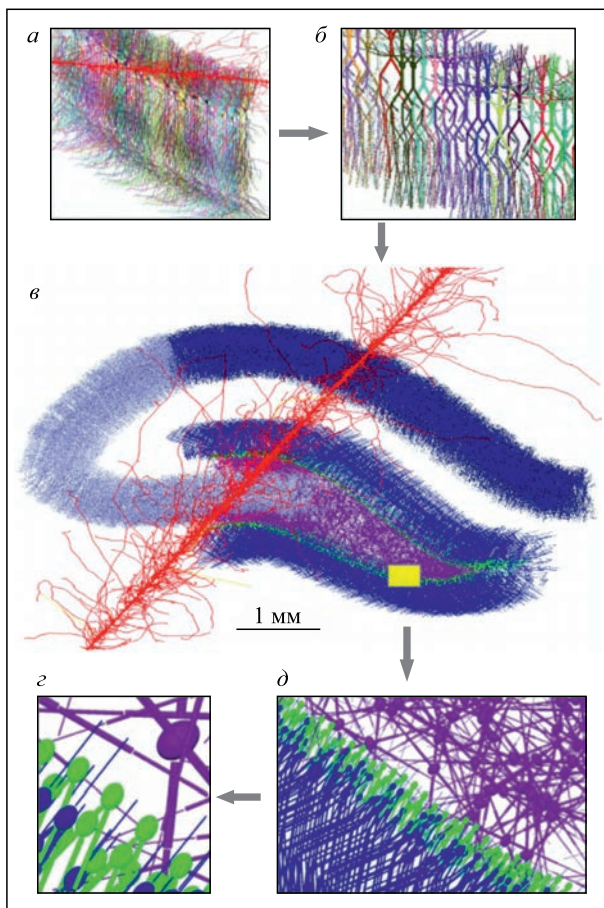


Рис. 25. Схема нейронов различной морфологии в гиппокампе крысы при прохождении одного трека иона ^{56}Fe . Пример реалистичных (а) и упрощенных (б) моделей нейронных сетей из пирамидных нейронов в области CA1. Центральная панель (в) изображает схему трехмерной модели гиппокампа крысы. Вставки (д, е) отображают крупный план выделенной области (желтый квадрат). Гранулярные клетки зубчатой извилины выделены синим цветом, незрелые нейроны в субгранулярной зоне — зеленым, клетки мшистых волокон — пурпурным, пирамидные нейроны области CA1 — темно-синим, пирамидные нейроны CA3/CA2 — светло-синим. Структура трека иона ^{56}Fe с энергией 600 МэВ/нуклон показана красным цветом

сле облучения протонами, ионами углерода и ионами железа с флюенсами и энергиями, соответствующими реальным потокам галактических космических лучей, одинаково как в упрощенных, так и в реалистичных моделях гранулярных и пирамидальных нейронов гиппокампа крысы (рис. 24). При этом время расчета и затрачиваемые аппаратные ресурсы в несколько раз меньше для упрощенных моделей [24], что позволяет исследовать нейронные сети из нескольких тысяч клеток. С использованием упрощенных моделей было смоделировано распределение поглощенной дозы и формирующихся повреждений ДНК в трехмерной модели гиппокампа крысы, включавшей пирамидные клетки, зрелые и незре-

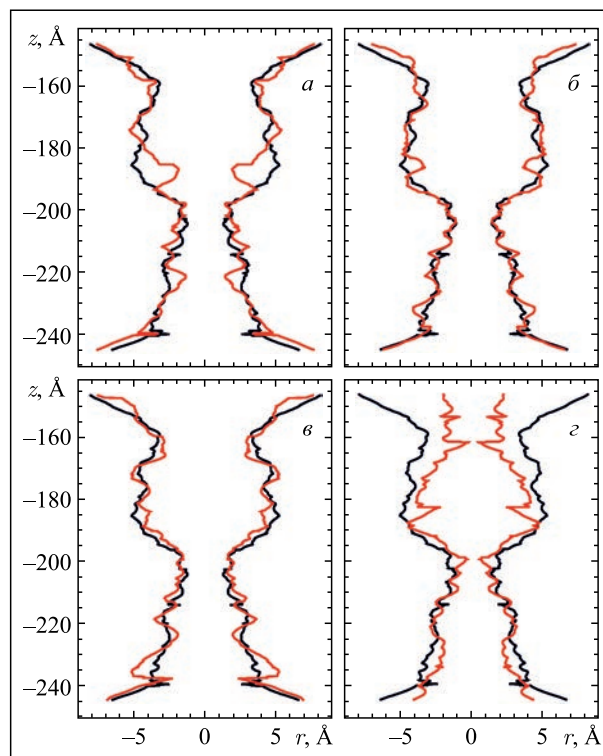


Рис. 26. Геометрия активированного (открытого) ионного канала NMDA (радиус поры r в зависимости от координаты z вдоль вертикальной оси симметрии). Четыре мутантные формы (красный цвет) p.Arg540His (а), p.Asn615Leu (б), p.Val618Gly (в) и p.Phe671_Gln672del (г) сравниваются с нативным вариантом (черный цвет)

лые гранулярные клетки, клетки мшистых волокон и нервные стволовые клетки (рис. 25). Предсказано, что наибольшая часть повреждений ДНК при облучении образуется в зубчатой извилине. Также были исследованы процессы энерговыделения и радиолитиза в других критических объектах нервных клеток: мембранных ионных каналах (K^+ , Na^+ и Ca^{2+}) и синаптических рецепторах (NMDA, AMPA и GABA(A)). Согласно результатам моделирования наиболее вероятными мишенями для радиационного повреждения являются синаптические рецепторы типа GABA и NMDA, а не ионные каналы на мембране. Показано, что косвенные повреждения, вызванные химическим взаимодействием со свободными радикалами, доми-

нируют над событиями прямой ионизации молекул. Также проведена оценка эффективности индукции повреждений после воздействия частиц с разными дозами и ЛПЭ.

Исследованы особенности транскрипции и ее зависимости от структурных и энергетических параметров участка цепи ДНК [27]. Проведенный анализ позволил установить область параметров, при которых транскрипция невозможна, что может привести к нарушению синтеза белков.

Исследована связь между функциональными свойствами синаптических рецепторов NMDA и мутациями в генах *GRIN1* и *GRIN2*, кодирующих белки данных структур. Это важно для анализа нейродегенеративных нарушений, вызванных как различными заболеваниями, так и последствиями действия радиации. С помощью компьютерного молекулярно-динамического моделирования изучен процесс активации данного рецептора и проведен анализ структуры его ионного канала (рис. 26).

При этом были рассчитаны ионные проводимости открытого канала, обусловленные как его геометрией, так и связыванием ионов магния, блокирующих проникновение других ионов электролита во внутриклеточное пространство. Выявлено согласие расчетных характеристик рецепторов с экспериментальными данными, полученными для известных точечных мутаций, выявленных в ряде эпилептических расстройств. Влияние свойств мутантных рецепторов на работу нейронных сетей гиппокампа исследовалось путем анализа смоделированных электроэнцефалограмм (рис. 27) и их спектров. Для двойных точечных мутаций и делеций в гене *GRIN2* выявлено уменьшение проницаемости ионного канала, которое ведет к уменьшению амплитуды тета- и гамма-ритмов в гиппокампе. Данное обстоятельство может указы-

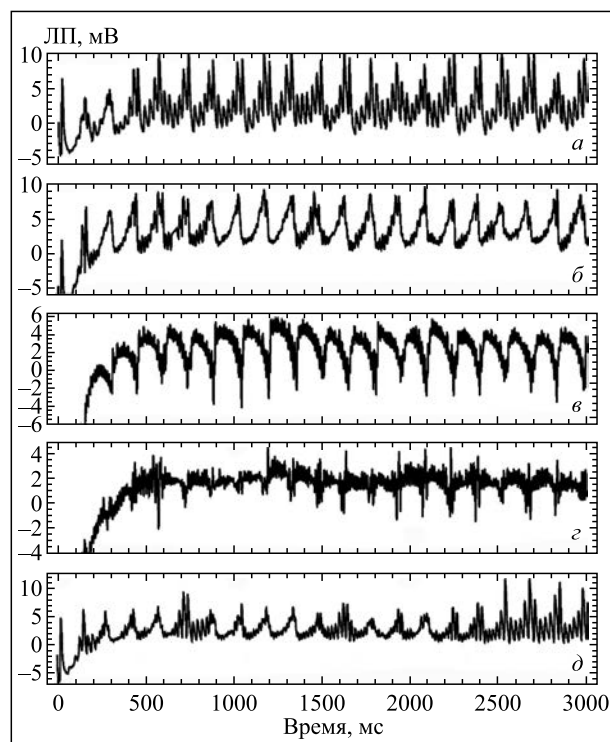


Рис. 27. Потенциал локального поля (ЛП), генерируемый нейронной сетью гиппокампа с различными формами NMDA-рецепторов: нативная форма (а), мутации p.Arg540His (б), p.Asn615Leu (в), p.Val618Gly (г), p.Phe671_Gln672del (д)

вать на то, что при действии тяжелых заряженных частиц формирование труднорепарируемых повреждений ДНК, таких как кластерные двунитевые разрывы, и индуцированных ими структурных мутаций оказывает негативное влияние на структуру синтезируемых белков [10] и, соответственно, на активность гиппокампа [28].

ФИЗИКА ЗАЩИТЫ И РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведены два радиобиологических сеанса на циклотроне ЛЯР МЦ-400 на пучках ядер азота ^{15}N с энергией 46 МэВ/нуклон. В ходе данных сеансов было облучено значительное количество различных биологических образцов в дозах от 0,6 до 80 Гр в диапазоне ЛПЭ от 70 до 200 кэВ/мкм. На медицинском пучке фазотрона ЛЯП проведено большое число облучений различных биологических образцов (клеток животных и человека, лабораторных животных, формамида) пучком протонов с энергией 160 МэВ и в расширенном пике Брэгга.

На нуклотроне ЛФВЭ проведен радиобиологический сеанс по облучению ядрами криптона ^{84}Kr с энергией 2,58 ГэВ/нуклон приматов и мелких лабораторных животных с целью исследования морфологических изменений структур мозга крыс и моделирования воздействия тяжелых ядер галактического

космического излучения на когнитивные функции животных. В ходе сеанса облучены шесть самцов обезьян *Macaca mulata*: четыре из Института клинической приматологии (Адлер) и два из Института медико-биологических проблем РАН (Москва). Полученная поглощенная доза, усредненная по всему мозгу обезьян, оценивается примерно в 0,15 Гр, но в малом объеме мозга, куда попадал пучок, локальная доза была больше (до 3 Гр). Также было осуществлено облучение мозга трех лабораторных крыс со средней поглощенной дозой ($\sim 0,74$ Гр).

Пучок ядер криптона был практически чистым, примесь других ядер с меньшими зарядами составила менее 10%. Из-за низкой интенсивности пучка в фокусе F3 (не более $2 \cdot 10^5$ ядер/с) расфокусировка пучка для создания равномерного поля облучения не проводилась. Облучение мозга обезьян осу-

шествовалось узким пучком ядер со средним значением ЛПЭ в мозговой ткани 282 кЭВ/мкм. По измерениям с помощью радиохромной пленки EBT-03 фирмы Gafchromic поперечное сечение пучка имело форму, близкую к эллипсу (с шириной по X на полувысоте около 0,34 см, а по Y — 0,86 см). Измерение интенсивности пучка ядер осуществлялось специально разработанной пролетной ионизационной камерой с наклонными электродами для подавления эффекта колонной рекомбинации ионов. Камера была предварительно градуирована по показаниям сцинтилляционного счетчика, установленного в пучке. Чувствительность камеры к ядрам ^{84}Kr с энергией 2,3 ГэВ/нуклон составила 14,0 ядер на 1 импульс камеры.

