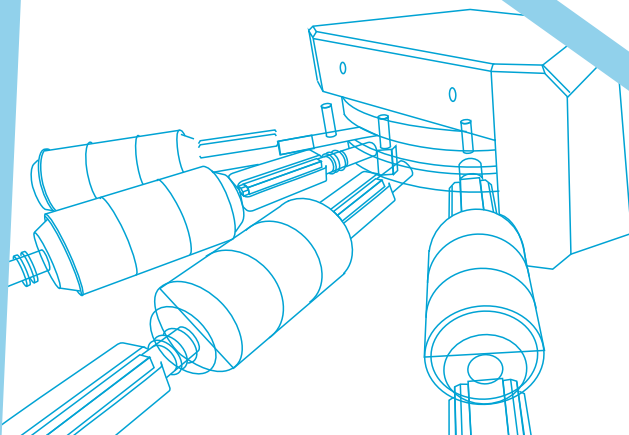
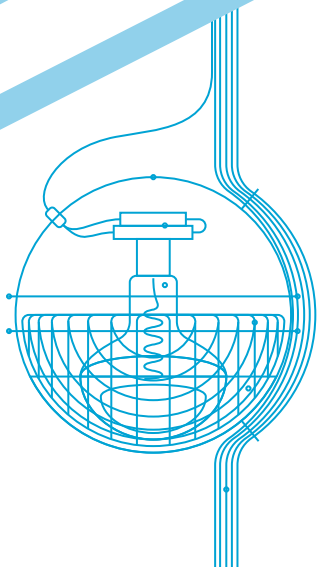
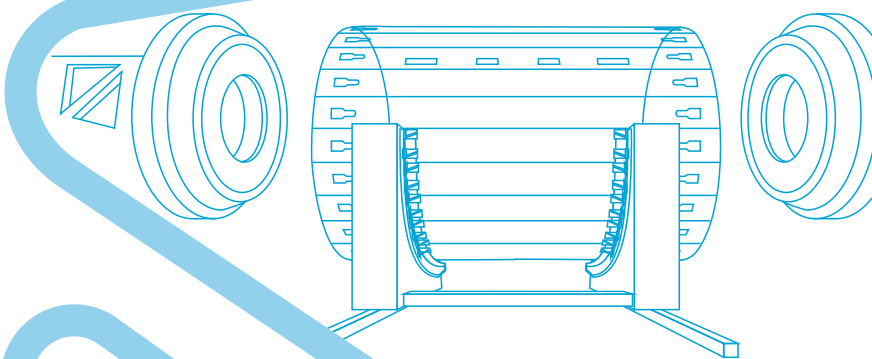
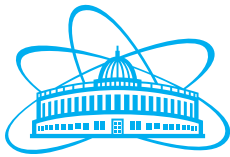


# ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2017-2023 ГГ.

КРАТКИЙ ОБЗОР НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ  
И РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ

РСК





# **ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2017-2023 ГГ.**

**КРАТКИЙ ОБЗОР НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ  
И РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Дубна, 2024**

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
СЕССИЯ КПП ОИЯИ .....	4
УСКОРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС NICA .....	6
ФИЗИКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ .....	10
ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ .....	12
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА .....	16
ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ В МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ .....	18
ФИЗИКА НЕЙТРИНО И АСТРОФИЗИКА .....	20
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД .....	24
РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСА СПЕКТРОМЕТРОВ ИБР-2 .....	26
НЕЙТРОННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА .....	27
РАДИАЦИОННЫЕ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	28
ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И НАУКИ О ЖИЗНИ .....	30
СЕТИ, КОМПЬЮТИНГ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА .....	32
ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ОИЯИ .....	36
ФИЛИАЛ МГУ ИМ. М.В.ЛОМОНОСОВА .....	40
ПРЕСТИЖНЫЕ НАУЧНЫЕ НАГРАДЫ И ПРЕМИИ .....	41
МОНИТОРИНГ РАЗВИТИЯ ОИЯИ .....	46

## ПРЕДИСЛОВИЕ

На 134-й сессии Ученого совета ОИЯИ (21–22 сентября 2023 г.) были подведены итоги выполнения Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. В принятой резолюции подчеркнута, что в этот период ОИЯИ добился впечатляющих результатов как в развитии крупной научной инфраструктуры, так и в исследованиях на ее базе. Несомненные достижения, открывающие новый этап в организации работы ученых Дубны, – создание Фабрики сверхтяжелых элементов, ввод в действие суперкомпьютера «Говорун», вывод нейтринного телескопа «Baikal-GVD» на рекордный эффективный объем, заключительная стадия мегапроекта NICA и создание на его основе широких международных экспериментальных коллабораций BM@N, MPD, SPD и ARIADNA. Наряду с реализацией собственной программы научных исследований ОИЯИ активно участвовал в международных коллаборациях в ряде ведущих научных центров по всему миру, наращивал свой интеллектуальный потенциал, что позволило получить весомые научные результаты по широкому спектру направлений. Расширяются научно-образовательные программы, вводятся новые форматы сотрудничества и привлечения молодежи, активно обновляется социальная инфраструктура.

Институт успешно развивается как один из мировых международных научных центров. Укрепляется сотрудничество с научными организациями государств-членов и ассоциированных членов ОИЯИ. В 2021 г. сообщество полноправных государств-членов ОИЯИ пополнилось новой страной – Арабской Республикой Египет. Активно развиваются отношения с Китаем, Мексикой, Индией, Бразилией.

Знаковым событием явилось подписание Софийской декларации – документа, который подчеркивает особую ценность международной интеграции во имя мирного научно-технологического, социально-экономического и культурного развития стран на всех континентах планеты Земля и содержит обращение к заинтересованным государствам и организациям присоединиться к многостороннему научному сотрудничеству, реализуемому ОИЯИ.

Институт принял участие в проведении объявленного ООН международного Года фундаментальных наук, а также активно включился в Десятилетие науки и технологий в Российской Федерации, стране местонахождения ОИЯИ.

Ученые, инженеры и специалисты ОИЯИ смогли добиться блестящих результатов, благодаря чему Институту удалось обеспечить себе роль одного из лидеров на мировом научном ландшафте. Институт всей своей деятельностью подтверждает принцип – «Наука сближает народы». В целом эти достижения создали очень прочную основу для дальнейшего развития Института, что дает нам право уверенно смотреть в будущее.

На ноябрьской сессии Комитета полномочных представителей ОИЯИ (2023 г.) был утвержден новый амбициозный Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. Он охватывает широкий спектр научных направлений. Основная цель новой семилетки – реализация долгосрочной привлекательной научной программы исследований и приумножение интеллектуального капитала, обеспеченных инфраструктурными и финансовыми ресурсами. Новый этап предусматривает проведение интенсивных научных исследований в ожидании новых свершений на переднем крае науки.



A stylized, handwritten signature in blue ink, consisting of a long horizontal line that curves upwards and ends in a flourish.

Г. В. ТРУБНИКОВ, директор  
Объединенного института  
ядерных исследований

## СЕССИЯ КПП ОИЯИ



Алматы (Казахстан), 10 ноября 2023 г.  
Участники выездной сессии КПП ОИЯИ



В ноябре 2023 г. на сессии Комитета полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ в Алматы (Казахстан) были отмечены впечатляющие результаты, достигнутые в ОИЯИ в 2017–2023 гг. как в развитии крупной исследовательской инфраструктуры, так и в научных исследованиях, несмотря на сложные условия работы, связанные с ограничениями COVID-19, и резкое ухудшение геополитической ситуации. Также отмечен значительный вклад ОИЯИ в международное сотрудничество, особенно в ЦЕРН, и неуклонный рост кадрового потенциала Института.

КПП приветствовал успешное развитие ОИЯИ как международной межправительственной научной организации, устанавливающей новые интеграционные связи с широким кругом стран разных регионов мира, а также создание и постоянное развитие международных экспериментальных коллабораций.

В целом эти достижения создали очень прочную основу для дальнейшего развития Института в новом семилетии.

Комитет полномочных представителей ОИЯИ утвердил новый Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. План содержит масштабную многодисциплинарную программу научных исследований, отвечающую задачам развития науки и технологий в государствах-членах Института, нацеленную на приумножение интеллектуального потенциала Института, а также на укрепление ОИЯИ как одной из крупнейших в мире международных научных организаций.



## УСКОРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС NICA



Комплекс NICA с высоты птичьего полета



Председатель Правительства РФ М.В. Мишустин произвел технологический пуск бустера

Краеугольной задачей Института в 2017–2023 гг. была реализация инфраструктурного мегапроекта **NICA** по развитию ускорительного комплекса Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ.

В 2017 г. был впервые осуществлен режим ускорения поляризованных протонов в ускорителе Нуклотрон, что является принципиальным шагом в осуществлении программы исследований по спиновой физике на комплексе NICA.

В ходе реализации проекта NICA выполнена работа по монтажу и вводу в эксплуатацию сверхпроводящего кольцевого ускорителя (с периметром 210 м) — бустера комплекса NICA. Все элементы магнитно-криостатной системы бустера изготовлены в ОИЯИ по оригинальной технологии. После завершения ввода в эксплуатацию всех объектов инжекторного комплекса проекта, включая источники поляризованных, легких и тяжелых ионов и линейный ускоритель тяжелых ионов, 20 ноября 2020 г. технологический пуск сверхпроводящего бустерного синхротрона произвел Председатель Правительства РФ Михаил Мишустин.

## Развитие комплекса NICA в 2017–2023 гг.

2017



Строительная площадка комплекса NICA

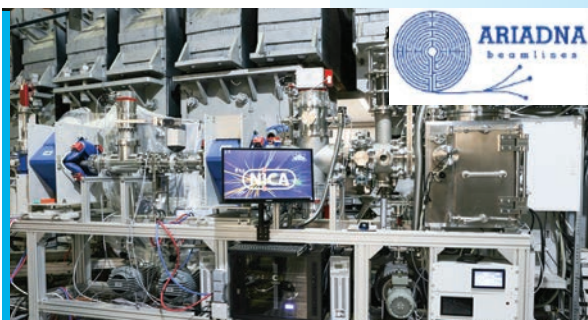
2018



Ввод в эксплуатацию бустера

2019

2020



ARIADNA — прикладные исследования

2021

2022



40 МВт — теперь доступно

2023

- 490 научных публикаций
- 240 докладов на конференциях
- практика студентов

NICA



Ввод в эксплуатацию HILac



Туннель коллайдера NICA

4-й технический запуск  
(2022–2023):  
HILac + бустер + Нуклотрон



Ввод в эксплуатацию  
инжекторного комплекса NICA



Успешный 5-й пусконаладочный сеанс на NICA в 2023 г. (4 месяца)





Фабрика сверхпроводящих магнитов

К осени 2022 г. был завершен важнейший этап проекта NICA — создана тяжелоионная цепочка и запущен в эксплуатацию инжекторный комплекс коллайдера, состоящий из уникальных установок, не имеющих аналогов в мире: криогенного источника и линейного ускорителя тяжелых ионов, криогенных синхротронов бустера и Нуклотрона, а также системы каналов транспортировки пучков. Введена в строй и испытана в действии установка электронного охлаждения ионных пучков, позволившая удвоить количество частиц, ускоренных в Нуклотроне. Обеспечена стабильная работа комплекса в течение четырех месяцев. Получена рекордная интенсивность на выведенных пучках ускоренных ионов ксенона.



Технологическое перемещение 800-тонного соленоида детектора MPD

19 декабря 2020 г. однозарядные ионы гелия были инжектированы в бустер и получена устойчивая циркуляция пучка. Пучок однозарядных ионов He с энергией 3,2 МэВ/а.е.м. циркулировал в канале ускорителя с интенсивностью около  $10^9$  ионов/оборот.

В сентябре 2021 г. системы бустерного синхротрона были выведены на проектные параметры. Пучок ионов железа был впервые ускорен до проектной энергии 578 МэВ/нуклон. В сеансе был осуществлен полноценный запуск оборудования системы электронного охлаждения бустера и получено электронное охлаждение пучка тяжелых ионов. Эксперимент по охлаждению пучка был проведен с ионами  $^{56}\text{Fe}^{14+}$  при энергии инжекции 3,2 МэВ/нуклон.

К концу 2023 г. завершен монтаж магнитов коллайдера. 5–6 декабря 2023 г. в павильоне многоцелевого детектора MPD ускорительного комплекса NICA проведено технологическое перемещение сверхпроводящего соленоида — магнита диаметром более 5 метров и весом 800 тонн. Детектор вместе с боковой платформой электроники передвинут в рабочее положение — положение пучка.

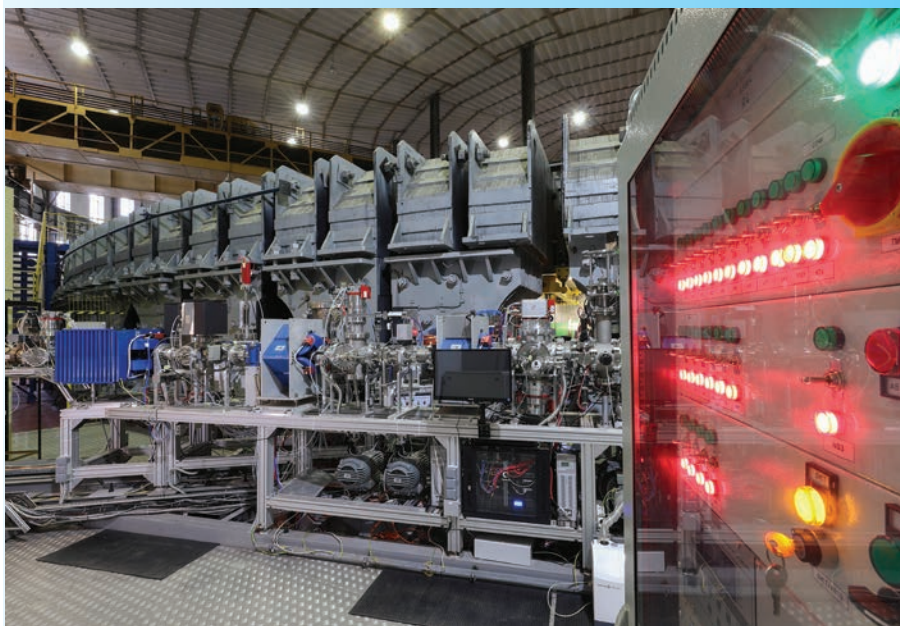
В сеансе 2022–2023 гг. международная коллаборация BM@N провела исследования на выведенных пучках, зарегистрировав более полумиллиарда столкновений ионов ксенона с ядерной мишенью.



Туннель коллайдера NICA

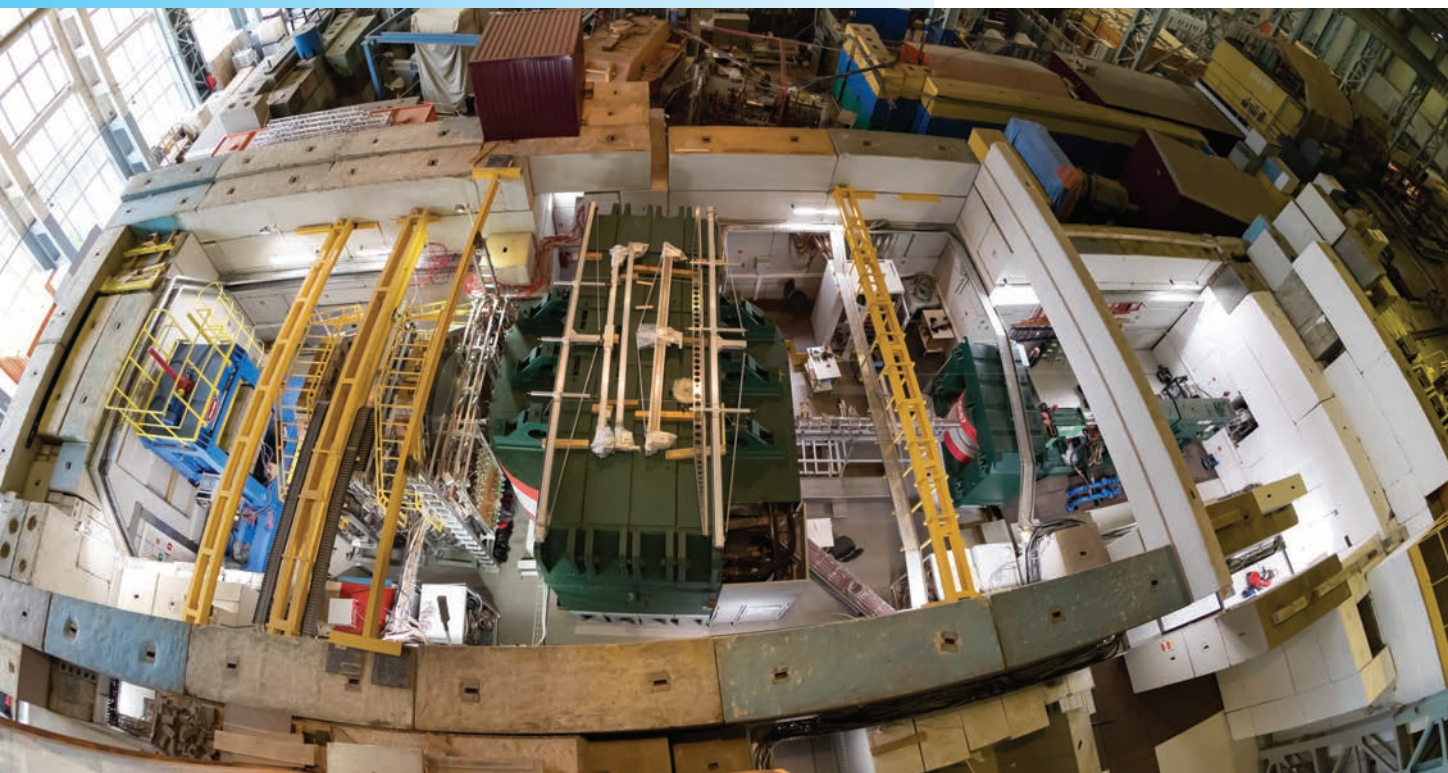
Участниками коллаборации **ARIADNA** выполнен ряд экспериментов в рамках реализуемой в ОИЯИ программы прикладных исследований на комплексе NICA.

Достигнутые результаты подвели итог многолетней слаженной работы коллектива физиков-ускорительщиков и инженеров ОИЯИ в сотрудничестве со многими научными организациями государств-членов и стран-партнеров ОИЯИ.



ARIADNA (Applied Research Infrastructure for Advance Development at NICA fAcility) — инфраструктура для прикладных исследований комплекса NICA

# ФИЗИКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ



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



Участники совещания коллаборации BM@N

240  
участников из  
института  
21 из 11 стран

В 2018 г. коллаборация **BM@N** (Baryonic Matter at Nuclotron) провела первый сеанс по физической программе эксперимента. Было зарегистрировано более 2 млн событий во взаимодействии пучка ионов углерода с энергией 4 ГэВ/с на нуклон с жидководородной мишенью в рамках реализации программы исследований короткодействующих корреляций и почти 200 млн событий на пучках ионов аргона и криптона с кинетической энергией 3,2 и 2,3 А ГэВ соответственно.

Международная коллаборация BM@N включает 240 физиков и инженеров из 21 исследовательского института из 11 стран, в том числе Германии, Франции, США и Израиля.

В ходе сеанса 2022–2023 гг. на выведенных пучках Нуклотрона в эксперименте были зарегистрированы 508 млн взаимодействий ионов  $^{124}\text{Xe}$  с мишенью CsI при энергии 3,8 А ГэВ и 48 млн при энергии 3,0 А ГэВ.

Завершается работа по созданию установки **MPD** (Multi-Purpose Detector), предназначенной для исследования свойств плотной барионной материи, образующейся в столкновениях тяжелых ионов на коллайдере NICA. Международная коллаборация MPD объединяет свыше 500 участников из 38 институтов из 12 стран.

**500**  
участников из  
**38** институтов  
из **12** стран



Участники совещания коллаборации MPD

Детектор спиновой физики **SPD** (Spin Physics Detector) — вторая установка на коллайдере NICA, создаваемая 300 членами коллаборации из 35 институтов из 15 стран. В настоящее время идет работа по подготовке TDR и тестированию прототипов.

**300**  
участников из  
**35** институтов  
из **15** стран



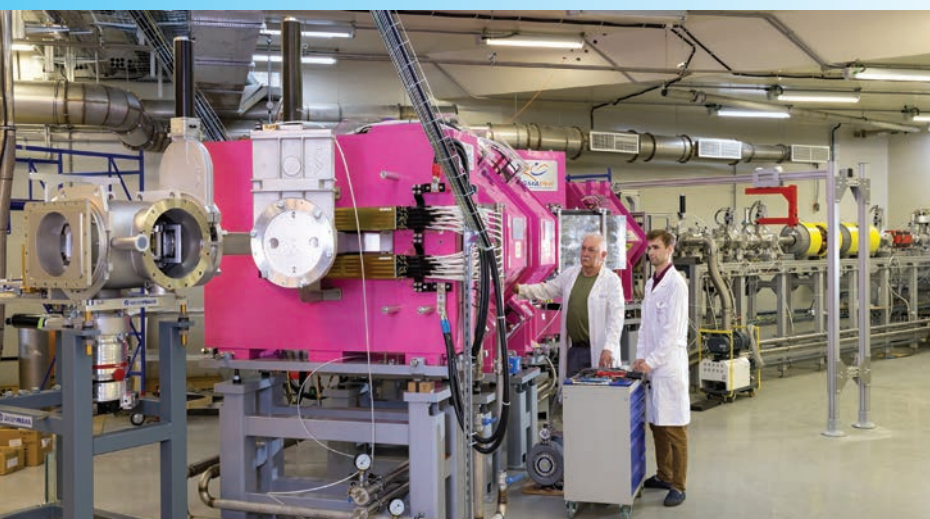
Участники совещания коллаборации SPD



Корпус Фабрики СТЭ



Циклотрон ДЦ-280, Фабрика СТЭ



Газонаполненный сепаратор GRAND, Фабрика СТЭ

Приоритетной задачей в 2017–2023 гг. являлось создание и запуск Фабрики сверхтяжелых элементов (СТЭ), а также создание комплекса современных экспериментальных установок, предназначенных для синтеза и изучения свойств сверхтяжелых элементов.

Фабрика СТЭ была создана на базе нового ускорителя тяжелых ионов ДЦ-280 – лидера среди ускорителей данного типа в мире. ДЦ-280 спроектирован в ОИЯИ, узлы ускорителя изготовлены на предприятиях государств-членов Института. Проектная интенсивность пучков ускоренных ионов кальция-48, получаемых на ускорителе ДЦ-280, составляет 10 мкА частиц, что в 10 раз превосходит интенсивности, достигнутые на ускорителях предыдущего поколения.

Введены в эксплуатацию два газонаполненных сепаратора: ГНС-2 (DGFRS-2) и GRAND. Сепаратор ГНС-2 предназначен для решения задач, связанных с синтезом новых сверхтяжелых элементов с номерами 119 и 120, синтезом новых изотопов СТЭ и изучением свойств их радиоактивного распада. Сепаратор GRAND нацелен на исследование структуры сверхтяжелых ядер, а также изучение химических свойств СТЭ.

В течение 2017–2023 гг. начато создание двух перспективных установок Фабрики СТЭ: многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра для прецизионного измерения масс тяжелейших ядер и нового сепаратора GASSOL на основе газонаполненного сверхпроводящего соленоида для исследования химических свойств СТЭ с временами жизни вплоть до десятков миллисекунд.

2017

**Фрагмент-сепаратор ACCULINNA-2 на циклотроне У-400М**  
(в стадии модернизации; возобновление эксплуатации планируется в 2024 г.)



**Основные направления исследований:**  
изучение структуры экзотических ядер вблизи и за пределами нейтронной стабильности в прямых реакциях

2020

**Газонаполненный сепаратор DGFRS-2**



**Основные направления исследований:**

- детальное изучение уже известных СТЭ
- синтез элементов 119 и 120

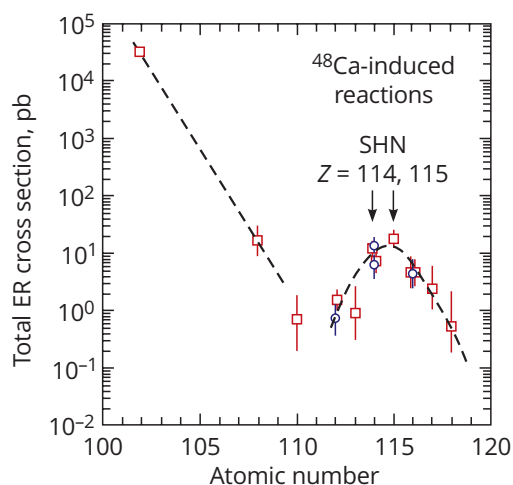
2022

**Газонаполненный сепаратор GRAND (DGFRS-3)**



**Основные направления исследований:**

- эксперименты по ядерной и масс-спектропии СТЭ
- изучение их химических свойств



Поведение сечения образования тяжелых ядер в реакциях слияния  $^{48}\text{Ca}$  с актинидами

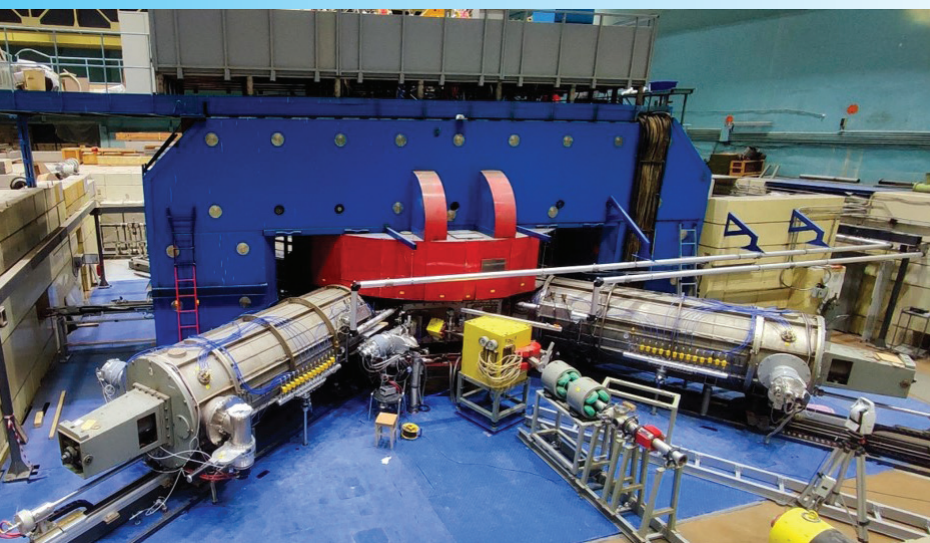
$^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{291}\text{Mc}^*$ . Было получено около 250 событий образования сверхтяжелых ядер; изучены свойства распада 40 ядер в диапазоне от лоуренсия ( $Z=103$ ) до московия ( $Z=115$ ). Шесть изотопов были получены и исследованы впервые:  $^{286}\text{Mc}$ ,  $^{264}\text{Lr}$ ,  $^{275}\text{Ds}$ ,  $^{276}\text{Ds}$ ,  $^{272}\text{Hs}$ ,  $^{268}\text{Sg}$ .