В рамках проекта ЛФВЭ по созданию на нуклотроне каналов для прикладных исследований разработано техническое задание на канал и облучательную установку для радиобиологических исследований на пучках тяжелых ионов от ^{12}C до ^{56}Fe с энергиями 500–800 МэВ/нуклон и выполнен ряд необходимых предварительных расчетов.

Для осуществления зонного радиационного контроля по нейтронам на комплексе NICA предложен метод, основанный на линейной комбинации показаний дозиметров медленных нейтронов в двух полиэтиленовых замедлителях: диаметром 3'' и 10'' со свинцовым конвертором внутри [29]. Другим возможным вариантом дозиметра нейтронов с расширенным энергетическим диапазоном для целей оперативного и зонного радиационного контроля на высокоэнергетических ускорителях является конструк-

ция, предложенная в работе [30]. Обе эти работы были выполнены путем моделирования энергетической чувствительности дозиметров с использованием программы транспорта излучений в веществе методом Монте-Карло.

В ходе исследований по оценке реалистичного риска астронавтов при длительных полетах вне магнитосферы Земли выполнена работа по расчету коэффициентов конверсии флюенс – эффективная доза для однозарядных и многозарядных частиц, нейтронов и гамма-квантов на основе зависимостей фактора качества излучений от ЛПЭ, линейной энергии и зависимости Z^2/β^2 , предложенной NASA, для когорты взрослых некурящих мужчин, близкой к когорте астронавтов.

С участием сотрудников Института космических исследований (ИКИ) РАН продолжены работы по испытаниям космической аппаратуры на экспериментальном стенде ДАН. Помимо этого для выполнения гранта ИКИ по созданию космического гамма-спектрометра с мечеными заряженными частицами (КГС-МЗЧ) разработана схема эксперимента на пучке протонов фазотрона ЛЯП, изготовлен телескоп сцинтилляционных счетчиков, настроен комплекс электронной аппаратуры в стандарте NIM и проведены пять сеансов работы на пучке протонов с энергией 160 МэВ с гамма-спектрометром ИКИ и «метками протонных событий», позволяющими делать временные выборки из общего потока событий, совпадающие с приходом протонов пучка на различные мишени (реакторный графит, силикатное стекло и хлористый натрий).

ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ЗЕМЛЕ И В БЛИЖАЙШЕМ КОСМОСЕ

Проведен ряд экспериментов по абиотическому фосфорилированию нуклеозидов. Этот вопрос является серьезным препятствием в изучении процесса формирования первых живых организмов. Был определен оптимальный путь синтеза аденозиновых нуклеотидов из аденозина ($\text{C}_{10}\text{H}_{13}\text{N}_5\text{O}_4$) и дигидрофосфата натрия (NaH_2PO_4) в условиях облучения протонами с энергией 170 МэВ с использованием метеорита, углистого хондрита NWA 2828, в роли катализатора процесса. В результате в реакционной смеси помимо искомого нуклеозида были получены его производные: аденозинполифосфаты и неорганические полифосфаты, что подчеркивает высокую реакционную способность системы. В данных экспериментах в некоторой степени имитировались условия космоса или ранней Земли, когда протоны солнечного ветра не только проникали сквозь межпланетное пространство, но и достигали поверхности Земли. Таким образом, проведенные работы позволили смоделировать сценарий пребиотического фосфорилирования. Фосфорилирование аденозина про-

водили в четырех различных условиях эксперимента: 1) сухая порошковая смесь аденозина и NaH_2PO_4 ; 2) сухая порошковая смесь аденозина, NaH_2PO_4 и NWA 2828; 3) аденозин и NaH_2PO_4 в жидком растворе NH_2CHO ; 4) порошок аденозина, NaH_2PO_4 и NWA 2828 в жидком растворе NH_2CHO (рис. 28).

Во всех четырех реакционных смесях наблюдалось образование алициклических и циклических аденозиновых нуклеотидов: 5'-аденозинмонофосфата (5'-AMP), 3'-аденозинмонофосфата (3'-AMP), 2'-аденозинмонофосфата (2'-AMP) и 2',3'-цикло-аденозинмонофосфата (2',3'-сAMP). В дополнение к перечисленному установлен значительный выход аденина, образовавшегося вследствие частичного разрыва β -гликозидной связи. Также были получены 3',5'-цикло-аденозинмонофосфат (3',5'-сAMP) и 5'-аденозиндифосфат (5'-ADP). В результате экспериментов было установлено, что общий выход аденозиновых нуклеотидов значительно увеличивался, если в реакционной смеси присутствовали формамид (NH_2CHO) и метеоритное вещество.

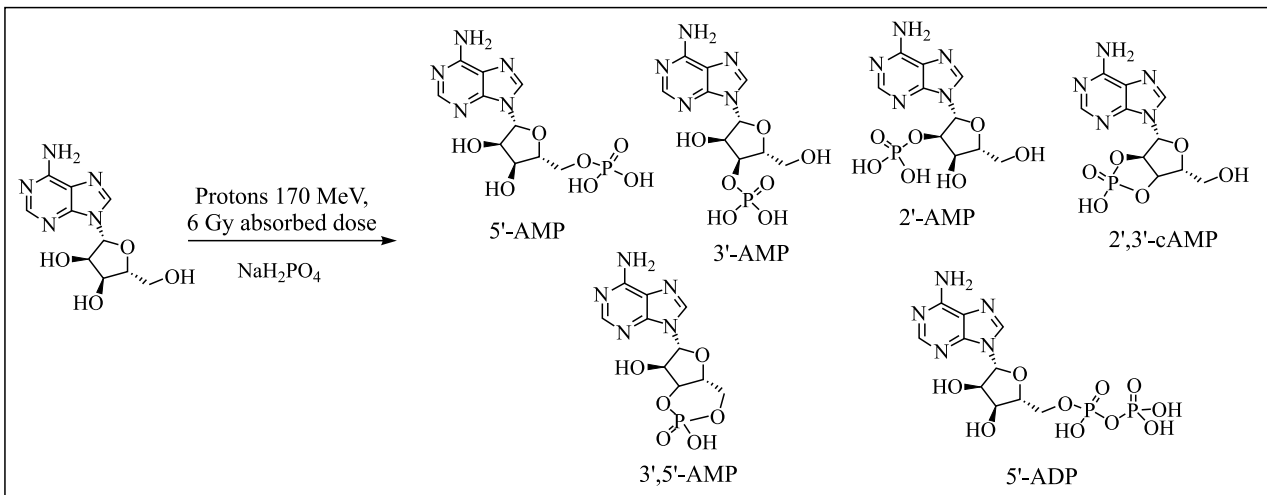


Рис. 28. Аденозиновые нуклеотиды, полученные при облучении аденозина и NaH_2PO_4 протонами с энергией 170 МэВ в четырех условиях эксперимента

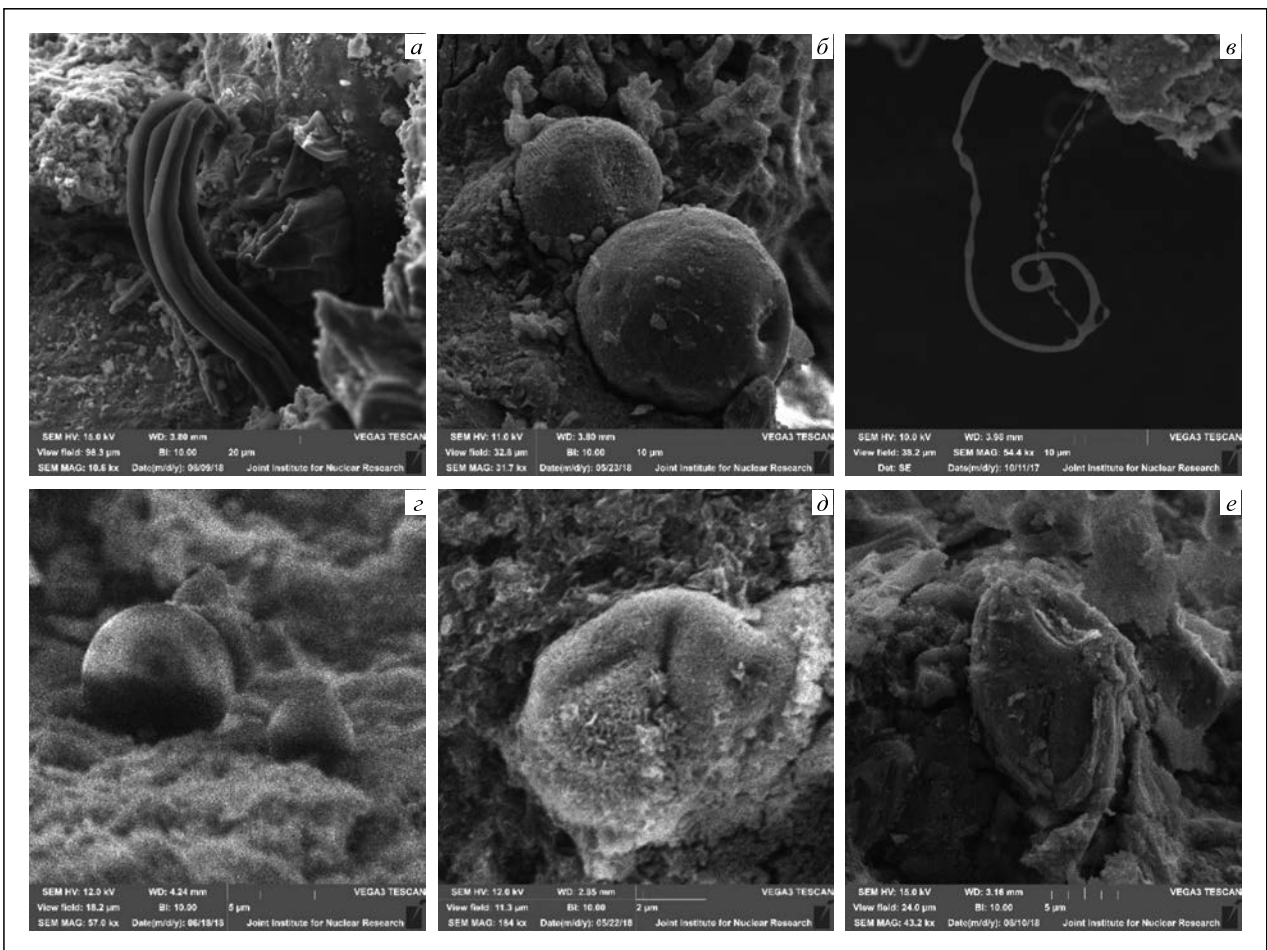


Рис. 29. Микрофоссилии из метеоритов Оргей (*a–д*) и Мурчисон (*e*): *a* — цианобактериальная нить; *б* — клетки прازیнофітов (видны поры); *в* — нити актиномицет; *г* — раковинные амёбы; *д* — пылеподобная форма; *е* — альвеолята

Продолжены бактериально-палеонтологические исследования метеоритов и земных горных пород. С помощью электронного сканирующего микроскопа Tescan Vega 3 в секторе астробиологии изучено более 20 образцов метеоритов (в первую очередь, угли-

стых хондритов Оргей и Мурчисон) и земных горных пород. Проанализировано несколько сотен изображений ископаемых микроорганизмов: цианобактерий, актиномицет, прازیнофітов, раковинных амёб, альвеолят и т. д. (рис. 29).

В рамках сотрудничества с Палеонтологическим институтом им. А. А. Борисяка РАН проведен ряд бактериально-палеонтологических исследований докембрийских горных пород [31–33]. В частности, в раннекембрийских кейвских парасланцах Кольского п-ва были обнаружены нанобактерии, захороненные *in situ*. Предполагается, что присутствие нанобактерий свидетельствует об участии биологического фактора в формировании вмещающих пород [31]. Изучены вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы (раннепротерозойские пиллоулавы из Карелии и Южной Африки), в которых обнаружены разнообразные фоссилизированные бакте-

рии и даже, возможно, эвкариоты. Показано, что условия для развития жизни и колонизации остывающих лавовых потоков и вулканогенных пород в столь раннее время были благоприятными [32]. Сделан обзор исследований архейских микроорганизмов [33].