В 2023 г. впервые выполнен эксперимент по синтезу изотопов 116-го элемента в реакции  $^{54}\text{Cr} + ^{238}\text{U}$ . Целью эксперимента являлось измерение фактора падения сечения при переходе от реакций с пучком  $^{48}\text{Ca}$  к более тяжелому пучку  $^{54}\text{Cr}$ , а также получение стабильно высокого тока пучка  $^{54}\text{Cr}$ . Было зарегистрировано 2 события образования нового изотопа 116-го элемента —  $^{288}\text{Lv}$ . Эксперимент продолжен в 2024 г.

С целью подготовки экспериментов по синтезу новых СТЭ была изучена реакция слияния  $^{48}\text{Ca} + ^{232}\text{Th}$ , ведущая к образованию изотопов элемента 110. Была показана возможность проведения экспериментов при экстремально низком сечении — 70 фб, что имеет принципиальное значение для постановки экспериментов по синтезу новых элементов.

В течение 2020–2023 гг. на Фабрике СТЭ были выполнены следующие эксперименты на пучках  $^{48}\text{Ca}$  и  $^{40}\text{Ar}$ :  $^{232}\text{Th} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{280}\text{Ds}^*$ ,  $^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar} \rightarrow ^{278}\text{Ds}^*$ ,  $^{238}\text{U} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{286}\text{Cn}^*$ ,  $^{242}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{290}\text{Fl}^*$ ,

## Комплекс циклотрона У-400М



Модернизированный ускоритель У-400М

На ускорителе У-400М в 2017 г. был введен в эксплуатацию новый фрагмент-сепаратор ACCULINNA-2 для получения пучков радиоактивных ядер. Сепаратор оснащен радиочастотным фильтром для дополнительной очистки вторичных пучков, магнитным спектрометром для разделения продуктов реакции, комплексом криогенных мишеней изотопов водорода и гелия, массивом нейтронных детекторов на основе кристаллов стильбена, а также системами регистрации заряженных частиц. Тестовые эксперименты подтвердили основные проектные ионно-оптические характеристики установки для некоторых радиоактивных пучков

( $^{14}\text{B}$ ,  $^{12}\text{Be}$ ,  $^9\text{Li}$ ,  $^6\text{He}$  и др.). Полученные выходы этих изотопов оказались в среднем в 25 раз выше по сравнению с данными для сепаратора ACCULINNA-1, работающего в ЛЯР с 1996 г.

В первых экспериментах на новом фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2 в 2018–2020 гг. удалось разрешить одну из давно стоящих знаковых проблем экспериментальной ядерной физики — обнаружение сверхтяжелых изотопов водорода —  $^6\text{H}$  и  $^7\text{H}$ , а также продвинуться на пути изучения новой моды спонтанного ядерного распада с одновременным испусканием четырех нейтронов. В июле 2020 г. начата модернизация циклотрона У-400М для повышения надежности и стабильности работы ускорителя, а также интенсивностей пучков тяжелых ионов.

## Реконструкция циклотронного комплекса У-400(Р)

Основной целью реконструкции комплекса У-400 до У-400Р является расширение спектра ускоряемых ионов от гелия до урана, снижение энергетического разброса ускоренных ионов, обеспечение плавной перестройки энергии ионов в диапазоне 0,8–25 МэВ/нуклон, снижение энергопотребления и повышение долговременной стабильности работы ускорителя.



27 июля 2023 г. вбита первая свая на строительном участке экспериментального корпуса циклотрона У-400Р

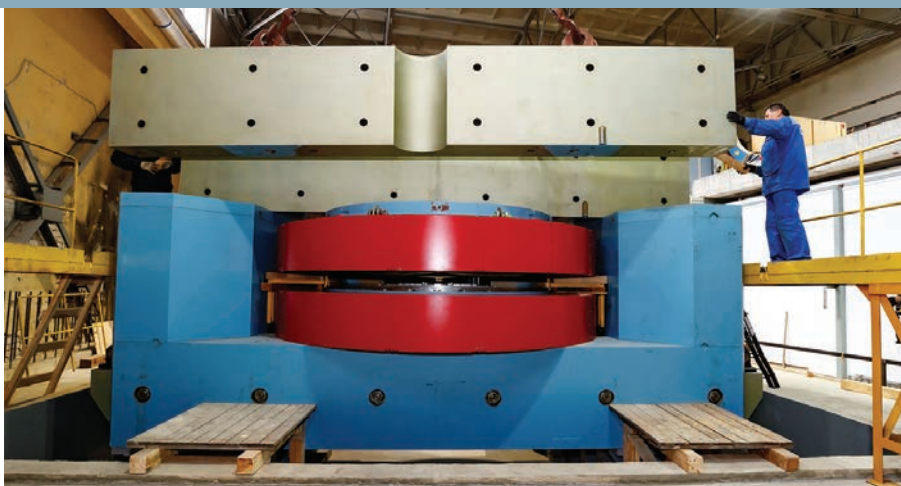


Заливка фундамента экспериментального корпуса У-400Р

## Ускорительный комплекс ДЦ-140

Циклотрон ДЦ-140 создается для прикладных исследований и применения пучков тяжелых ионов в области физики твердого тела, модификации поверхности материалов, в производстве трековых мембран, а также в испытаниях электронной компонентной базы на стойкость к воздействию радиации.

Циклотрон ДЦ-140 обеспечит получение пучков ускоренных ионов от О до Вi с энергиями 4,8 и 2,1 МэВ/нуклон. Пучки с энергией 4,8 МэВ/нуклон гарантируют глубину проникновения ионов в Si до 55 мкм и линейные передачи энергии в Si до 100 МэВ·см<sup>2</sup>/мг для эффективного испытания электроники. Пучки с энергией 2,1 МэВ/нуклон позволят производить трековые мембраны на основе полимерных пленок толщиной до 30 микрон.



Монтаж циклотрона ДЦ-140





Дубна, 16–19 сентября 2019 г. Участники II Международного семинара по теории адронной материи в экстремальных условиях



Сотрудники Лаборатории теоретической физики за обсуждением научных задач

Более  
**3200** статей

опубликовано по результатам проведенных исследований за 7 лет.

В крупнейшей в мире Лаборатории теоретической физики ОИЯИ в 2017–2023 гг. исследования проводились по широкому спектру направлений современной теоретической и математической физики: «Фундаментальные взаимодействия полей и частиц», «Теория ядерных систем», «Теория сложных систем и перспективных материалов», «Современная математическая физика: гравитация, суперсимметрия и струны». Были открыты и активно развивались новые проекты: «Теория адронной материи при экстремальных условиях» и «Методы квантовой теории поля в сложных системах». Важной составляющей в деятельности ЛТФ являлась теоретическая поддержка экспериментальных исследований в ОИЯИ и других исследовательских центрах с участием ОИЯИ.

За 7 лет по результатам проведенных исследований опубликовано более 3200 статей в рецензируемых журналах и трудах конференций. Было организовано 58 конференций и 17 молодежных школ в Дубне и странах-участницах ОИЯИ. Особое внимание уделялось привлечению к работе молодых исследователей, студентов и аспирантов в рамках научно-образовательного проекта «Дубненская международная школа по теоретической физике» (DIAS-TH).

Разработаны новые методы и получены значимые результаты в квантовой теории поля неперенормируемых взаимодействий, исследовании ультрафиолетового поведения ряда суперсимметричных калибровочных моделей, в ренормгрупповом анализе моделей новой физики, изучении транспортных свойств кварк-глюонной плазмы, критических явлений при ненулевой барионной плотности и влияния релятивистского вращения на фазовые переходы в адронной материи методами решеточной КХД, в гидродинамических и статистических моделях критических явлений в сильно взаимодействующей материи, среднеполевом подходе в теории конфинмента, реализации киральной симметрии и адронизации в КХД.

Развиты новые подходы к описанию свойств ядер, далеких от линии стабильности, предложены реакции и рассчитаны сечения для синтеза сверхтяжелых ядер, в том числе с учетом каналов с испарением заряженных частиц, произведены вычисления по структуре ядер от самых легких до сверхтяжелых, исследованы ядерные процессы, важные для объяснения астрофизических явлений, описаны редкие ядерные распады в разных массовых областях.

Выполнен ряд ярких работ по исследованию высокотемпературной сверхпроводимости и поиску перспективных материалов, исследованию джозефсоновских переходов, анализу свойств графена в зависимости от наличия примесей, изучению двупарных корреляций, представляющих интерес для развития полупроводниковых технологий и оптоэлектроники, исследованию универсальных моделей статистической физики.

Выполнены исследования по решению фундаментальных проблем современной теоретической физики, связанных с развитием суперполевых методов в калибровочных теориях с расширенной суперсимметрией в различных измерениях, включая суперсимметричные модели полей высших спинов и модели суперсимметричной механики. Решенные задачи обусловлены современным развитием теоретической и математической физики и органически связаны единством методов и подходов.



Дубна, 18–21 июля 2022 г. Международная конференция по квантовой теории поля, физике высоких энергий и космологии

**58** конференций

и **17** молодежных школ

было организовано в Дубне и странах-участницах ОИЯИ.

## ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ В МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Физиками ОИЯИ в эксперименте **COMPASS** (ЦЕРН) была инициирована программа поиска нового возможного механизма рождения экзотических чармониев — фоторождения на ядерной мишени. Детальный анализ кинематики распада наблюдаемой частицы позволил предположить, что обнаруженный сигнал принадлежит новой частице, которая является частицей-партнером  $\chi(3872)$ , имеет близкую массу, но отличается от  $\chi(3872)$  набором квантовых чисел.

Ряд интересных результатов получен группой ОИЯИ в эксперименте **ALICE** на LHC (ЦЕРН). Новый анализ фемтоскопических корреляций для пар идентичных заряженных пионов и каонов в  $pp$ -столкновениях при 13 ТэВ был проведен отдельно для сферических и струйных событий. Уменьшение радиусов источников с увеличением поперечного импульса пары наблюдалось не только для струйных, но и для сферических событий, которые демонстрируют нетривиальное поведение коллективно-подобных частиц, ожидаемое только в столкновениях тяжелых ионов с возможным образованием кварк-глюонной плазмы.



Подготовка считывающей панели перед сборкой детектора MicroMegas для эксперимента ATLAS

В эксперименте **ATLAS** на LHC при активном участии сотрудников ОИЯИ были проведены исследования по поиску распадов бозона Хиггса Стандартной модели на кварковую  $bb$ -пару при совместном рождении с бозоном  $W$  или  $Z$ . Проанализированные данные были получены в протон-протонных соударениях при  $\sqrt{s} = 13$  ТэВ. Измеренное превышение наблюдаемых событий над ожидаемыми фоновыми событиями в канале ассоциативного рождения только с векторным бозоном соответствует значимости  $5,3\sigma$ , что сравнимо со значимостью  $4,8\sigma$ , предсказанной в рамках Стандартной модели.

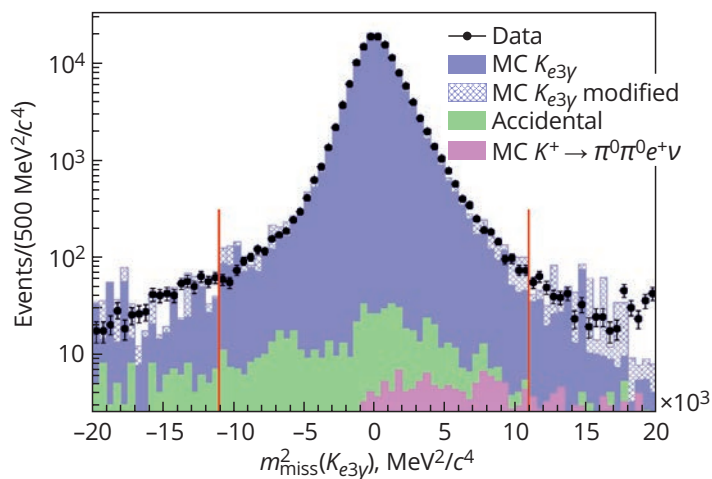
В 2023 г. в рамках проекта ATLAS проводились поиски квантовых черных дыр (QBH) в спектре инвариантной массы в лептон-струйном канале распада с использованием данных, полученных при  $\sqrt{s} = 13$  ТэВ  $pp$ -столкновений, соответствующих интегральной светимости  $140 \text{ фб}^{-1}$ . Нижний предел на массу QBH составил 9,2 ТэВ для ADD модели и 6,8 ТэВ для RS модели.

В эксперименте **CMS** на LHC с участием физиков ОИЯИ проведен поиск квантовых черных дыр с характерной экспериментальной сигнатурой нарушения аромата  $e\mu$ ,  $e\tau$ ,  $\mu\tau$ . Полученные ограничения на минимально допустимые значения массы квантовых черных дыр составляют от 3,6 до 5,6 ТэВ/ $c^2$  в зависимости от модели и числа  $n$  дополнительных измерений.



Специалисты ОИЯИ на фоне теплоизолированных камер для испытания кассет адронного калориметра CMS

В эксперименте **NA62** на SPS (ЦЕРН) с участием физиков ОИЯИ в рамках поиска новой физики в редких распадах каонов обнаружено 17 кандидатов сверхредкого распада заряженного каона  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ . Это позволило сделать лучшую в мире оценку относительной вероятности распада  $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (11,0_{-3,5}^{+0,4} \pm 0,3_{\text{сист}}) \cdot 10^{-11}$ , что согласуется с предсказанием Стандартной модели.

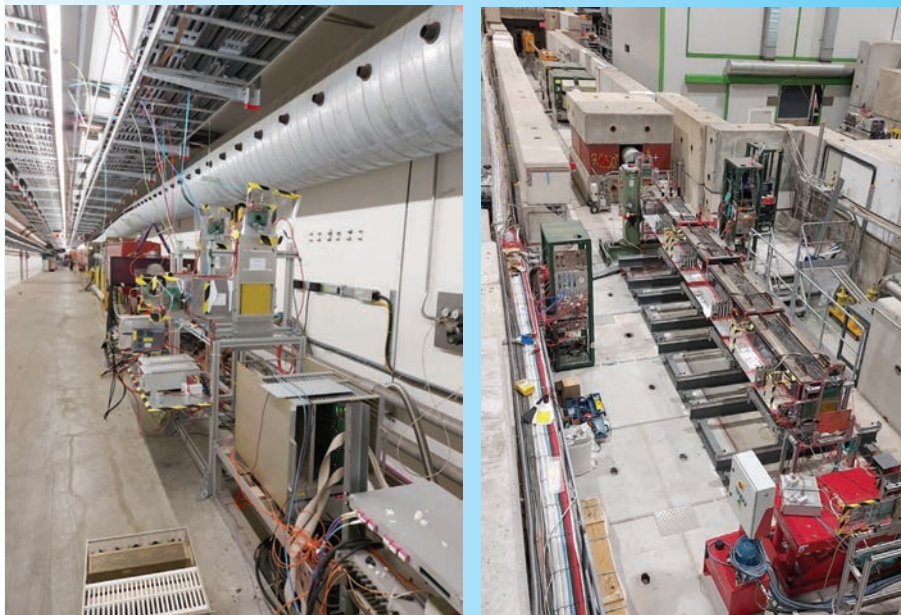


Распределение квадрата недостающей массы комбинаций зарегистрированных частиц  $\pi^0 e^+ \nu \nu$  для отобранных экспериментальных событий (точки), а также для ожидаемого сигнала и фона (гистограммы)

Группа ОИЯИ в эксперименте **NA64** (ЦЕРН) активно участвует в модернизации установки и проведении сеансов набора данных на ускорителе SPS с пучком мюонов с энергией 160 ГэВ и электронов с энергией 100 ГэВ. Был впервые проведен поиск легкого  $Z'$ -бозона, возникающего в моделях расширения, связанных с нарушением барион-лептонной симметрии. За генерацию  $Z'$  отвечает механизм темного тормозного излучения в реакции рассеяния 100-ГэВ электронов на ядерной мишени  $eZ \rightarrow eZZ'$ . Результат проведенного анализа на 90 %-м уровне достоверности исключил данный механизм образования  $Z'$ -бозона в диапазоне масс от 1 кэВ до 1 ГэВ.

В ходе сеансов 2016–2022 гг. в эксперименте NA64 было впервые проведено исследование наиболее интересной области параметров моделей скалярной и фермионной темной материи с суб-ГэВ-ной массой (LDM), рожденной медиатором — новым векторным бозоном — темным фотоном  $A'$ . Сигналов образования темной материи не обнаружено, что позволило установить более точные пределы на взаимодействия  $A'$  с фотонами.

В рамках проекта **BESIII** (ИФВЭ, Пекин) проведена проверка CP-нарушения в парах  $\Xi^0 - \bar{\Xi}^0$ . Параметры распада  $\Xi^0$  ( $a_{\Xi}, \phi_{\Xi}$ ) и  $\bar{\Xi}^0$  ( $a_{\bar{\Xi}}, \phi_{\bar{\Xi}}$ ) были одновременно измерены с беспрецедентной точностью. Получены наиболее точные значения наблюдаемых  $A_{\text{CP}}^{\Xi}$  и  $\Delta\phi_{\text{CP}}^{\Xi}$  для CP-нарушения в распаде  $\Xi^0$ . Впервые определены слабая и сильная разности фаз  $\xi_P - \xi_S$  и  $\delta_P - \delta_S$ , что является наиболее точным результатом для любого слабораспадающегося бариона.

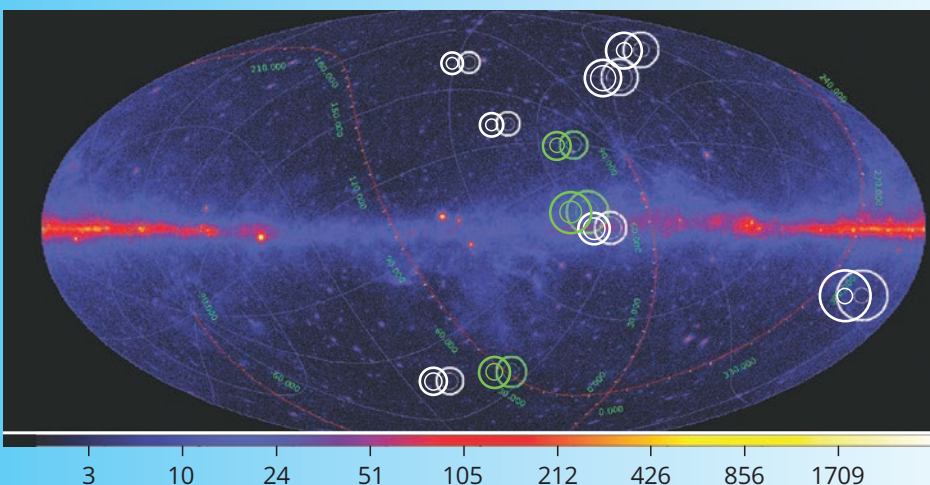


ЦЕРН (Женева). Установка NA64 на мюонном (слева) и электронном (справа) каналах ускорителя SPS

## ФИЗИКА НЕЙТРИНО И АСТРОФИЗИКА



Байкал, 13 марта 2021 г. Подписание Меморандума о взаимопонимании Минобрнауки России и ОИЯИ по развитию байкальского глубоководного нейтринного телескопа в ходе торжественного запуска телескопа Baikal-GVD



Положение первых 10 кандидатов на астрофизические нейтринные события в Baikal-GVD на небесной карте с источниками FERMI-LAT в галактической системе координат. Внутренняя и внешняя окружности вокруг событий соответствуют вероятности регистрации 50 и 90%

Глубоководный нейтринный телескоп **Baikal-GVD** является одним из трех крупнейших в мире и крупнейшим в Северном полушарии по эффективной площади и объему для наблюдения природных потоков нейтрино.

С 2017 по 2023 г. были установлены 11 кластеров байкальского телескопа, его рабочий объем превысил значение  $\approx 0,5 \text{ км}^3$  в задаче регистрации событий от нейтрино высоких энергий (свыше 100 ТэВ). Детектор содержит в своем составе 12 кластеров глубоководных гирлянд регистрирующей и управляющей аппаратуры (3456 оптических модулей).

При анализе данных, полученных при работе детектора в конфигурациях 2018, 2019 и 2020 гг., были выделены первые 10 кандидатов на события, инициированные нейтрино высоких энергий астрофизической природы. Опубликованы первые результаты поиска событий от нейтрино на детекторе Baikal-GVD, ассоциированных с оповещениями антарктического детектора IceCube.

В 2022 г. были выделены 11 каскадных событий с энергией более 15 ТэВ, инициированных нейтрино астрофизической природы, что на уровне достоверности  $3\sigma$  подтверждает результаты первого наблюдения потока астрофизических нейтрино высоких энергий на антарктическом детекторе IceCube.

В 2023 г. исследованы корреляции с яркими радиоблазарами каскадных событий с энергиями, превышающими 100 ТэВ.

## Байкальская экспедиция



Оптические модули,  
подготовленные к монтажу  
очередного кластера  
телескопа Baikal-GVD



Участники рабочего совещания  
по проекту Baikal-GVD в ледовом  
лагере на месте проведения  
очередной экспедиции  
по развертыванию глубоководного  
нейтринного телескопа.  
Фото: © Иркутский государственный  
университет



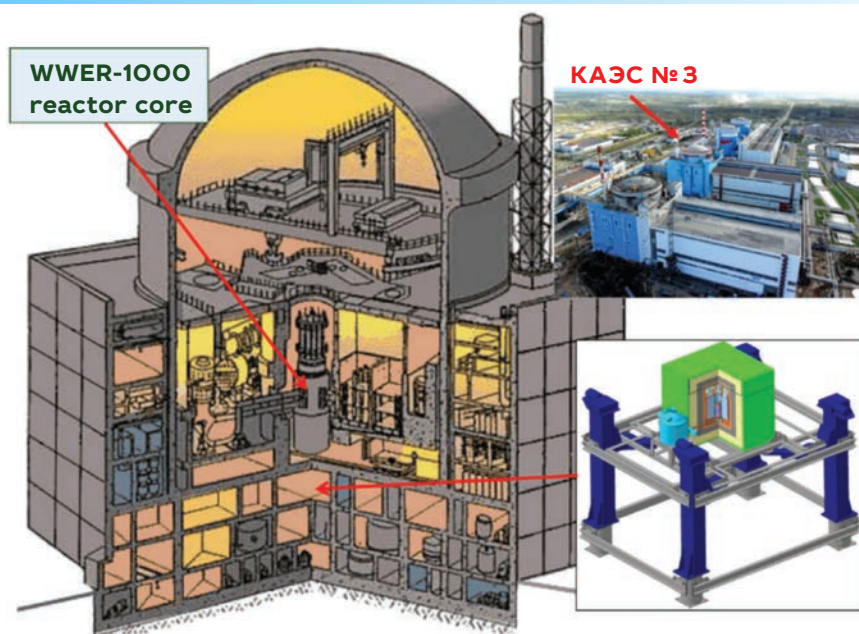


Калининская АЭС

На Калининской атомной электростанции (КАЭС) проводятся два эксперимента, направленных на исследование фундаментальных свойств нейтрино:  **$\nu$ GeN** и **DANSS**.

В 2021 г. были завершены работы по оптимизации оборудования экспериментальной установки  $\nu$ GeN. Для сигналов с энергиями выше 250 эВ достигнута эффективность регистрации более 80%.

Были получены первые результаты по поиску когерентного рассеяния нейтрино. Сравнение данных, набранных при работающем и остановленном реакторе (154 и 39 сут соответственно), не выявило признаков ожидаемого сигнала от когерентного рассеяния нейтрино. Это позволило поставить ограничение на параметр ионизационных потерь в германии (квенчинг) на уровне  $k < 0,23$  (90%-й уровень достоверности).

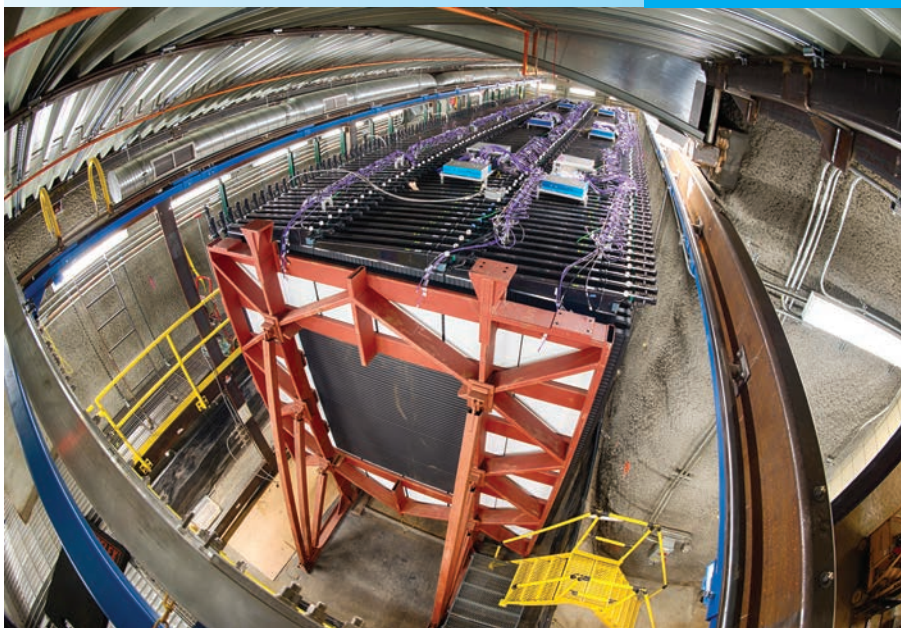


Схематическое размещение детектора DANSS

Запущенный в работу на четвертом энергоблоке КАЭС детектор DANSS регистрирует около 4000 реакторных антинейтрино в сутки при фоне, не превышающем 2–3%, что является на сегодня лучшим в мире значением. В 2019 г. проведен полномасштабный анализ обновленных данных 2016–2019 гг. и получено лучшее в мире модельно-независимое ограничение на существование стерильного нейтрино.

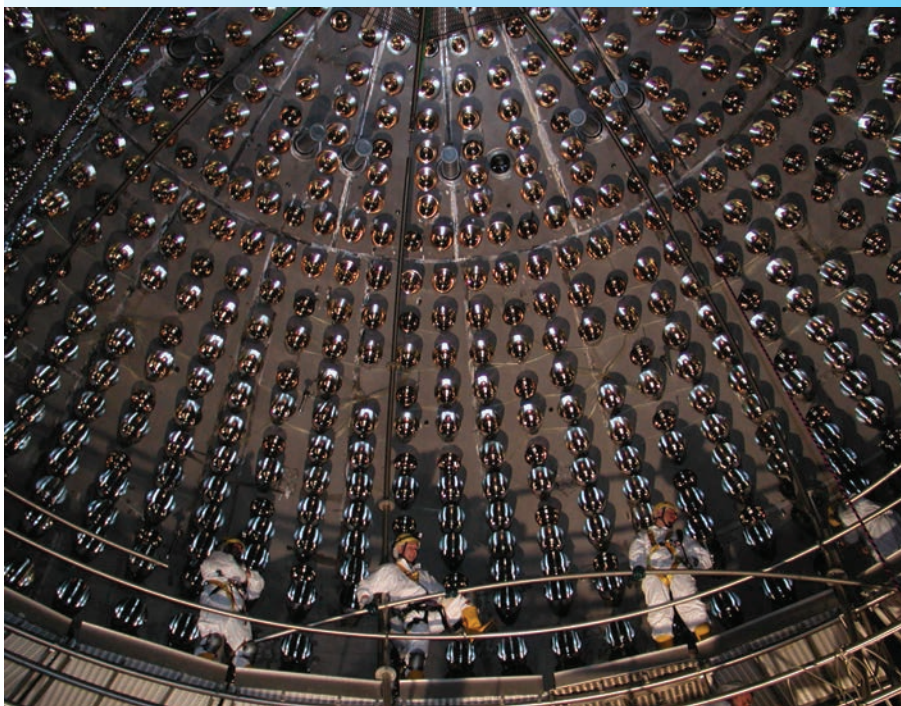
В 2020 г. с участием физиков ОИЯИ в эксперименте **NOvA** (США) проведен анализ данных с увеличенной интегральной экспозицией. Совместная интерпретация различных каналов осцилляций позволила заключить, что предпочтительной является комбинация осцилляционных параметров, приводящая к симметрии между нейтрино и антинейтрино, а противоположные комбинации отвергаются на уровнях  $>3\sigma$  и  $>2\sigma$  соответственно.