На примере изучения эволюции археоциат академиком А. Ю. Розановым показана важность эволюционных идей Н. И. Вавилова, Л. С. Берга, Д. Н. Соболева и др., поставлена под сомнение творческая роль естественного отбора [34].

КОНФЕРЕНЦИИ И ОБРАЗОВАНИЕ

В течение 2018 г. сотрудники лаборатории приняли участие в 9 научных конференциях в России и 6 конференциях, проходивших в различных странах мира.

Совместно с научными советами РАН по радиобиологии и астробиологии проведены конференции «Проблемы химической защиты и репарации при радиационных воздействиях», «Современные проблемы космической радиобиологии и астробиологии». В их работе приняли участие более 150 ученых из институтов и научных организаций России, Италии, Монголии, США, Словакии и Чехии. В программу конференций входило обсуждение актуальных проблем космической радиобиологии, молекулярной и клеточной радиобиологии, астробиологии. Были сформулированы основные задачи дальнейших исследований в области данных направлений.

Продолжался учебный процесс на кафедре биофизики университета «Дубна». В настоящее время на кафедре обучается 35 студентов и 8 аспирантов. Обучение идет по трем направлениям и уровням подготовки: бакалавров направления «Ядерная физика и технологии» (профиль «Радиационная безопасность человека и окружающей среды»), магистров направления «Физика» (магистерская программа «Радиационная биофизика и астробиология»), кадров высшей квалификации — в аспирантуре по направлению «Радиобиология». В 2018 г.

на кафедру было принято 8 студентов по направлению подготовки бакалавров и 9 студентов продолжили свое обучение в магистратуре. Шесть студентов успешно закончили обучение и получили диплом магистра по направлению «Физика» (магистерская программа «Радиационная биофизика и астробиология»). В 2018 г. успешно были защищены две PhD-диссертации.

В 2018 г. получено два патента на изобретения: «Способ повышения частоты образования двунитевых разрывов ДНК в клетках человека при действии ионизирующих излучений в условиях влияния радиомодификаторов» и «Способ профилактики снижения мышечной силы при острой лучевой болезни в эксперименте». Авторами первой работы: Е. А. Красавин, А. В. Борейко, Т. С. Буланова, Е. А. Куликова, Г. Н. Тимошенко, В. Н. Чаусов. Применение предложенного подхода, обеспечивающего существенное повышение биологической эффективности пучков протонов, значительно сближает области использования протонных и углеродных ускорителей для терапевтических целей. Авторами второй работы являются А. А. Иванов, Е. А. Красавин, К. Н. Ляхова, Ю. С. Северюхин, А. Г. Молоканов. Изобретение относится к экспериментальной медицине и может найти применение при реабилитации пациентов после протонной терапии различных видов опухолей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kulikova E., Boreyko A., Bulanova T., Ježková L., Zadnepranetc M., Smirnova E. Visualization of Clustered DNA Damage along Accelerated Ions Tracks // Eur. Phys. J. Web Conf. 2018. V.177. P.06002; <https://doi.org/10.1051/epjconf/201817706002>.
2. Depes D., Lee Jin-Ho, Bobkova E., Ježková L., Falkova I., Bestvater F., Pagacova E., Kopečna O., Zadnepranetc M., Bacikova A., Kulikova E., Smirnova E., Bulanova T., Boreyko A., Krasavin E., Hausmann M., Falk M. Single-Molecule Localization Microscopy as a Promising Tool for γ H2AX/53BP1 Foci Exploration // Eur. Phys. J. D. 2018. V.72. P.158; <https://doi.org/10.1140/epjd/e2018-90148-1>.
3. Bobkova E., Depes D., Lee Jin-Ho, Ježková L., Falkova I., Pagacova E., Kopečna O., Zadnepranetc M., Bacikova A., Kulikova E., Smirnova E., Bu-

- lanova T., Boreyko A., Krasavin E., Wenz F., Bestvater F., Hildenbrand G., Hausmann M., Falk M. Recruitment of 53BP1 Proteins for DNA Repair and Persistence of Repair Clusters Differ for Cell Types as Detected by Single Molecule Localization Microscopy // *Intern. J. Mol. Sci.* 2018. V. 19. P. 3713; <https://www.mdpi.com/1422-0067/19/12/3713>.
4. Заднепрянец М.Г., Борейко А.В., Буланова Т.С., Йежкова Л., Красавин Е.А., Куликова Е.А., Смирнова Е.В., Фальк М., Фалькова И. Закономерности формирования и элиминации γ H2AX/53BP1-фокусов при действии γ -квантов и ускоренных тяжелых ионов // *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2018. Т. 58, № 2. С. 146–156.
 5. Заднепрянец М.Г., Борейко А.В., Буланова Т.С., Йежкова Л., Красавин Е.А., Куликова Е.А., Смирнова Е.В., Фальк М., Фалькова И. Анализ структуры комплексных повреждений ДНК при действии ускоренных ионов ^{11}B и γ -квантов ^{60}Co // *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2018. Т. 58, № 3. С. 229–237.
 6. Zadneprianets M.G., Boreyko A.V., Bulanova T.S., Ježková L., Krasavin E.A., Kulikova E.A., Smirnova E.V. The Influence of Physical Characteristics of Accelerated Heavy Ions on the Formation and Repair of DNA Double-Strand Breaks // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2018. V. 15, No. 6. P. 693–699.
 7. Кузьмина Е.А., Борейко А.В., Дубничкова М., Ильина Е.В., Кожина Р.А., Тиунчик С.И., Чаусов В.Н. Модифицирующее влияние различных форм липида А на формирование двунитевых разрывов ДНК при γ -облучении // Тез. докл. междунар. конф. «Проблемы химической защиты и репарации при радиационных воздействиях», Дубна, 30–31 мая 2018 г. Дубна, 2018. С. 87–89.
 8. Кожина Р.А., Ильина Е.В., Кузьмина Е.А., Тиунчик С.И. Влияние липида А на индукцию двунитевых разрывов ДНК при действии γ -квантов ^{60}Co *in vivo* и *in vitro* // Тез. XXV Междунар. науч. конф. «Ломоносов-2018». М., 2018. С. 1.
 9. Bulanova T.S., Zadneprianets M.G., Ježková L., Kruglyakova E.A., Smirnova E.V., Boreyko A.V. Induction and Repair of DNA Double-Strand Breaks in Rat Cerebellar Cortex Exposed to ^{60}Co γ -Rays // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2018. V. 15, No. 1. P. 121–126; doi: 10.1134/S1547477118010041.
 10. Boreyko A.V., Bugay A.N., Bulanova T.S., Dushanov E.B., Ježková L., Kulikova E.A., Smirnova E.V., Zadneprianets M.G., Krasavin E.A. Clustered DNA Double-Strand Breaks and Neuroradiobiological Effects of Accelerated Charged Particles // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2018. V. 15, No. 5. P. 551–561.
 11. Буланова Т.С., Борейко А.В., Заднепрянец М.Г., Красавин Е.А., Куликова Е.А., Смирнова Е.В., Северюхин Ю.С., Тимошенко Г.Н. Формирование двунитевых разрывов ДНК в нейронах головного мозга крыс при действии ускоренных ионов криптона (^{78}Kr) // Письма в ЭЧАЯ (в печати).
 12. Chausov V.N., Boreyko A.V., Bulanova T.S., Zadneprianets M.G., Ilyina E.V., Ježková L., Krasavin E.A., Kozhina R.A., Kuzmina E.A., Kulikova E.A., Smirnova E.V., Tiunchik S.I. Formation of Direct and Enzymatic DNA Double-Strand Breaks in the Presence of Repair Inhibitors after Exposure to Radiations of Different Quality // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2018. V. 15, No. 6. P. 700–710.
 13. Красавин Е.А., Борейко А.В., Заднепрянец М.Г., Ильина Е.В., Кожина Р.А., Кузьмина Е.А., Куликова Е.А., Смирнова Е.В., Тимошенко Г.Н., Тиунчик С.И., Чаусов В.Н. Влияние ингибиторов синтеза ДНК на биологическую эффективность пучка протонов в модифицированном пике Брэгга. Препринт ОИЯИ Р19-2018-48. Дубна, 2018.
 14. Чаусов В.Н., Борейко А.В., Буланова Т.С., Заднепрянец М.Г., Ильина Е.В., Йежкова Л., Красавин Е.А., Кожина Р.А., Кузьмина Е.А., Куликова Е.А., Смирнова Е.В., Тиунчик С.И. Формирование прямых и энзиматических двунитевых разрывов ДНК в условиях влияния ингибиторов репарации при действии излучений разного качества // Письма в ЭЧАЯ. 2018. Т. 15, № 6(218). С. 573–588.
 15. Kowalska A., Pereira W., Czernski K., Nasonova E., Kutsalo P. Fano Factor of Chromosome Aberrations and Assessment of Repair Efficiency // *Acta Phys. Polon. A.* 2018. V. 133. P. 225–227.
 16. Kowalska A., Nasonova E., Czernski K., Kutsalo P., Pereira W., Krasavin E. Production and Distribution of Chromosome Aberrations in Human Lymphocytes by Particle Beams with Different LET: Part I // *Rad. Environ. Biophys.* 2018 (submitted).
 17. Kowalska A., Czernski K., Nasonova E., Kutsalo P., Krasavin E. Production and Distribution of Chromosome Aberrations in Human Lymphocytes by Particle Beams with Different LET: Part II // *Rad. Environ. Biophys.* 2018 (submitted).
 18. Kowalska A., Czernski K., Nasonova E., Kutsalo P., Krasavin E. Initial Radiation DNA Damage Observed in Prematurely Condensed G2 Chromosomes of Human Lymphocytes and Analytical Model of Ion Tracks // The Fifth Intern. Conf. “Dynamics of Systems on the Nanoscale” (DySoN 2018), Potsdam, Germany, Oct. 8–12, 2018.
 19. Koltovaya N., Lyubimova K., Zhuchkina N. Genetic Effects after Irradiation of Heavy Ions in Haploid and Diploid Yeast Cells // Books of Abstr. of the Sixth Intern. Conf. on Radiation and Applications in Various Fields of Research (RAD 2018), Ohrid, Macedonia, June 18–22, 2018. P. 24.
 20. Koltovaya N., Zhuchkina N., Lyubimova K. All Types of Base Pair Substitutions Induced by γ -Rays in Haploid and Diploid Yeast Cells // *J. Bioeng. Life Sci.* 2018. V. 12. No. 9. P. 266–271.
 21. Яковлева М.А., Фельдман Т.Б., Ляхова К.Н., Утина Д.М., Виноградова Ю.В., Колесникова И.А., Островский М.А. Изменение в составе бисретиноидов в сетчатке и ретинальном пигментном эпителии глаза мыши при действии ионизирующего излучения // Тез. докл. междунар. конф. «Проблемы химической защиты и репарации при радиационных воздействиях», Дубна, 30–31 мая 2018 г. Дубна, 2018. С. 179–181.
 22. Ляхова К.Н., Иванов А.А., Молоканов А.Г., Северюхин Ю.С., Утина Д.М., Красавин Е.А. Влияние нейропептида Семакс на показатели поведенческой исследовательской реакции и силу скелетной муску-