В 2022 г. в эксперименте **NOvA** были получены новые результаты измерения осцилляций нейтрино с использованием усовершенствованных методов анализа данных и моделирования. Интерпретация этих результатов в рамках модели с тремя типами нейтрино лучше всего согласуется с нормальным порядком нейтринных масс и верхним октантом угла смешивания  $\theta_{23}$ .



Детектор NOvA

В 2018 г. коллаборацией **Borexino** (Италия) с участием ученых ОИЯИ представлены результаты наиболее полного на тот момент анализа потоков нейтрино, сопровождающих термоядерные процессы внутри Солнца. Точность измерения потока «бериллиевых» нейтрино от Солнца составила рекордные 2,7%, что в 2 раза лучше существующих теоретических предсказаний. Это позволило впервые экспериментально уточнить детали термоядерных процессов внутри Солнца.



Детектор эксперимента Borexino



## ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД



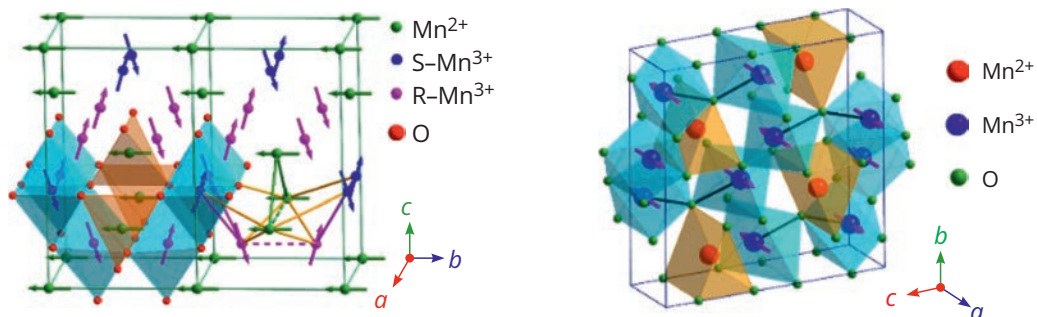
Экспериментальный зал реактора ИБР-2

В период 2017–2021 гг. работа реактора **ИБР-2** была организована в 7–8 циклов в год. С октября 2021 г. ИБР-2 был остановлен для замены оборудования и получения новой лицензии на право эксплуатации ядерной установки.



Рефрижератор Linde 1800

В 2020 г. введен в режим опытной эксплуатации второй источник холодных нейтронов на реакторе ИБР-2. Для охлаждения замедлителя используются рефрижераторы Linde 1200 и Linde 1800. Замедлитель обеспечивает непрерывный стабильный режим работы в течение 11 сут и дает выигрыш в области длинноволновых нейтронов до 9 раз (в зависимости от пучка и области спектра нейтронов) при температуре замедляющего вещества  $\sim 25$  К.



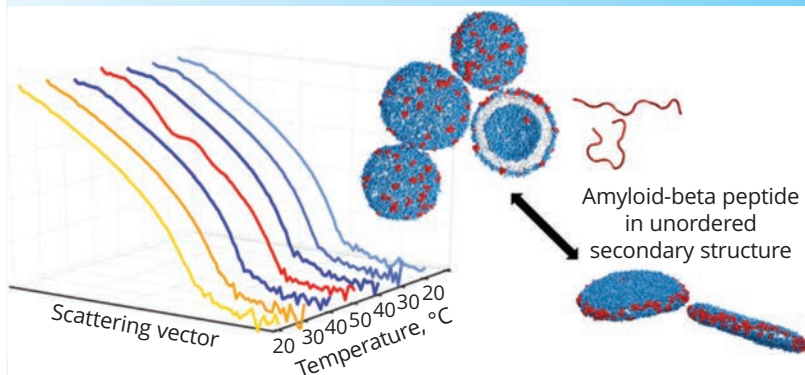
Схематическое представление модулированной магнитной структуры, возникающей ниже  $T_{N3} \sim 33$  К при атмосферном давлении, и геометрии конкурирующих магнитных взаимодействий (слева), а также магнитной структуры орторомбической фазы высокого давления (справа)

Методом нейтронной дифракции проведено исследование кристаллической и магнитной структур  $Mn_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$  в диапазоне значений давления до 20 ГПа и температуры 15–300 К. При давлении выше 2 ГПа наблюдались подавление низкотемпературных модулированных АФМ-фаз и стабилизация ферромагнитной фазы. Определена магнитная структура орторомбической фазы высокого давления при  $P = 20$  ГПа. Температура магнитного упорядочения под давлением увеличивается более чем в 6 раз, что является уникальным случаем среди известных магнитных материалов.



Установка по магнетронному напылению пленок карбида бора на подложки из различных материалов

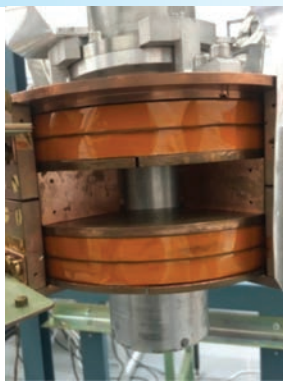
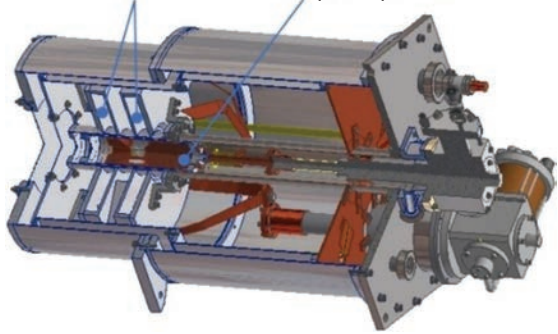
Методом малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) исследовано взаимодействие модельных биологических мембран с бета-амилоидным пептидом. Результаты впервые показали перестройку общей формы мембраны от сферических везикул до плоских нанодисков в присутствии бета-амилоидных пептидов. Этот процесс однозначно указывает на разрушительное действие пептида. Наблюдаемый механизм может быть напрямую связан с разрушением нейронных клеток в процессе болезни Альцгеймера.



Кривые МУРН, демонстрирующие деструктивное влияние бета-амилоидного пептида на модельную мембрану изменением ее формы от сферических везикул до плоских нанодисков. Результаты молекулярно-динамического моделирования иллюстрируют морфологические изменения

## РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСА СПЕКТРОМЕТРОВ ИБР-2

Обмотки магнита    Камера образца

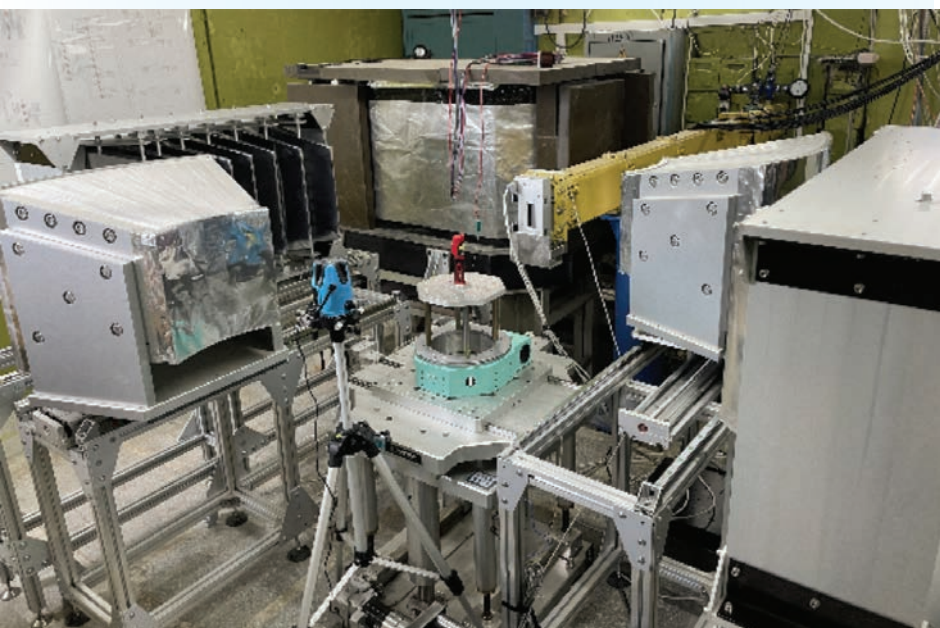


Слева: 3D-модель криомагнитной системы на основе криокулера SRDK408S. Справа: внешний вид криомагнита, реализованного в виде пары Гельмгольца, где в качестве проводника использована лента с высокотемпературной сверхпроводимостью

Совместно с Национальным институтом исследований и электротехники (ICPE-CA, Бухарест, Румыния) разработана и создана криомагнитная система окружения образца для дифрактометра **ДН-12** ИЯУ ИБР-2. Система состоит из магнита на основе высокотемпературного сверхпроводника в криостате и криостата-вставки с камерой высокого давления с образцом.

Новое устройство дает возможность независимой вариации параметров на исследуемом образце во время эксперимента по рассеянию нейтронов: величины магнитного поля, температуры, давления.

Закончены работы по созданию сцинтилляционного детектора АСТРА-М для фурье-стресс-дифрактометра (**ФСД**). Основным предназначением спектрометра ФСД с новым детектором АСТРА-М является измерение остаточных напряжений в образцах. Суммарный покрываемый телесный угол составляет  $\Omega = 0,55$  ср. Высокое пространственное разрешение достигнуто благодаря уменьшению размера рассеивающего объема путем соответствующей коллимации.



Слева: детектор АСТРА-М на спектрометре ФСД. Справа: внешний вид отдельных элементов детектора АСТРА-М. Элемент представляет собой пластину сцинтиллятора  $(Ag)_2^6LiF$ , которой придана форма поверхности временной фокусировки с наклеенными спектросмещающими волокнами, передающими поток света от места захвата нейтрона к ФЭУ

В ЛНФ создана установка **TANGRA**, состоящая из генератора меченых нейтронов ИНГ-27 и 18 сцинтилляционных детекторов  $\gamma$ -квантов на основе кристаллов BGO. Полученные в ходе проведенных измерений данные по характеристическим  $\gamma$ -квантам критически важны для развития методов неразрушающего элементного анализа с использованием портативных генераторов меченых нейтронов.

В коллаборации ОИЯИ–ИТЭФ–ПИЯФ проведен цикл экспериментов по измерению Т-нечетного эффекта вращения делящегося ядра в угловых распределениях мгновенных  $\gamma$ -квантов (ROT-эффект) при делении  $^{235}\text{U}$  поляризованными нейтронами. Определен угол поворота ядра для трех значений энергии налетающего нейтрона: 0,025, 0,06 и 0,3 эВ. Впервые был измерен эффект в низколежащем резонансе  $^{235}\text{U}$ . Показано, что знак наблюдаемого эффекта не меняется, но его величина для первого резонанса  $^{235}\text{U}$  (0,3 эВ) оказалась в 3 раза меньше, чем для тепловых нейтронов.

Выполнен цикл работ по измерению сечения реакции  $(n, \alpha)$  с быстрыми нейтронами на ядрах  $^{35}\text{Cl}$ ,  $^{91}\text{Zr}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{63}\text{Cu}$ ,  $^{58,60,61}\text{Ni}$ . Впервые получены данные по реакциям  $^{60}\text{Ni}(n, \alpha)^{57}\text{Fe}$  (при  $E_n$  ниже 6 МэВ) и  $^{61}\text{Ni}(n, \alpha)^{58}\text{Fe}$  для нейтронов в МэВ-области, а также сечения для реакций  $^{60}\text{Ni}(n, \alpha)^{57}\text{Fe}$  и  $^{61}\text{Ni}(n, \alpha)^{58}\text{Fe}$  для области  $E_n$  выше 8 МэВ и  $^{91}\text{Zr}(n, \alpha)^{88}\text{Sr}$  в МэВ-области.

Экспериментально продемонстрировано усиленное направленное извлечение очень холодных нейтронов (ОХН) из источника при его окружении отражателем из наноалмазов. Фактор выигрыша в узком телесном угле извлечения ОХН со скоростями 57 и 75 м/с составил 10 раз. В широком телесном угле выигрыш составил 33 раза для нейтронов со скоростью 47 м/с. Было изучено влияние размеров наноалмазов на эффективность отражения холодных нейтронов (ХН) под малыми скользящими углами.

Явление квазизеркального отражения ХН от нанопорошков можно применять для фокусировки или транспортировки ХН к исследовательским установкам в случаях, когда другие отражатели разрушаются в интенсивных полях ионизирующего излучения.