- латуры мышей, облученных протонами // *Авиакосм. и экол. медицина*. 2018. Т. 52, № 4. С. 71–76.
23. Колесникова И. А., Буденная Н. Н., Северюхин Ю. С., Ляхова К. Н., Утина Д. М. Анализ морфофункционального состояния структур головного мозга экспериментальных животных при облучении протонами в отдаленный период // *Вестн. новых мед. технологий*. 2018. Т. 25, № 3. С. 177–181.
 24. Batmunkh M., Aksenova S. V., Bayarchimeg L., Bugay A. N., Lkhagva O. Optimized Neuron Models for Estimation of Charged Particle Energy Deposition in Hippocampus // *Physica Medica*. 2019. V. 57. P. 88–94.
 25. Bayarchimeg L., Bugay A., Batmunkh M., Lkhagva O. Evaluation of Radiation-Induced Damage in Membrane Ion Channels and Synaptic Receptors // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2019. V. 16. P. 54–62.
 26. Batmunkh M., Bugay A. N., Bayarchimeg L., Lkhagva O. Radiation Damage to Nervous System: Designing of Optimal Models for Realistic Neuron Morphology // *EPJ Web of Conf.* 2018. V. 173. P. 05004.
 27. Zdravković S., Satarić M. V., Parkhomenko A. Yu., Bugay A. N. Demodulated Standing Solitary Wave and DNA-RNA Transcription // *Chaos*. 2018. V. 28. P. 113103.
 28. Batova A. S., Bugay A. N., Dushanov E. B. Effect of Mutant NMDA Receptors on Oscillations in a Model of Hippocampus // *J. Bioinform. Comp. Biol.* 2019 (in press); <https://doi.org/10.1142/S0219720019400031>.
 29. Beskrovnaia L. G., Guseva S. V., Timoshenko G. N. Method for Monitoring of Neutron Fields near High-Energy Accelerators // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2018. V. 15, No. 3. P. 336–341.
 30. Toan C. N., Beskrovnaia L. G., Latysheva L. N., Sobolevsky N. M., Timoshenko G. N. Dosimeter for Measuring the Ambient Dose of Neutrons with Energy from 10^{-4} MeV to 1 GeV Based on a Cylindrical Polyethylene Moderator // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2019. V. 16, No. 1. P. 63–69.
 31. Астафьева М. М., Балаганский В. В. Кейвские парасланцы (архей–ранний протерозой), нанобактерии и жизнь // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2018. Т. 26, № 3. С. 117–126; doi: 10.7868/S0869592X18030080.
 32. Astafieva M. M. Life in Ancient Cooling Lava // *Paleontol. J.* 2018. V. 52, No. 10. P. 45–61; doi: 10.1134/S0031030118100052.
 33. Розанов А. Ю., Астафьева М. М. Архейские эвкарियोты: новый взгляд // *Докл. РАН*. 2018 (в печати).
 34. Розанов А. Ю. Биологизация в палеонтологии // *Фундаментальная и прикладная палеонтология: Материалы LXIV сессии Палеонтол. о-ва при РАН, Санкт-Петербург, Россия, 2–6 апр. 2018 г. СПб., 2018. С. 3–7.*



УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

На заседаниях 48-х сессий программно-консультативных комитетов по физике конденсированных сред и по ядерной физике поддержана рекомендация по открытию новой темы УНЦ «Организация, обеспечение и развитие программы подготовки кадров в ОИЯИ» на период 2019–2023 гг. Высокую оценку получили результаты работы УНЦ по завершающейся в 2018 г. теме «Организация, обеспечение и развитие образовательной программы ОИЯИ» по решению задач подготовки научных и инженерных кадров для реализации масштабных проектов на базе лабораторий Института и в научно-исследовательских центрах государств-членов ОИЯИ.

Международная студенческая практика. Международные практики по направлениям исследований ОИЯИ вызывают стабильно высокий интерес у молодежи — практикантами стали почти 1600 представителей государств-членов и ассоциированных стран. С 2004 г. наибольшее количество участников практики составили студенты из Польши — 315 человек, из Чехии — 250, из Румынии — 177. С 2007 г. ежегодно на практику приезжают группы из 20–30 студентов из университетов ЮАР, с 2009 г. — из Египта. В 2018 г. году число южноафриканских участников достигло 287 человек, а египтян — 224.

Первый этап практики начался 3 июня для 17 студентов из ЮАР. На второй этап практики с 9 июля приехали 75 студентов из Азербайджана, Болгарии, Польши, Румынии, Словакии, Чехии. В третьем этапе практики с 9 сентября участвовали 48 студентов из Белоруссии, Египта, Кубы, Монголии, Сербии.

В программу практики по традиции были включены обзорные лекции о деятельности лабораторий ОИЯИ и экскурсии на базовые установки, основное время было посвящено выполнению учебно-исследовательских проектов. В культурную программу входили экскурсии в Дмитров и Москву и лекции об истории России.

Образовательный процесс на базе ОИЯИ. В 2018 г. для более чем 400 студентов базовых ка-

федр МГУ, МФТИ, государственного университета «Дубна» и университетов государств-членов ОИЯИ был организован учебный процесс на базе Учебно-научного центра и лабораторий Института. Для более 300 студентов из вузов Белоруссии, Казахстана, России, Украины были организованы летние учебные и производственные практики в лабораториях ОИЯИ.

В 2018 г. к ОИЯИ прикреплены 28 соискателей из Белоруссии, Грузии, Казахстана, Монголии, РФ, США и Украины для подготовки диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук без освоения программ в аспирантуре.

На 2018/2019 учебный год на сайте УНЦ (uc.jinr.ru) для студентов базовых кафедр МФТИ, МГУ и государственного университета «Дубна» подготовлены 89 лекционных курсов.

К действующим на базе ОИЯИ 12 кафедрам МГУ, МИФИ, МФТИ, государственного университета «Дубна» в 2018 г. присоединилась кафедра ядерно-физического материаловедения Казанского федерального университета.

МИФИ и ОИЯИ объявили о первом наборе на новую сетевую образовательную программу магистратуры для совместной подготовки кадров для ОИЯИ, в частности для проекта NICA.

Летняя студенческая программа ОИЯИ 2018 г. 63 участника летней студенческой программы 2018 г. из Белоруссии, Болгарии, Бразилии, Германии, Египта, Италии, Казахстана, Китая, Кубы, Польши, Румынии, России, Сербии, Узбекистана, Украины в течение 4–8 недель выполняли студенческие исследовательские проекты в научных подразделениях ОИЯИ. В программе принимали участие студенты, закончившие третий или четвертый курс бакалавриата, обучающиеся в магистратуре, аспиранты первого года обучения.

Международная школа по ядерным методам в науке о жизни и окружающей среде NMELS'18. 22–28 апреля в Черногории проходила Международная школа по ядерным методам в науке о жизни и окружающей среде, организованная УНЦ, ЛНФ и

ЛЯП. Школа была посвящена изучению ядерных и смежных методов для экологических исследований различных экосистем: по загрязнению воздуха, воды и почвы, технологиям очистки воды, радиоэкологии, а также ядерной медицине (радиоизотопы и адронная терапия) и ядерным детекторам в медицине. Участники школы — более 50 студентов и аспирантов из Албании, Болгарии, Боснии, Венгрии, Греции, Македонии, Румынии, Сербии, Хорватии, Черногории.

Сателлитная школа в Петрозаводске. 8–9 сентября в Петрозаводском государственном университете (ПетрГУ) состоялась сателлитная школа для студентов старших курсов, аспирантов и молодых ученых Физико-технического и Медицинского институтов ПетрГУ. Школа предваряла работу IX Международного симпозиума по экзотическим состояниям ядер (EXON'2018).

Международные научные школы для учителей физики в ОИЯИ и ЦЕРН. С 24 по 30 июня в Дубне проходила очередная школа для учителей физики из стран-участниц ОИЯИ, организованная в сотрудничестве с Европейской организацией ядерных исследований (ЦЕРН). В работе школы принимали участие 23 преподавателя и 13 учеников из Белоруссии, Индии, Молдовы, России, Украины. Гости познакомились с направлениями научной деятельности ОИЯИ: ведущие специалисты Института прочитали лекции, провели экскурсии в лаборатории и показали экспериментальные установки. Для школьников была подготовлена специальная программа: физический практикум, а также выступления с докладами на научном семинаре.

С 4 по 11 ноября в ЦЕРН проходила 11-я научная школа для учителей физики из государств-членов ОИЯИ. Для 24 преподавателей из Белоруссии, России и Украины была организована программа, включающая лекции, экскурсии и встречи с учеными. Сотрудники ЦЕРН, ОИЯИ и других российских научных организаций, работающие в ЦЕРН, прочитали ознакомительные лекции по физике частиц, космологии, радиационной биологии и компьютерингу. Участники узнали о научной программе и экспериментальных установках Большого адронного коллайдера, осмотрели центр управления ЛНС, испытательную установку SM18 и фабрику антиматерии, посетили музей «Микрокосм», учебную физическую лабораторию S'Cool Lab и медийный центр «Глобус».

VIII Всероссийский фестиваль NAUKA0+. В Москве на VIII Всероссийском фестивале NAUKA0+ «Мегасайенс: Россия в мире — Россия для мира» ОИЯИ разместил свои экспозиции на двух самых престижных площадках. В Фундаментальной библиотеке МГУ научные сотрудники Института читали лекции о современных исследованиях и представляли макеты действующих и будущих установок

ОИЯИ, таких как детектор MPD, циклотрон У-400, глубоководный нейтринный телескоп эксперимента «Байкал» и настоящий оптический модуль из этого эксперимента, Медико-технический комплекс ЛЯП ОИЯИ. В Экспоцентре сотрудники ОИЯИ провели программу для младших школьников, включавшую мастер-классы, лекции, опыты и эксперименты по физике, химии и робототехнике.

Впервые в фестивале принимал участие государственный университет «Дубна» с проектом «Высшая инженерно-техническая школа». Также впервые государственный университет «Дубна» стал региональной площадкой фестиваля NAUKA0+.

Работа со школьниками. Межшкольным физико-математическим факультативом при УНЦ в 2018/2019 учебном году для школьников 6–11-х классов организованы занятия, включающие лабораторные работы и подготовку к сдаче ЕГЭ. Весной и осенью проводились открытые олимпиады по физике и математике.

Учащиеся из межшкольного физико-математического факультатива стали победителями и призерами олимпиад по математике, физике, информатике на 26-й Международной космической олимпиаде школьников в Королеве.

Дни физики 2018 г. 31 марта – 1 апреля УНЦ ОИЯИ и городской межшкольный физико-математический факультатив в пятый раз проводили в Дубне Дни физики. В мероприятии принимали участие школьники из Брянска, Дубны, Москвы. В программу праздника входили физические опыты, научный квест «В царстве жидкого азота», астрономические наблюдения, подготовленные клубом «Астро-Дубна», математические задачи и конкурсы.

7-й турнир CyberDubna-2018. 10–11 февраля в Дубне проходил 7-й турнир по робототехнике Открытой Верхневолжской образовательной кибернетической сети CyberDubna-2018, организованный УНЦ ОИЯИ и Межрегиональной компьютерной школой. В организации турнира также принимали участие системный интегратор КРОК, Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, МГТУ им. Н. Э. Баумана и ООО «Цитадель». Участниками турнира стали 120 школьников из Владимирской, Московской и Тверской обл. Школьники соревновались в умении создавать и программировать роботов, участвовали в гонках по линии, занимались в творческой мастерской и слушали лекцию «Роботы и космос», познакомились с деятельностью Института в Музее истории науки и техники ОИЯИ.

Международная компьютерная школа в Ратмино. Юбилейная 30-я Межрегиональная компьютерная школа им. В. Волокитина и Е. Ширковой, организованная при поддержке УНЦ ОИЯИ, проходила 4–18 августа в доме отдыха «Ратмино». В рамках

школы 60 слушателей в возрасте от 7 до 16 лет из Белоруссии, России, США, Узбекистана и Швейцарии выполняли научные проекты по физике, химии, математике, биологии, робототехнике и другим дисциплинам. В программу были включены спецкурсы для углубления и актуализации школьных знаний, лекции ведущих ученых и специалистов, спортивные мероприятия, а также обширная культурная программа.