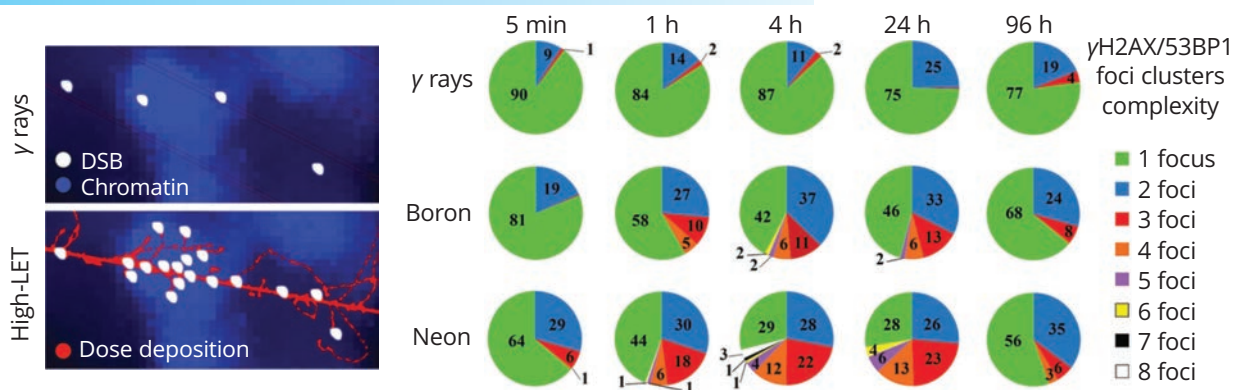


Установка TANGRA



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

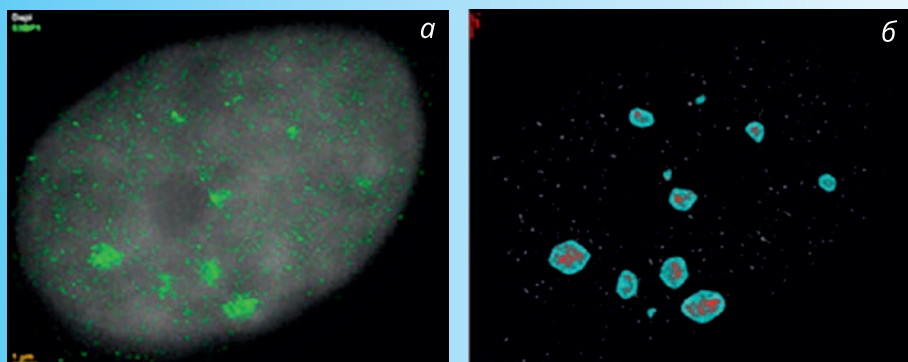
# РАДИАЦИОННЫЕ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



Формирование  $\gamma$ H2AX/53BP1 кластеров фокусов различного состава в ядрах нормальных фибробластов кожи человека при действии  $\gamma$ -квантов  $^{60}\text{Co}$ , ионов  $^{11}\text{B}$  и  $^{20}\text{Ne}$

В Лаборатории радиационной биологии с использованием пучков заряженных частиц ускорителей ОИЯИ были выяснены механизмы, определяющие различия в эффективности летального и мутагенного действия излучений с разными физическими характеристиками.

Исследованы закономерности индукции и репарации кластерных двунитевых разрывов ДНК различного состава и сложности в клетках млекопитающих и человека при действии ионизирующих излучений с разными физическими характеристиками. Разработан новый метод для анализа тонкой структуры кластерных повреждений ДНК со сверхвысоким разрешением.



Визуализация структуры кластеров репарационных белков 53BP1 в ядрах клеток глиобластомы человека U87 через 24 ч после облучения ускоренными ионами  $^{15}\text{N}$  (энергия 13 МэВ/нуклон, доза 1,3 Гр): а) изображения в микроскопе; б) программная постобработка

Разработан и запатентован принципиально новый метод повышения биологической эффективности пучков протонов медицинского назначения и гамма-терапевтических установок. Метод позволяет приблизить биологическую эффективность протонного облучения к эффективности облучения ионами углерода.

Исследованы закономерности и молекулярно-клеточные механизмы комбинированного действия ингибитора синтеза ДНК (АраЦ) и протонного излучения на мышиную меланому линии B16 *in vivo*. Показано, что введение АраЦ усиливает противоопухолевое действие протонного излучения путем реализации нескольких механизмов, среди которых уменьшение количества опухолевых



Радиобиологические исследования, связанные с изучением воздействия радиации на поведенческие реакции лабораторных животных

стволовых клеток, угнетение пролиферации клеток и ангиогенеза в опухоли на фоне изменения иммунного ответа в первичном очаге и его инфильтрации лимфоцитами.

Выполнен цитогенетический анализ формирования хромосомных aberrаций в клетках карциномы человека и нормальных лимфоцитах периферической крови человека при облучения фотонами и протонами (150 МэВ и в пике Брэгга). При действии  $\gamma$ -квантов в опухолевых клетках выявлена более эффективная репарация разрывов хроматина по сравнению с нормальными клетками, чем при облучении протонами.

Проведено сравнительное исследование нарушений поведенческих реакций и морфологических изменений в головном мозге взрослых самок крыс после облучения  $\gamma$ -квантами и протонами различных энергий в дозе 1 Гр. Наблюдались ухудшения работы кратковременной памяти, двигательной и исследовательской активности животных. Выявлены нейродегенеративные изменения в различных структурах головного мозга.

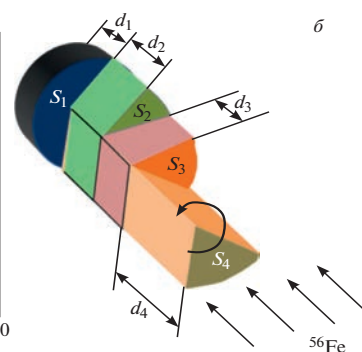
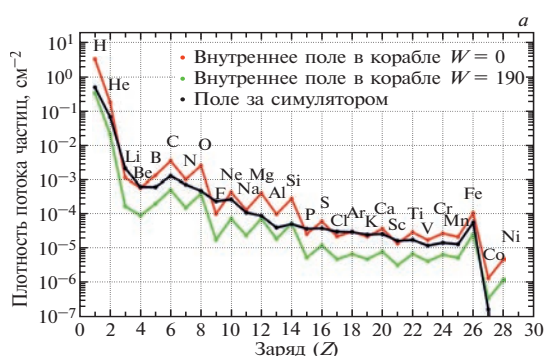
Предложен и запатентован уникальный симулятор радиационного поля в условиях дальнего космоса, который воспроизводит в правильном соотношении все компоненты галактического излучения внутри космического корабля, усредненные по солнечной активности.



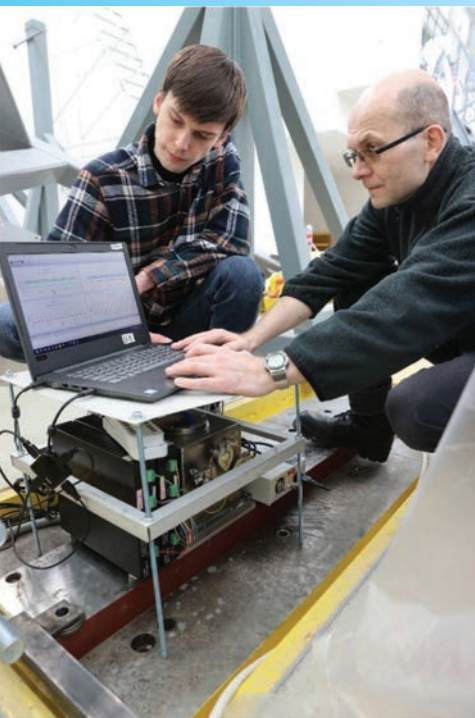
Анализ хромосомных aberrаций в лимфоцитах человека с помощью mFISH-метода



Новая рентгеновская установка SARRP для радиобиологических исследований



а) Сравнение расчетных зарядовых распределений частиц во внутреннем радиационном поле космического корабля в минимуме и максимуме солнечной активности и в поле за симулятором; б) схематический вид конвертора симулятора

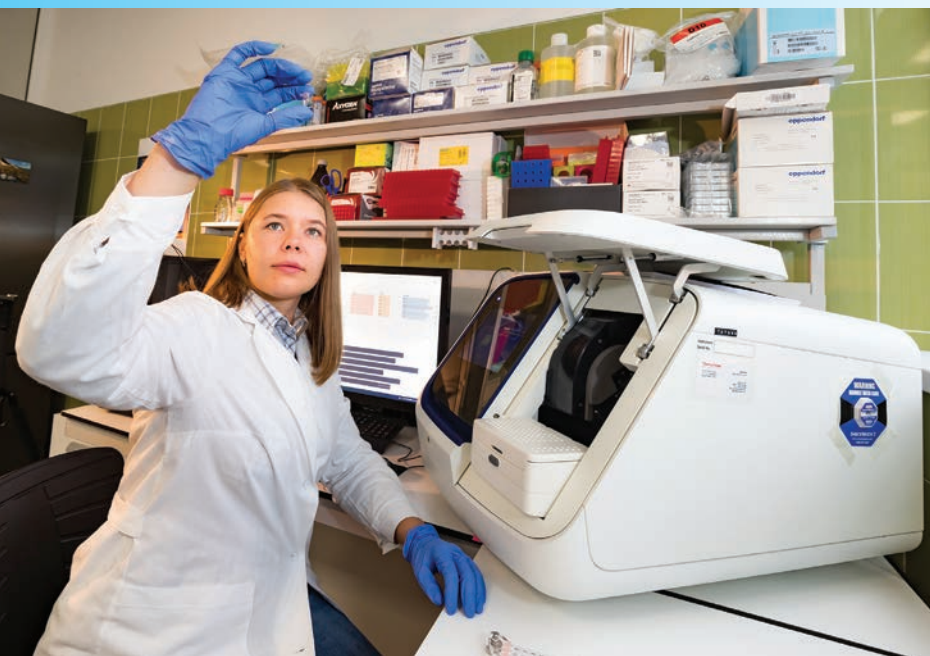


Установка малогабаритного лазерного инклинометра в зале MPD NICA

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

В течение 2022 г. собрано 6 МПЛИ. Началось их размещение в научных центрах стран-участниц ОИЯИ. Два инклинометра установлены в зале детектора MPD коллайдера NICA.

В течение нескольких месяцев проводилось мониторинг угловых микросейсм от промышленных шумов и природных явлений.



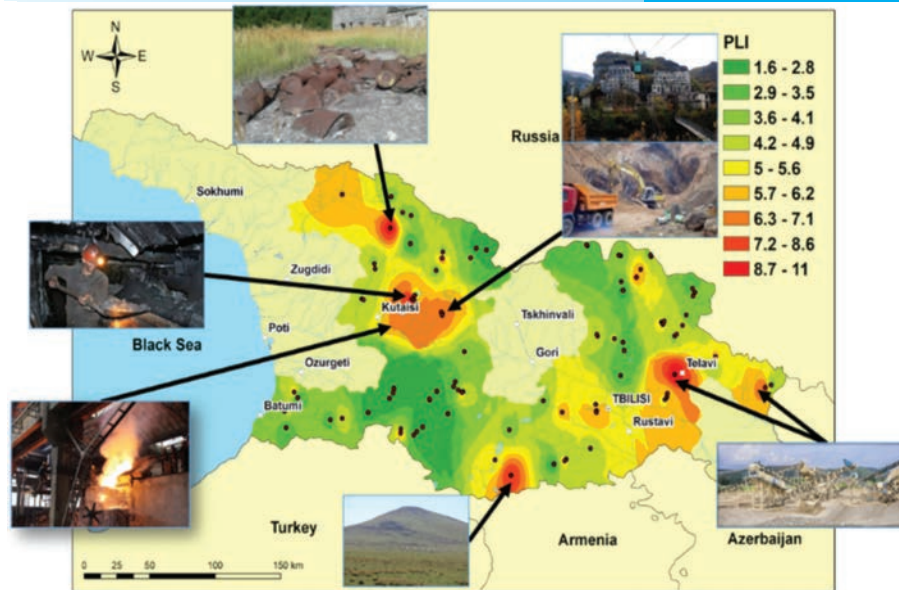
Постановка реакций секвенирования для определения последовательности ДНК гена 16S РНК у новых экстремофильных видов микроорганизмов, обнаруженных в подземном горячем источнике Баксанской нейтринной обсерватории

### TARDISS (генетика клетки)

В 2021 г. группой сотрудников ОИЯИ проведен 2-й этап эксперимента в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН по исследованию сверхглубоких микробных сообществ, обитающих в экстремальных условиях неподалеку от эльбрусского вулканического очага.

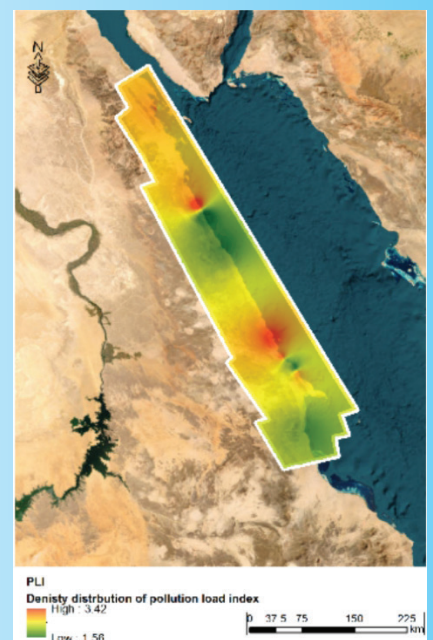
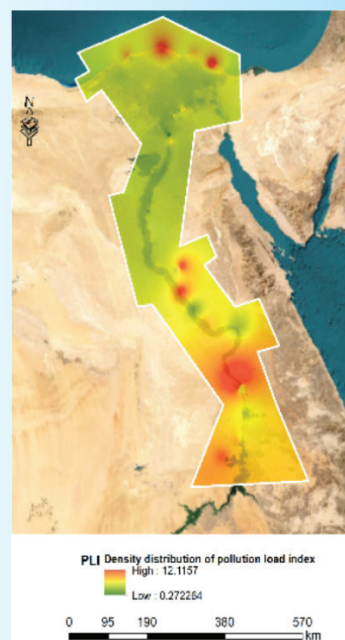
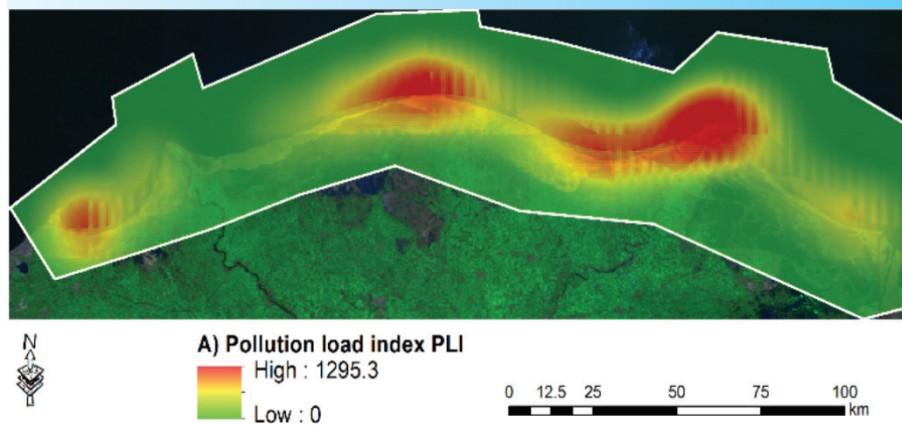
Были проведены исследования по изучению влияния пониженного радиационного фона на модельные биологические объекты. Анализ полученных данных свидетельствует об отсутствии влияния снижения радиационного фона на сложный модельный организм.

В рамках международной программы ООН «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе — оценки на основе анализа мхов-биомониторов» были проведены работы по оценке загрязнения воздуха в 12 странах-участницах ОИЯИ: Азербайджане, Армении, Белоруссии, Болгарии, Вьетнаме, Грузии, Казахстане, Молдове, Монголии, России, Румынии и Словакии.



Пространственное распределение индекса нагрузки загрязнения воздуха в Грузии в Атласе атмосферных выпадений тяжелых металлов

В рамках сотрудничества между Академией научных исследований и технологий (ASRT, Египет) и ОИЯИ была получена всесторонняя оценка экологической ситуации в Египте с использованием образцов почвы и донных отложений из реки Нил и ее дельты, прибрежных районов Средиземного и Красного морей. Использованы нейтронно-активационный анализ и масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой. Характеристика проб показала, что некоторые участки относительно более загрязнены, чем другие, но в целом не представляют существенного риска для здоровья человека и окружающей среды.



Пространственное распределение индекса нагрузки загрязнения по прибрежным районам Средиземного и Красного морей, реки Нил и ее дельты



# СЕТИ, КОМПЬЮТИНГ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

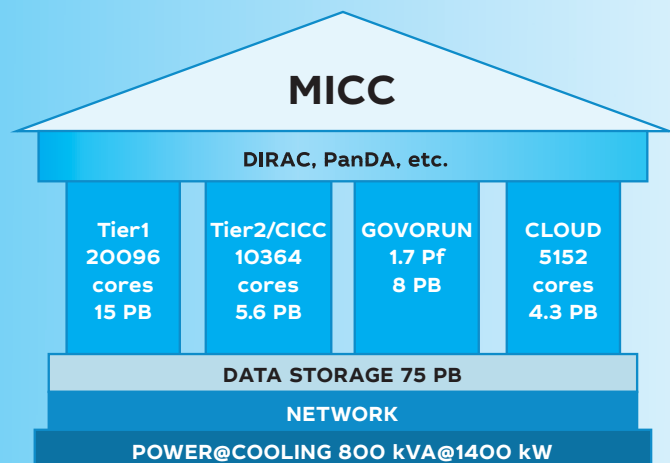
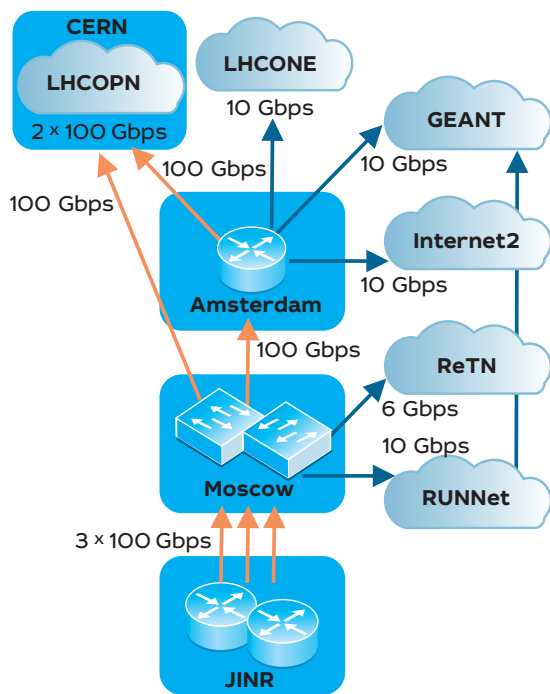


Схема Многофункционального информационно-вычислительного комплекса ОИЯИ

Одним из основных направлений Семилетнего плана в 2017–2023 гг. являлось плановое развитие в Лаборатории информационных технологий Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК).



Сетевая инфраструктура ОИЯИ

## Сетевая инфраструктура ОИЯИ

На новый технологический уровень вышла сетевая инфраструктура ОИЯИ. Пропускная способность телекоммуникационного канала Москва–ОИЯИ увеличена со 100 до  $3 \times 100$  Гбит/с, магистральной вычислительной сети Института – с 10 до  $2 \times 100$  Гбит/с, а также создана распределенная вычислительная кластерная сеть между площадками ЛЯП и ЛФВЭ пропускной способностью до 400 Гбит/с, что отвечает требованиям мегапроекта NICA.

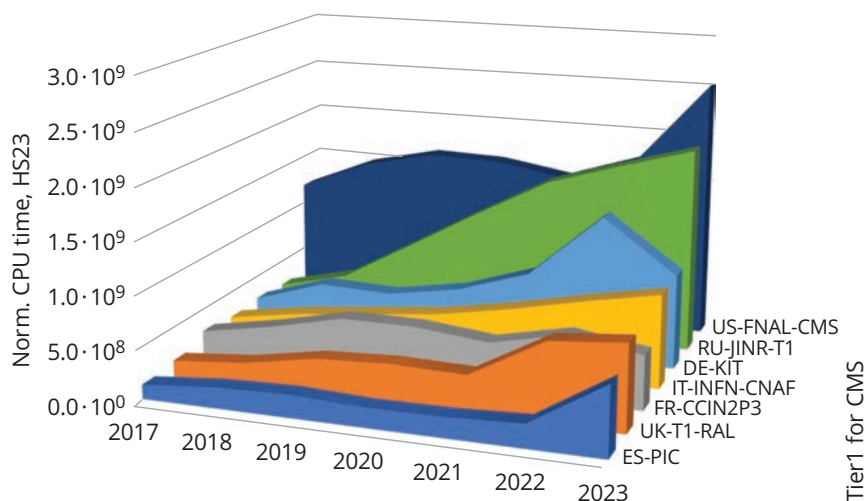
## Грид-среда ОИЯИ (сайты Tier1 и Tier2)

Грид-инфраструктура ОИЯИ представлена центром уровня Tier1 для эксперимента CMS на LHC и центром уровня Tier2 для обработки данных экспериментов NICA, LHC, BES, BIOMED, NOVA, ILC и др.

Система обработки данных Tier1 для CMS была увеличена с 3600 до 20 096 ядер, обеспечивая в настоящее время производительность 32 382,54 HSO6. Общая полезная емкость дисковых серверов увеличена с 4 до 15 ПБ, ленточных библиотек с 5,4 до 51 ПБ. По своей производительности Tier1 занимает лидирующие места среди центров Tier1 для эксперимента CMS. С 2021 г. ресурсы центра используются также для моделирования и обработки данных экспериментов NICA.

Вычислительные ресурсы центра Tier2 были по плану увеличены с 2470 до 10 364 ядер, что обеспечивает производительность 66 788,4 HSO6. Общая полезная емкость дисковых серверов составляет 5,6 ПБ. Сайт ОИЯИ Tier2 является лучшим в Российском консорциуме RDIG (российский грид для интенсивных операций с данными). С 2017 по 2023 г. вклад Tier2 ОИЯИ в производительность RDIG увеличился с 42 до 90%.

Распределенная система хранения EOS (так называемое «озеро данных») успешно интегрирована в структуру МИБК и используется для хранения и доступа к большим массивам информации. Для пользователей EOS доступно 23,3 ПБ дискового пространства. Научные группы экспериментов на NICA, Нейтринной программы и другие пользователи хранят данные на EOS согласно квотам.



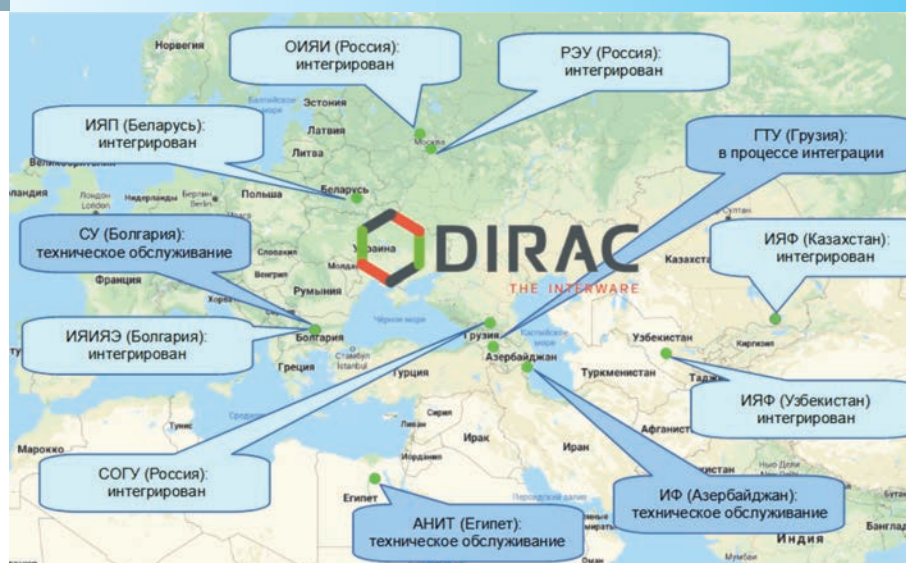
Вклад мировых центров Tier1 в обработку экспериментальных данных CMS за 2017–2023 гг.: распределение по нормированному времени CPU в HS23 часах

## Облачная инфраструктура

Ресурсы облачной инфраструктуры были увеличены с 330 до 5152 ядер ЦПУ и с 840 ГБ до 61,5 ТБ общего объема ОЗУ. Общий объем дискового пространства в программно-определяемом хранилище на базе серp увеличен до 4,3 ПБ. Расширение ресурсов облачной инфраструктуры было профинансировано в рамках экспериментов NOVA/DUNE, JUNO, Vaikal-GVD (ЛЯП), коллаборации которых являются основными пользователями облачной инфраструктуры.

Активно велись работы по интеграции облачных структур стран-участниц ОИЯИ в распределенную платформу на основе DIRAC.

Во время пандемии коронавируса в 2020–2022 гг. свободные от основной деятельности ресурсы РИВС были задействованы для проведения исследований по изучению вируса SARS-CoV-2 в рамках платформы Folding@Home.



Облака организаций, интегрированные в распределенную информационно-вычислительную среду (РИВС)



Суперкомпьютер «Говорун»

## Гетерогенная инфраструктура

Суперкомпьютер «Говорун» был создан в 2018 г. на основе опыта, накопленного при эксплуатации гетерогенного кластера HybriLIT, входящего в состав МИВК ОИЯИ. HybriLIT показал свою востребованность при решении задач КХД на решетках, радиационной биологии, в прикладных исследованиях и др. Постоянный рост числа пользователей и расширение круга решаемых задач привели к созданию новой вычислительной системы — суперкомпьютера (СК) «Говорун» как высокопроизводительной масштабируемой системы с жидкостным охлаждением, обладающей гиперконвергентной и программно-определяемой архитектурой.

Общая производительность СК «Говорун» с момента его презентации выросла с 0,5 до 1,7 Пфлопс для операций с двойной точностью, а общая емкость иерархического хранилища — с 288 ТБ до 8,6 ПБ.

С 2021 г. на платформе HybriLIT интенсивно развивается информационно-вычислительная система (ИВС) для решения задач, связанных с расчетами электронных оболочек сверхтяжелых элементов. На этой системе проводились интенсивные расчеты с использованием ПО AMS и DIRAC для изучения электронных свойств сверхтяжелых элементов. С целью разработки квантовых алгоритмов в ИВС был развернут полигон для квантовых вычислений с установленными симуляторами квантовых вычислений Cirq, Qiskit, PennyLane, способными работать на различных вычислительных архитектурах.

В конце 2021 г. на основе объединения суперкомпьютеров ОИЯИ, МСЦ РАН и СПбПУ создана масштабируемая исследовательская инфраструктура нового уровня. Она позволяет участникам расширять свои локальные вычислительные мощности, обеспечивать доступ к средствам хранения и обработки больших объемов данных, к распределенным хранилищам данных (датахабам), а также использовать мощности друг друга в случаях пиковых нагрузок.