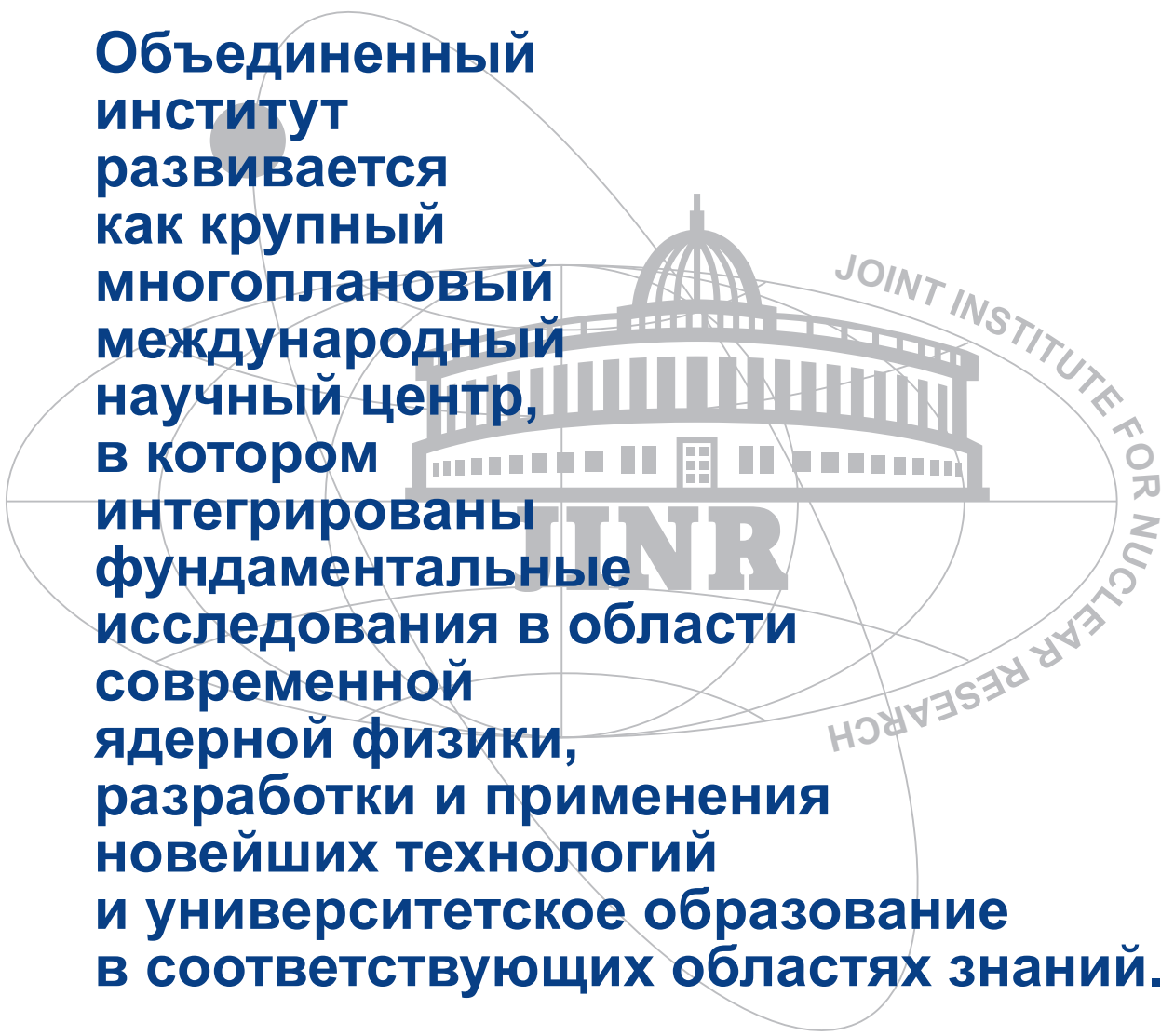
Организация визитов. В 2018 г. ознакомительные программы были организованы для 967 школьников, студентов и учителей из Германии, Израиля, Монголии, России, Словении, Франции и Японии. Гости познакомились с экспозицией Музея истории науки и техники ОИЯИ, с историей лабораторий и проводящимися в них современными исследованиями, посетили базовые установки.

О подготовке и повышении квалификации рабочих, ИТР и служащих. 102 сотрудника ОИЯИ и 4 представителя дубненских организаций прошли обучение на курсах по подготовке персонала, обслужи-

вающего объекты, подведомственные Ростехнадзору. Руководящие работники, ИТР и служащие Института, всего 142 человека, обучались на курсах повышения квалификации и прошли аттестацию в Центральной аттестационной комиссии ОИЯИ по нормативным правовым актам и нормативно-техническим документам, устанавливающим требования промышленной безопасности в различных отраслях надзора, и Территориальной аттестационной комиссии Центрального управления Ростехнадзора. Обучение по пожарно-техническому минимуму прошли 66 сотрудников Института, 9 сотрудников были направлены на обучение по пожарно-техническому минимуму и охране труда в Образовательный центр «Дубна». Производственная практика в ОИЯИ была организована для 14 учащихся колледжа государственного университета «Дубна» и МОАТТ.

На языковых курсах в УНЦ обучались 164 сотрудника ОИЯИ: в группах английского языка — 118 человек, французского и немецкого — по 17, в группах русского языка — 12 иностранных специалистов.

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.

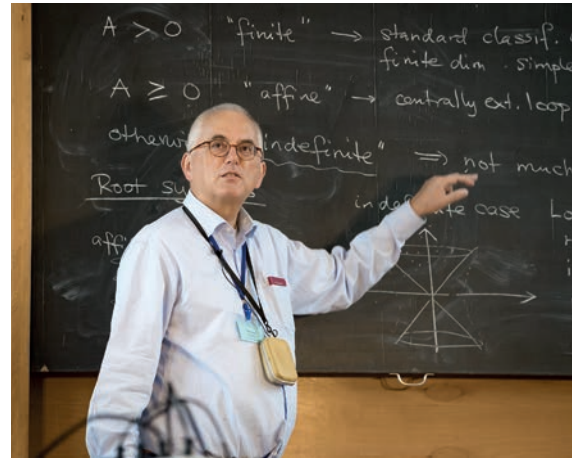




Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 6 марта. Открытие памятной доски к 90-летию со дня рождения Дмитрия Васильевича Ширкова

Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 11 января. Общественный семинар, посвященный 110-летию со дня рождения Дмитрия Ивановича Блохинцева





Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, 29 января – 2 февраля. Международная зимняя школа для студентов, аспирантов и молодых ученых «Статистические суммы и автоморфные формы»

Дубна, 20–31 августа. Участники Гельмгольцевской международной летней школы «Материя при экстремальных условиях в столкновениях тяжелых ионов и в астрофизике»





Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 2 февраля. Члены наблюдательного совета по мегасайенс-проекту NICA на экскурсии в лаборатории

Строительная площадка комплекса NICA





Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 7–8 июня. Совещание международного экспертного комитета ОИЯИ по проекту ускорительного комплекса NICA

Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 12 апреля.
Участники первого коллаборационного совещания по экспериментам MPD и BM@N на экскурсии в лаборатории





Дубна, 17 сентября. Открытие 24-го Международного Балдинского семинара «Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика»

Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 4 мая. Участники семинара, посвященного 10-летию образования ЛФВЭ





Дубна, 17 июля. Итальянская делегация в ОИЯИ. Посещение Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина

Дубна, 10 августа. Делегация Китайской национальной ядерной корпорации (CNNC) и Китайского института атомной энергии (CIAE) на строительной площадке NICA

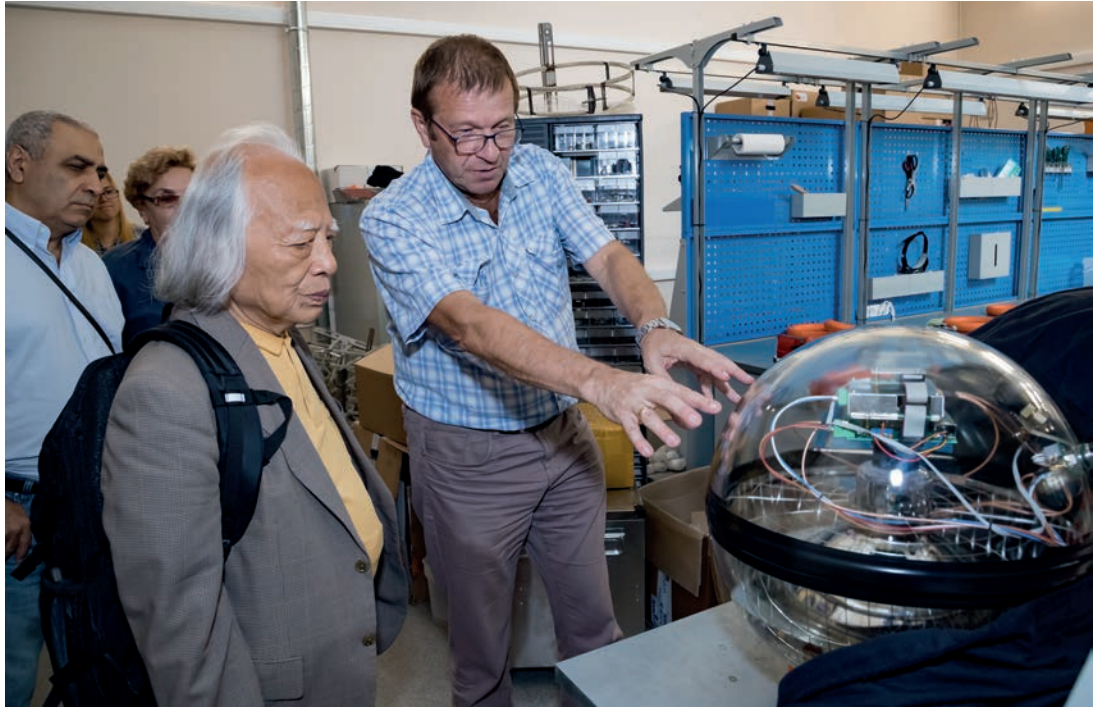




Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, 31 октября.
День открытых дверей для знакомства с проектом NICA



Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Дзелепова. Участники создания гамма-телескопа для астрофизических исследований в эксперименте «Тайга»



Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Дзелепова, 26 июля. Профессор Университета Сайтама А. Мисаки (Япония) на экскурсии в лаборатории

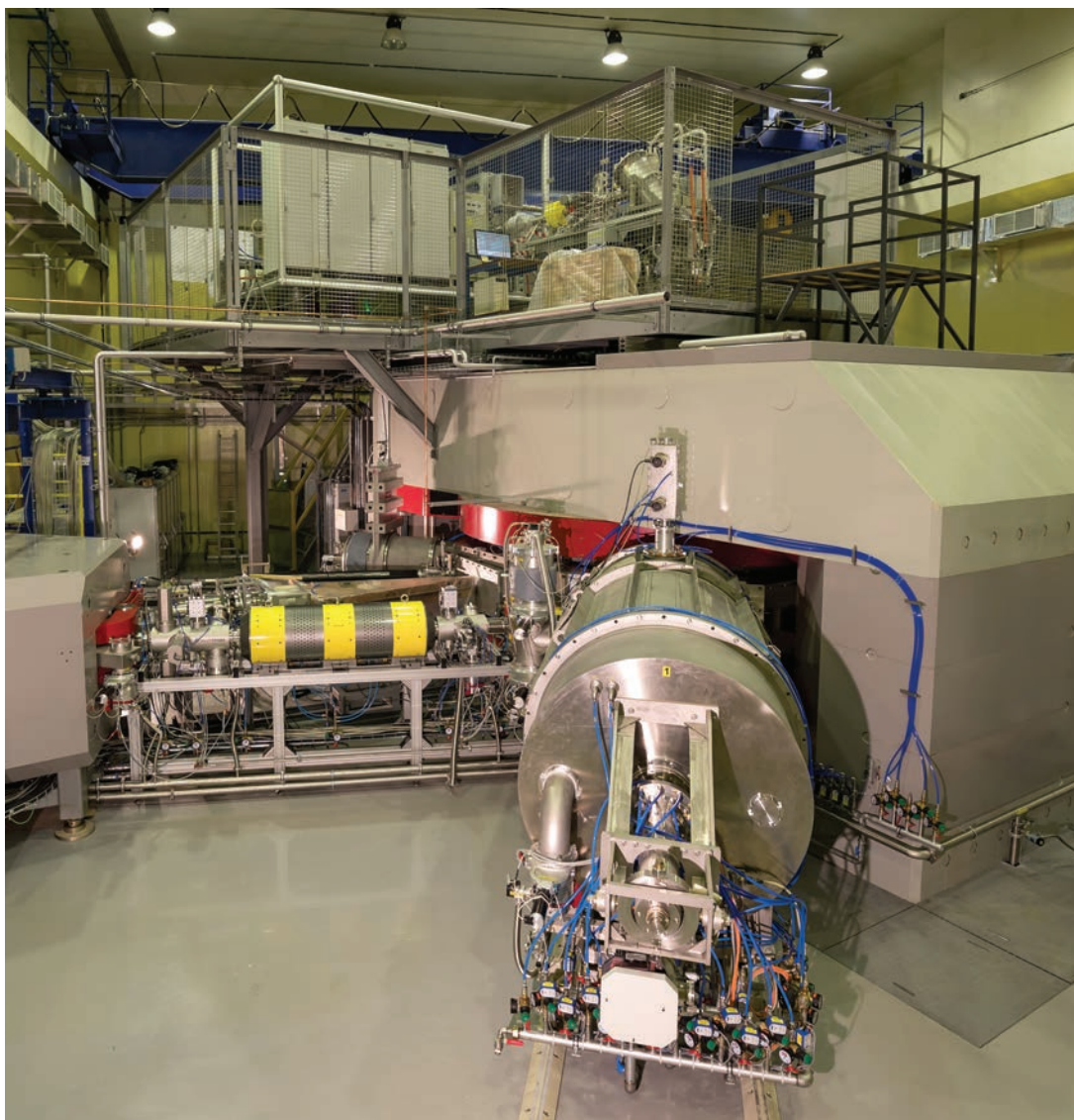
Дубна, 2–4 октября.
Международное рабочее совещание по нейтринным телескопам очень большого объема (VLVnT-2018)





Москва, 30 марта.
Академик Ю. Ц. Оганесян
и профессор Б. Йонсон
на ежегодном Общем собрании
Российской академии наук
после вручения больших золотых
медалей им. М. В. Ломоносова РАН

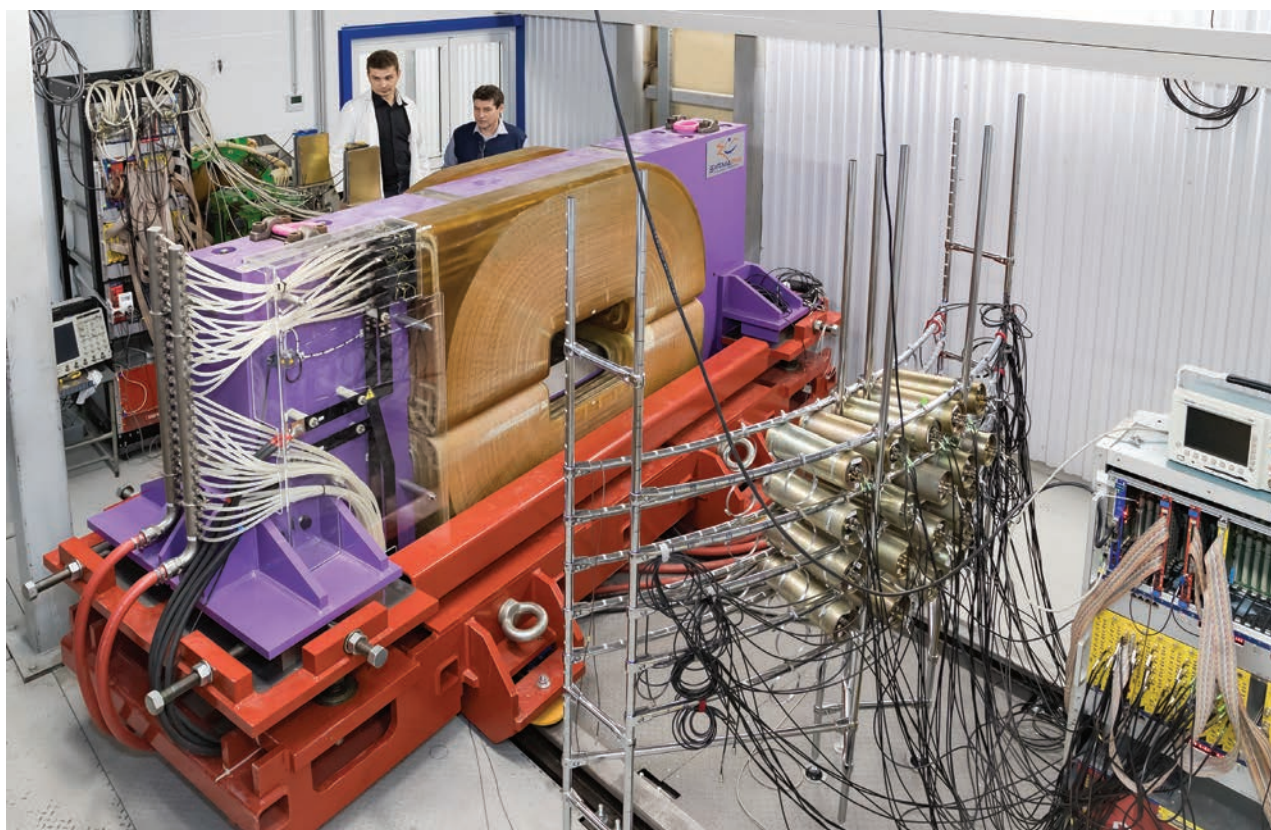
Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова.
Завершено создание ускорителя ДЦ-280 — базовой установки фабрики сверхтяжелых элементов





Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова, июнь. Участники работ по завершению сборки магнитной системы ГНС-2 фабрики сверхтяжелых элементов

Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова. Массив нейтронных детекторов, установленных за дипольным магнитом и задействованных для организации совпадений с протонами из реакции ${}^9\text{Li} + d$





Дубна, 3–5 сентября. Участники 41-й Европейской конференции по развитию циклотронов

Петрозаводск, 10–15 сентября. Участники 9-го Международного симпозиума по экзотическим ядрам (EXON'2018)



INTERNATIONAL SEMINAR DEDICATED TO THE 110TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF NOBEL PRIZE WINNER, ACADEMICIAN ILYA MIKHAILOVICH FRANK



Joint Institute for Nuclear Research
Division of Physical Sciences of RAS
Faculty of Physics, Moscow State University
D.V.Skobeltsin Institute of Nuclear Physics



October 23-24

JINR Scientists' Club, Dubna, Joliot-Curie St., 6

Organizing Committee:

Co-chairmen: V.A. Matveev, V.L. Aksenov, V.N. Shvetsov

Members:

A.M. Balagurov (JINR), A.V. Vinogradov (JINR),
T.S. Donskova (JINR), S.V. Kozenkov (JINR), D.P. Kozlenko (JINR),
O. Culicov (JINR), S.A. Kulikov (JINR), N. Kučerka (JINR),
E.V. Lychagin (JINR), M.I. Panasyuk (SINP),
V.A. Rubakov (INR RAS), N.N. Sysoev (MSU), D. Chudoba (JINR),
A.I. Frank (JINR), I.A. Scherbakov (IGP RAS)

The program of the Seminar will include reports covering
the research areas of I.M.Frank's interest:

- Neutron optics and ultracold neutrons
- Biophysics and condensed matter physics
 - Physics of reactors, neutron sources
 - Cherenkov and transition radiation
 - Physics of cosmic rays

Contact us:
Scientific_Secretary@nf.jinr.ru
t.: +7(496)216-50-96



Дубна, 23 октября. Научно-мемориальный семинар, посвященный 110-летию со дня рождения лауреата Нобелевской премии по физике академика И. М. Франка



Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка. Оборудование для получения новых керамических и специальных сплавов при высоких температуре и давлении

Дубна, 6–8 декабря. Совещание «Перспективные идеи и эксперименты для нового дубненского источника нейтронов четвертого поколения (ДИН-IV)»





Сиань (Китай), 28 мая. Участники 26-го Международного семинара по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-26)



Дубна, 3–5 июля. 8-я Международная конференция «Биомониторинг атмосферных загрязнений» (BioMAP-8)

Дубна, 3 декабря. Конференция молодых ученых и специалистов ЛНФ





Лаборатория информационных технологий, 27 марта. Презентация суперкомпьютера «Говорун»

Дубна, 26 сентября. Визит в ОИЯИ представителей
Министерства науки и технологий Китая. Посещение Лаборатории информационных технологий





Лаборатория информационных технологий, 10 сентября. Участники 8-й Международной конференции «Распределенные вычисления и грид-технологии в науке и образовании»

Ратмино, 4–18 августа. Юбилейная 30-я Межрегиональная компьютерная школа им. В. Волокитина и Е. Ширковой, организованная при поддержке УНЦ ОИЯИ





Дубна, 31 мая. Победители конкурса докладов молодых ученых в рамках международной конференции «Проблемы химической защиты и репарации при радиационных воздействиях»

Дубна, 17 октября. Международная конференция «Современные проблемы космической радиобиологии и астробиологии»





Дубна, 7 декабря. Визит в ОИЯИ совместной делегации Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства и Института медико-биологических проблем РАН

Лаборатория радиационной биологии.
Исследование влияния космических видов излучений на живые организмы





Дубна, 4 июня. 1-й этап международной студенческой практики в ОИЯИ для участников из Южно-Африканской Республики. Экскурсия в Лабораторию ядерных проблем им. В. П. Джелепова

Дубна, 12 апреля. Ознакомительный визит в ОИЯИ старшекласников и преподавателей Центра естественно-научного образования ХЕМДА (Тель-Авив, Израиль)





Алушта (Крым, Россия), 11–18 июня. Участники 7-й Школы-конференции молодых ученых и специалистов

Дубна, 31 марта – 1 апреля. Дни физики





Москва, 12–14 октября.
Участие ОИЯИ
в 13-м Московском
фестивале НАУКА0+



2018





ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

В 2018 г. издательский отдел выпустил в свет 72 наименования публикаций, 39 наименований служебных материалов.

Среди изданных в 2018 г. сборников аннотаций и трудов различных конференций, школ и совещаний, организованных ОИЯИ, можно назвать: труды конференции «Новые тенденции в физике высоких энергий» (Будва, 2–8 октября 2016 г.), труды студенческой постерной сессии VII Международной школы по физике нейтрино им. Б. М. Понтекорво (Прага, 20 августа – 1 сентября 2017 г.), труды XXV Международного семинара по взаимодействию нейтронов с ядрами ISINN-25 (Дубна, 22–26 мая 2017 г.), сборник аннотаций 8-го Международного рабочего совещания по биомониторингу атмосферных загрязнений BIOMAP-8 (Дубна, 2–7 июля 2018 г.).

Вышли из печати годовые отчеты ОИЯИ за 2017 г. (на русском и английском языках).

Выпущена книга «Объединенный институт ядерных исследований в эксперименте ATLAS. 1992–2015 гг.» (авторы В. А. Бедняков, Ю. А. Будагов, В. В. Кухтин, Н. А. Русакович, А. П. Чеплаков, Г. А. Шелков, Е. В. Храмов), посвященная описанию вклада сотрудников ОИЯИ в проектирование, разработку, сборку, отладку, запуск и успешную эксплуатацию всех основных узлов установки ATLAS, а также в получение на ней физических результатов фундаментальной важности.

Вышла в свет книга известных итальянских физиков А. Нисати и Г. Тонелли «Открытие бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере» — перевод на русский язык работы, опубликованной ранее в журнале «La Rivista del Nuovo Cimento».

В 2018 г. вышли из печати 6 выпусков журнала «Физика элементарных частиц и атомного ядра», включающих 145 статей. Издано 7 номеров журнала «Письма в ЭЧАЯ», содержащих 171 статью.

Продолжался выпуск информационного бюллетеня «Новости ОИЯИ» на русском и английском языках.

В 2018 г. было отпечатано 52 номера еженедельника ОИЯИ «Дубна: наука, сотрудничество, прогресс».

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 114 статей и докладов, содержащих результаты работ дубненских ученых. Статьи сотрудников ОИЯИ направлялись в журналы «Ядерная физика», «Теоретическая и математическая физика», «Атомная энергия», «Приборы и техника эксперимента», «Радиационная биология. Радиоэкология», «Радиохимия», «Кристаллография», «Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования», «Физика твердого тела» и др.

Оперативному информированию читателей Научно-технической библиотеки о новых поступлениях служат выпускаемые издательским отделом экспресс-бюллетени НТБ. Увидел свет «Библиографический указатель работ сотрудников ОИЯИ за 2017 г.». Продолжался выпуск экспресс-бюллетеней отдела лицензий и интеллектуальной собственности.

Издательским отделом выполнялись многочисленные заказы лабораторий на печать постеров — стендовых докладов сотрудников Института для представления на конференциях и совещаниях.

По заявкам лабораторий и других подразделений ОИЯИ выполнялись переплетные работы, копирование и сканирование научно-технической и инженерно-конструкторской документации. Отпечатано около 135 тыс. различных бланков.

В 2018 г. в издательском отделе установлено новое полиграфическое оборудование — цифровая печатная машина Konica Minolta AccurioPress C3080P и одноножевая бумагорезальная машина Guowang с длиной реза 115 см.



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

В 2018 г. число читателей Научно-технической библиотеки составило 2000 человек. Внедрена электронная система учета выдачи и возврата литературы. Количество выданной литературы — 7780 экземпляров. На 1 января 2019 г. библиотечный фонд составил 437 454 экз., из них 194 365 экз. на иностранных языках.

По заявкам читателей по межбиблиотечному абонементу получено 133 издания, выполнено 56 заявок из других библиотек. По всем источникам комплектования поступило 2398 экз. книг, периодических изданий, препринтов, диссертаций и авторефератов, 1047 из них на иностранных языках. Все поступившие издания фиксировались в центральном каталоге, каталогах филиала, а также в автоматизированной информационно-библиотечной системе «Absotheque». Ежедневно выпускались экспресс-бюллетени «Книги», «Статьи», «Препринты» (вышло в свет 156 номеров) с информацией относительно 8006 названий. Электронные версии информационных бюллетеней ежедневно рассылаются по 100 адресам по e-mail. Подписаться можно в разделе «Сервисы» на сайте НТБ: http://lib.jinr.ru/ntb_mail/newslst.html.

Каждую неделю обновлялись выставки новых поступлений книг, препринтов, периодических изданий, диссертаций и авторефератов. На них представлено 1955 изданий. Организовано 5 тематических выставок.

Электронные каталоги журналов, статей, препринтов, книг, диссертаций и авторефератов доступны в Интернете по адресу: <http://lib.jinr.ru:8080/Орас-Unicode/>.

Общее количество обращений к электронным каталогам НТБ составило 15 тыс. В электронном каталоге через личный кабинет читатели могут заказать необходимую литературу, а также просмотреть свои читательские формуляры (см. сайт НТБ, раздел «Электронные каталоги»).

Выпущен «Библиографический указатель работ сотрудников ОИЯИ за 2017 г.» (1463 записи). Указатель со ссылками на полные тексты публикаций доступен в Интернете (см. сайт НТБ, раздел «Сервисы»): http://lib.jinr.ru/buk/2016/bibl_uk.php. Подготовлен один биобиблиографический указатель.

Отсканировано и размещено в электронном каталоге 2229 препринтов и сообщений ОИЯИ. База данных работ сотрудников ОИЯИ доступна в Интернете через электронные каталоги.

Библиотека получает 113 названий периодических изданий. Благодаря тому, что НТБ 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 участию НТБ в консорциумах Министерства науки и высшего образования и РФФИ сотрудники ОИЯИ получили электронный доступ к журналам издательств «Elsevier», «Wiley», журналу «Nature», журналам и книгам издательства «Springer», 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 51 новое библиографическое описание. Информационно-поисковая система «Литература об ученых ОИЯИ» доступна для пользователей в разделе сайта НТБ «Публикации об ОИЯИ»: <http://who-is-who.jinr.ru/catalog3/main.html>.

В 2018 г. в порядке обмена на публикации, выпускаемые издательским отделом ОИЯИ, поступило 476 изданий из 14 стран. Из них на долю России приходится 67, Украины — 5, Румынии — 25, Германии — 262, Франции — 10, Японии — 42, ЦЕРН — 26.

В 2018 г. в автоматизированную информационно-библиотечную систему «Absotheque» введено: книг — 876 названий; журналов — 1804 номера; препринтов — 2713 названий; диссертаций и авторефератов — 452 названия; книжных статей — 665 названий и журнальных статей — 8124 названия.

На 1 января 2019 г. количество библиографических описаний в АИБС «Absotheque» составило 299 682 записи.

Библиометрические показатели публикационной активности сотрудников ОИЯИ за 2018 г. (по данным международной базы данных «Web of Science» на 31.01.2019):

- всего публикаций — 1 406;
- суммарное количество цитирований — 1 619;

- без самоцитирования — 1 229;
- среднее число цитирований документа — 1,15;
- индекс Хирша — 16.

Количество совместных публикаций авторов 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	313
Азербайджан	168
Белоруссия	320
Болгария	251
Вьетнам	18
Грузия	265
Казахстан	36
Куба	33
Молдавия	17
Монголия	55
Польша	445
Словакия	219
Румыния	232
Украина	253
Узбекистан	32
Чехия	398

* Страны располагаются в алфавитном порядке.

Таблица 2. Совместные публикации с авторами из стран — ассоциированных членов ОИЯИ

Страна *	Количество публикаций
Венгрия	295
Германия	584
Египет	162
Италия	446
Сербия	271
Южно-Африканская Республика	160

* Страны располагаются 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	486	Дания	147
Франция	418	Литва	147
Китай	407	Новая Зеландия	147
Швейцария	364	Эстония	145
Англия	347	Латвия	145
Турция	328	Катар	142
Бразилия	324	Шотландия	140
Испания	314	Чили	136
Греция	303	Израиль	133
Австрия	297	Шри-Ланка	118
Тайвань	291	Аргентина	115
Португалия	286	Словения	114
Южная Корея	264	Марокко	110
Колумбия	262	Саудовская Аравия	83
Индия	253	Палестина	56
Япония	238	ОАЭ	42
Малайзия	234	Индонезия	31
Швеция	216	Перу	31
Пакистан	212	Таджикистан	7
Австралия	210	Иордания	5
Мексика	198	Алжир	3
Хорватия	197	Уэльс	3
Нидерланды	196	Албания	2
Финляндия	195	Ботсвана	2
Бельгия	179	Македония	2
Таиланд	178	Черногория	2
Кипр	162	Коста-Рика	1
Норвегия	156	Люксембург	1
Иран	153	Нигерия	1
Ирландия	152	Уганда	1
Канада	150	Уругвай	1
Эквадор	149	Венесуэла	1

* Страны/регионы располагаются по мере убывания числа публикаций.



ОТДЕЛ ЛИЦЕНЗИЙ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

В 2018 г. работа отдела лицензий и интеллектуальной собственности (ОЛИС) проводилась по следующим направлениям.

В области работы по защите промышленной интеллектуальной собственности. Велась работа по заявкам на патенты ОИЯИ, прошедшим формальную экспертизу Федерального института промышленной собственности (ФИПС) в 2016–2018 гг. Проведено согласование, внесены изменения, добавления, уточнения в заявочные документы по замечаниям экспертов ФИПС. Выполнена экспертиза ряда проектных разработок сотрудников ОИЯИ на предмет патентоспособности, включающая определение объектов правовой охраны и их классификацию в соответствии с Международной патентной классификацией (МПК), поиск аналогов и прототипов. Подготовлены отчеты о патентных исследованиях, по семи разработкам совместно с авторами подготовлены комплекты заявочных документов, которые поданы в Роспатент РФ для получения патентов на изобретения:

- «Устройство вывода заряженных частиц из циклического ускорителя»;
- «Газонаполненный детектор для измерения малоуглового рассеяния тепловых нейтронов»;
- «Устройство для наблюдения солнечной короны»;
- «Способ моделирования химического поведения атомов сверхтяжелых элементов»;
- «Гибридный пиксельный детектор ионизирующих излучений»;
- «Устройство для исследования свойств струйки координатного детектора частиц»;
- «Способ повышения частоты образования двунитовых разрывов ДНК в клетках человека при действии ионизирующих излучений в условиях влияния радиомодификаторов».

В 2018 г. по ранее поданным заявкам завершена работа и получено 11 патентов РФ на изобретения:

- «Способ медленного вывода пучка заряженных частиц» автора Г. В. Долбилова;
- «Способ многооборотной инжекции заряженных частиц в циклический ускоритель» автора Г. В. Долбилова;

— «Криогенное фланцевое разъемное соединение для шарикового холодного замедлителя нейтронов» авторов К. А. Мухина, А. А. Кустова;

— «Способ определения коэффициента Пуассона материала герметичной полимерной трубки» авторов А. Д. Волкова, З. Цамалаидзе;

— «Полупроводниковый пиксельный детектор заряженных сильно ионизирующих частиц (многозарядных ионов)» авторов Г. А. Шелкова, Д. А. Кожевникова, П. И. Смолянского, М. А. Демичева, С. А. Котова, В. Г. Кручонка, А. С. Жемчугова, Абдельшакура Эль Саида Мохаммеда Абу Эльазма;

— «Способ медленного вывода пучка заряженных частиц из циклического ускорителя» автора Г. В. Долбилова;

— «Способ профилактики снижения мышечной силы при острой лучевой болезни в эксперименте» авторов А. А. Иванова, Е. А. Красавина, К. Н. Ляховой, Ю. С. Северюхина, А. Г. Молоканова;

— «Энергонезависимый защитный клапан для дрейфовой камеры, работающей в вакууме» авторов Л. Глонти, В. Д. Кекелидзе, Ю. К. Потребеникова, В. А. Самсонова, В. Ф. Чепурнова;

— «Способ изменения реактивности в импульсных ядерных установках периодического действия на быстрых нейтронах с порогово-деляющимися изотопами» авторов Е. П. Шабалина, Г. Г. Комышева;

— «Способ определения пространственных профилей ядерного и магнитного потенциалов взаимодействия поляризованных нейтронов со слоистой структурой» авторов Ю. В. Никитенко, В. Д. Жакетова;

— «Планарный полупроводниковый детектор» авторов Г. А. Шелкова, Д. А. Кожевникова, П. И. Смолянского, С. А. Котова, В. Г. Кручонка, А. С. Жемчугова, Лейвы Фабело Антонио.

Зарегистрирована в Роспатенте программа ЭВМ «Программный комплекс интеллектуального диспетчирования и адаптивной самоорганизации виртуальных вычислительных ресурсов» авторов Н. А. Балашова, А. В. Баранова, И. С. Кадочникова, В. В. Коренькова, Н. А. Кутовского, И. С. Пелевнюка.

На 1 января 2019 г. ОИЯИ обладает 69 действующими патентами РФ на изобретения.

В области патентно-информационной работы. В 2018 г. получено 36 номеров официального издания Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» бюллетеня «Изобретения. Полезные модели». Информация, опубликованная в этих бюллетенях, обработана с учетом тематики ОИЯИ. Результаты обработки оформлены в 12 выпусках бюллетеня ОЛИС «Патенты». Фонд отдела сейчас составляет 3343 бюллетеня.

Регулярно обновляется информационный лист ОЛИС о получении сотрудниками Института очередного патента и ведется постоянный контакт с web-сайтом ОИЯИ о включении этой информации в раздел «Новости ОИЯИ». Обновляется Интернет-страница ОЛИС на сайте ОИЯИ.

В области стандартизации. Библиотека стандартов пополнена 35 новыми межгосударственными и государственными стандартами РФ, 12 указателями ГОСТов и информационными указателями стандартов за 2018 г., указателями национальных стандартов, технических условий, руководящих документов, рекомендаций и правил 2018 г. На основании этих нормативных документов (НД) внесено 170 изменений в соответствующие документы фонда библиотеки стандартов и экземпляры абонентов. Выдано

в подразделения 11 официальных копий ГОСТов в постоянное пользование. Поддерживается доступ к базе данных библиотеки стандартов, содержащей около 11700 позиций, на Интернет-странице ОЛИС.

Информация о поступлениях НД и изменениях в ГОСТах регулярно поставляется в подразделения.

Продолжается работа по внесению изменений в базу данных «Перечень нормативно-технических документов, действующих в Объединенном институте ядерных исследований». По состоянию на конец 2018 г. база данных содержит более 8600 нормативных стандартов и НД с гиперссылками на эти документы, опубликованные на сайтах официального Интернет-портала правовой информации РФ (pravo.gov.ru), Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), справочно-правовой системы «Консультант Плюс». За 2018 г. база пополнена стандартами РФ (ГОСТы Р ИСО, ГОСТы), руководящими документами, методическими указаниями, рекомендациями и ссылками на вышеуказанные сайты нормативных документов, имеющихся в библиотеке НТД ОЛИС и в подразделениях ОИЯИ. Продолжается работа по обновлению сведений о действующих в России межгосударственных стандартах (ГОСТ), национальных стандартах РФ (ГОСТ Р) и иной нормативно-технической документации, относящейся к деятельности ОИЯИ.

2018

**АДМИНИСТРАТИВНО-
ХОЗЯЙСТВЕННАЯ
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH



ФИНАНСОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В рамках выполнения решений Финансового комитета и КПП (протоколы от 18–19 и 21–22 ноября 2016 г.) начиная с 2017 г. осуществляется формирование управленческой отчетности по кассовому методу, при котором фактические доходы и расходы пересчитываются в валюту отчета (доллары США) по курсу на дату совершения операции.

Всего в 2018 г. в ОИЯИ поступило 207,7 М\$, что составило 100 % от плановых доходов бюджета. Более 94 % от всех фактических доходов составили долевые взносы государств-членов ОИЯИ.

Более 65 % от суммы уплаченных долевых взносов государств-членов и погашения задолженности государств-членов было получено в первом полугодии 2018 г.

Основные расходы бюджета были предусмотрены на оплату труда сотрудникам Института и на обеспечение материальных затрат по реализации основных научных проектов, таких как проект по созданию ускорительного комплекса NICA, проект по созданию циклотронного комплекса DRIBs-III, нейтринная программа, развитие исследовательской ядерной установки ИБР-2 и спектрометров, информационное, компьютерное и сетевое обеспечение деятельности Института.

Фактические расходы за прошедший год по данным бухгалтерского отчета суммарно составили

211,6 М\$ при плане 268,8 М\$, таким образом, расходы бюджета выполнены на 79 %.

Основные расходы бюджета сосредоточены в двух консолидированных статьях: «Персонал» и «Материальные затраты, НИОКР и строительство».

Расходы на персонал в 2018 г. составили 73,1 М\$. Их доля от общей суммы фактических расходов бюджета — 34,5 %.

Консолидированная статья «Материальные затраты, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) и строительство» является самой значительной в расходах бюджета. Средства были направлены на создание, модернизацию и развитие базовых экспериментальных установок.

В 2018 г. фактически использовано 103,7 М\$, что составило 83 % от запланированных в бюджете средств на материальные расходы.

В целом, доля материальных расходов составила 49 % от всех фактических расходов. Для сравнения: в 2013 г. доля фактических материальных расходов составила 28 % от общей суммы расходов, в 2014 — 33 %, в 2015 — 39 %, в 2016 — 48 %.

Из 103,7 М\$ фактических материальных расходов более 90 % было использовано для реализации научных проектов Института, что является главным приоритетом использования бюджетных средств.

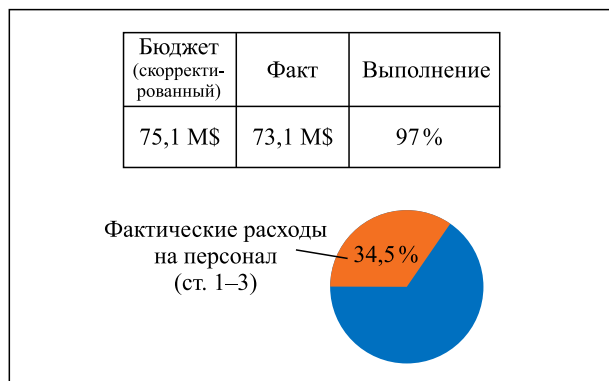


Рис. 1. Фактические расходы на персонал в 2018 г.

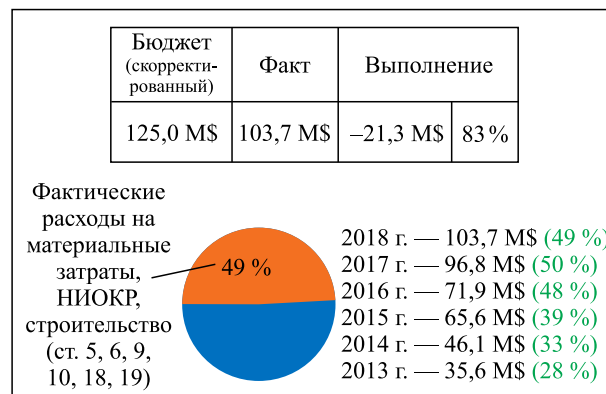


Рис. 2. Фактические расходы на материальные затраты, НИОКР и строительство в 2018 г.

Фактические расходы на международное сотрудничество составили 8,7 М\$. Большая часть этих расходов была выделена на поездки сотрудников в крупнейшие научные центры, а также в страны, не являющиеся членами ОИЯИ, с которыми заключены соглашения о сотрудничестве.

Фактические расходы на электроэнергию, тепловую энергию и водоснабжение составили по итогам 2018 г. 4,9 М\$.

Необходимость в расходах на ремонт связана с поддержанием в эксплуатационном состоянии зда-

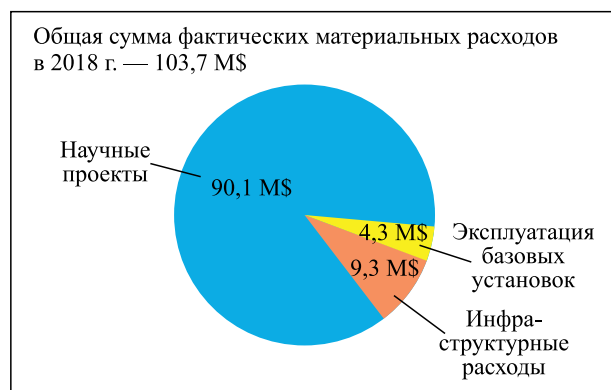


Рис. 3. Фактические расходы на материальные затраты, НИОКР и строительство в 2018 г.

ний, сооружений и оборудования как на площадках Института, так и за их пределами. В 2018 г. на ремонт было израсходовано 10,9 М\$.

Другие расходы, которые осуществлялись в 2018 г., в основном были связаны с инфраструктурой и включали в себя расходы в социальной сфере, оплату транспортных услуг, связи, охраны объектов и другие затраты. По итогам 2018 г. они суммарно составили 10,3 М\$.

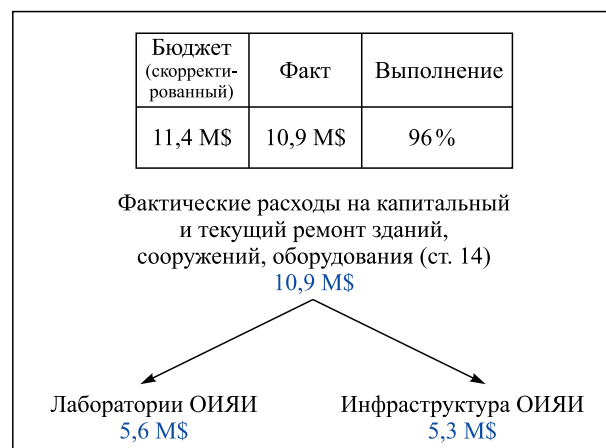


Рис. 4. Фактические расходы на ремонт в 2018 г.

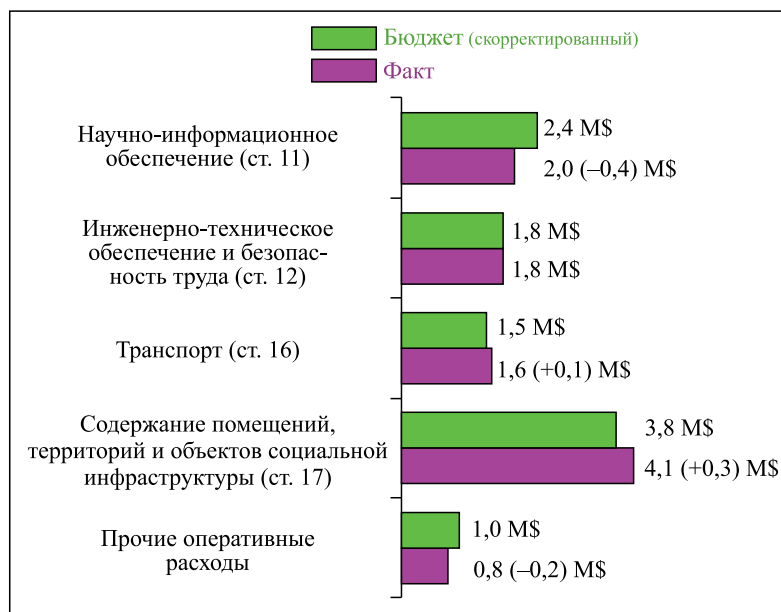


Рис. 5. Фактические оперативные расходы в 2018 г.



КАДРЫ

Численность персонала ОИЯИ на 1 января 2019 г. составила 5065 человек.

В ОИЯИ работают: академики РАН В. А. Матвеев, Ю. Ц. Оганесян, М. А. Островский, Г. В. Трубников, Б. Ю. Шарков; члены-корреспонденты РАН В. Л. Аксенов, Л. В. Григоренко, Д. И. Казаков, Е. А. Красавин, И. Н. Мешков, А. А. Старобинский,

Г. Д. Ширков; члены других государственных академий наук И. Звара, Г. М. Зиновьев, Б. С. Юлдашев, О. Чулуунбаатар; 239 докторов наук, 602 кандидата наук, 57 профессоров, 24 доцента.

В 2018 г. в ОИЯИ принято на работу 556 человек, уволено за этот период в связи с окончанием срока работы и по другим причинам 478 человек.

НАГРАЖДЕНИЯ

За плодотворную работу в ОИЯИ и международное сотрудничество награждены орденом «За заслуги перед Отечеством» II степени — 3 сотрудника, орденом «За заслуги перед Отечеством» I степени — 4 сотрудника, Большой золотой медалью им. М. В. Ломоносова РАН — 1 сотрудник, одному

сотруднику присвоено звание «Почетный доктор НИЦ «Курчатовский институт»», 6 сотрудникам присвоено звание «Почетный сотрудник ОИЯИ». Также сотрудники Института отмечены другими ведомственными, областными, городскими и институтскими наградами.



Ответственный за подготовку отчета – Б. М. Старченко

Отчет подготовили:

**А. В. Андреев
Н. А. Боклагова
А. Е. Васильев
Н. А. Головков
С. Н. Доценко
Е. В. Иванова
А. В. Карпов
И. В. Кошлань
О. К. Кронштадтов
С. З. Пакуляк
Д. В. Пешехонов
Д. В. Подгайный
И. В. Титкова
Л. А. Тютюнникова
Д. М. Худоба
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. 2018

Годовой отчет

2019-12

Редакторы: *Е. В. Григорьева, М. И. Зарубина, Е. В. Калининкова*
Корректор *Е. А. Черногорова*

Подписано в печать 14.05.2019.

Формат 60×84/8. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 23,9. Уч.-изд. л. 29,41. Тираж 220 экз. Заказ № 59692.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/