## Интеграция вычислительных ресурсов

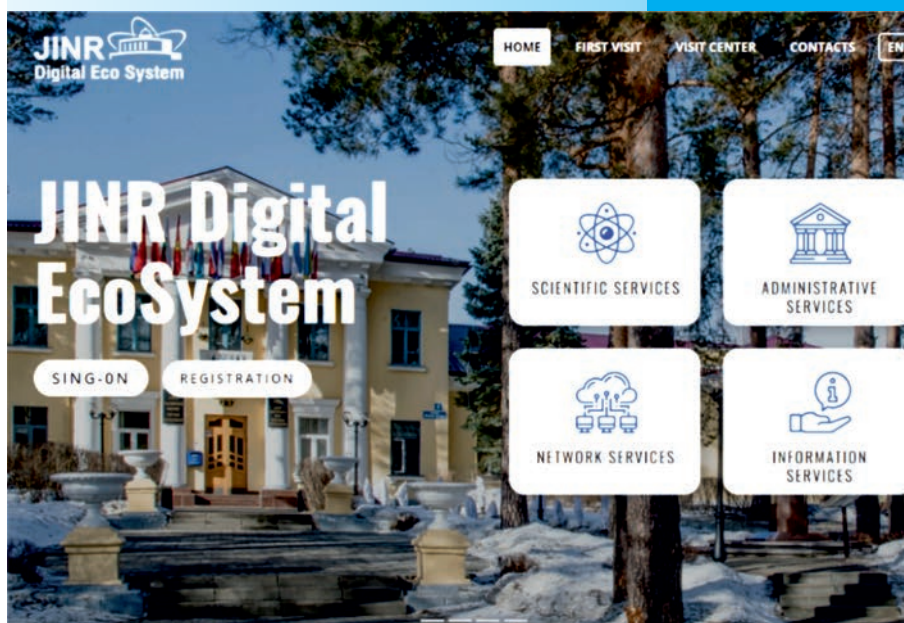
С помощью программного обеспечения Interware DIRAC (Distributed Infrastructure with Remote Agent Control) были объединены вычислительные ресурсы Tier1/Tier2, суперкомпьютера «Говорун», облачных сред ОИЯИ и организаций стран-участниц, кластера NICA, кластера Национального автономного университета Мексики, кластера Института математики и цифровой технологии Монгольской академии наук, Национальной исследовательской компьютерной сети России и ресурсы хранения: dCache, EOS и сверхбыстрая система хранения данных Lustre.

## Цифровая экосистема ОИЯИ

С 2022 г. велись работы по созданию платформы Digital JINR — «Цифровая экосистема ОИЯИ», которая в конце марта 2023 г. была введена в тестовую эксплуатацию. JINR Digital EcoSystem — платформа, обеспечивающая доступ к сети информационных сервисов ОИЯИ.

Основной целью Digital JINR является предоставление единой среды для создания и развития цифровых сервисов, их интеграции друг с другом, анализа информации о всех аспектах деятельности ОИЯИ. Digital JINR — это, по сути, служба единого окна в цифровой среде ОИЯИ.

В цифровую экосистему входит широкий спектр сервисов — от ресурсов для пользователей базовых установок до оформления командировок, путевок, заказа справок и т.д. Основные группы сервисов — административные и научные. Доступ к системе реализован на базе службы аутентификации JINR Single Sign-On (SSO) через единую точку доступа Digital EcoSystem.

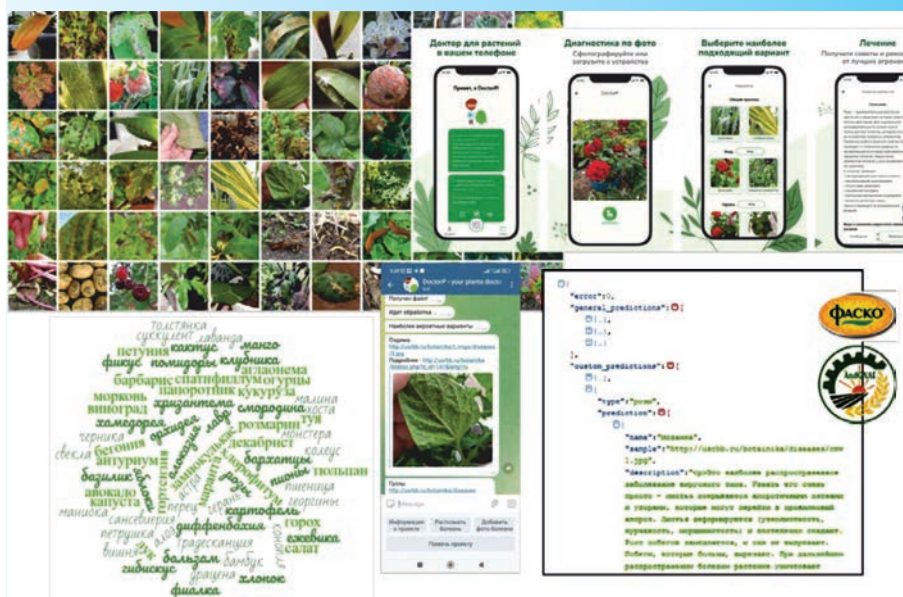


Интерфейс единой точки доступа Digital EcoSystem

## Методы, алгоритмы и программное обеспечение для моделирования физических систем, математической обработки и анализа экспериментальных данных

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 ОИЯИ была разработана облачная платформа для управления данными мониторинга.

Развиты платформа и мобильное приложение (DoctorP) для распознавания болезней растений и вредителей. Доступны как общая модель, способная распознавать 68 классов болезней, так и специализированные модели для 30 декоративных и сельскохозяйственных культур. В базе собрано свыше 6000 изображений. Доступ к платформе могут получить сторонние приложения и сервисы. Этой возможностью уже воспользовались компания «Гарден ритейл Сервис» (ранее «Фаско») и Андижанский институт сельского хозяйства и агротехники (Узбекистан).



Примеры интерфейсов платформы DoctorP

Разработана программно-аппаратная платформа на основе встраиваемых в контур управления квантовых нечетких регуляторов для решения задачи управления давлением и расходом жидкого азота сверхпроводящих магнитов криогенной системы ускорительного комплекса NICA. Экспериментально продемонстрированы работоспособность и эффективность разработанной интеллектуальной системы дистанционного управления технологическим процессом охлаждения сверхпроводящего магнита с гарантированным достижением устойчивой зоны сверхпроводимости. Проектирование квантовых нечетких регуляторов основано на квантовых информационных технологиях и осуществляется с помощью разработанного сотрудниками ЛИТ ОИЯИ программного инструментария QSCIT (Quantum Soft Computational Intelligence Toolkit).

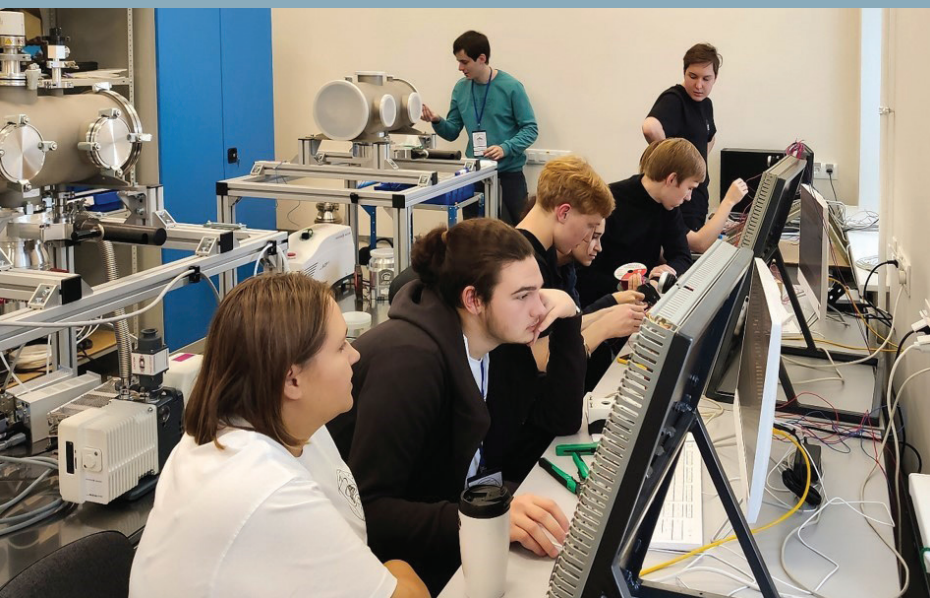
# ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ОИЯИ



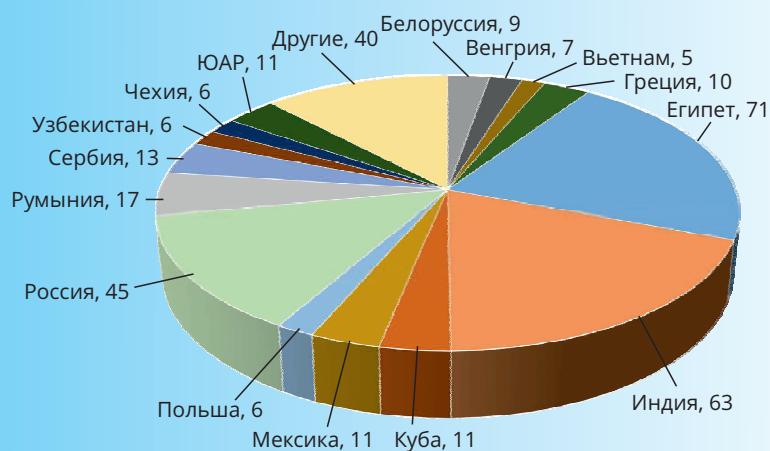
Учебно-научный центр (УНЦ) ОИЯИ организует учебный процесс для студентов базовых кафедр МГУ, МИФИ, МФТИ, государственного университета «Дубна», СПбГУ и Казанского (Приволжского) федерального университета. Стажировки и практики в ОИЯИ ежегодно проходят около 500 студентов и аспирантов из университетов государств-членов ОИЯИ.

**13** базовых  
**в** кафедр  
**6** университетах

## Программа INTEREST



Круглогодичная онлайн-программа INTEREST (INTERnational Remote Student Training), запущенная в сентябре 2020 г., позволяет студентам познакомиться с основными направлениями исследований ОИЯИ, способствует поиску научного руководителя для квалификационной работы, а также участию в очных стажировках. Каждая волна программы длится 4–6 недель.

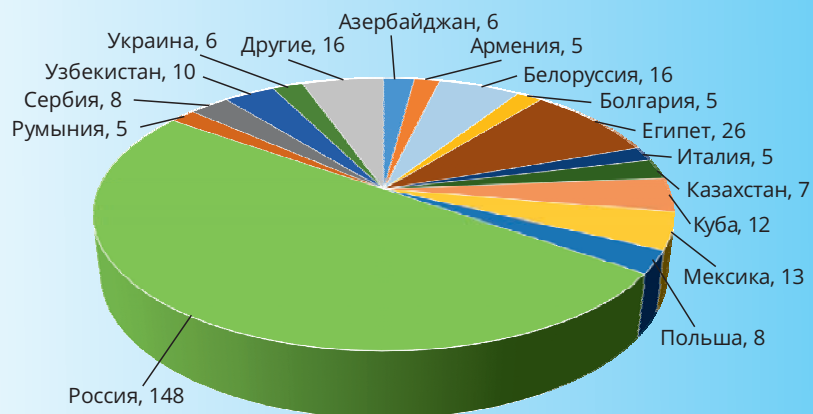


**331** участник  
из **37** стран

работали над проектами ОИЯИ в формате онлайн.

## Программа START

В 2022 г. Летняя студенческая программа ОИЯИ начала работу под новым названием START – Student Advanced Research Training at JINR. Программа очной стажировки проходит круглогодично. К участию в ней допускаются студенты со всего мира, специализирующиеся в естественных науках, инженерии и IT, заканчивающие 3-й курс бакалавриата, обучающиеся в магистратуре, а также аспиранты 1-го года. Участниками программы START с 2017 по 2023 г. стали 296 человек из 25 стран. Программа предоставляет сотрудникам ОИЯИ возможность поиска молодых специалистов, которые приглашаются для прохождения очной стажировки в Институте на срок 6–8 недель.



# 296

старшекурсников и аспирантов из

# 25 стран

прошли очную стажировку в ОИЯИ по программе START.

## Международная студенческая практика

Международные студенческие практики по направлениям исследований ОИЯИ – трехнедельные очные программы. С 2017 по 2023 г. участниками практик стали 508 человек. Студентам предлагается насыщенная образовательная и культурная программа, основное же время отводится на выполнение научных проектов под руководством сотрудников ОИЯИ.



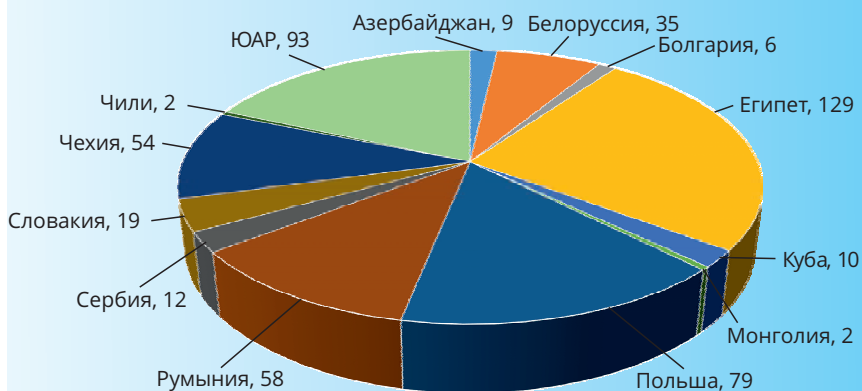
# 508 человек

из

# 13 государств

приняли

участие в ознакомительной трехнедельной Международной студенческой практике.





Сотрудники УНЦ совместно с представителями лабораторий Института ежегодно участвуют очно и в онлайн-формате в крупных российских фестивалях науки, организации выставок, лекций, экскурсий, мастер-классов и физических демонстраций на различных мероприятиях, а также в деятельности информационных центров ОИЯИ. Среди них:

- Всероссийский фестиваль науки «Наука O+» в Москве на площадках ЦВК «Экспоцентр» и МГУ. В программы ОИЯИ входили лекции, мастер-классы, демонстрации макетов базовых установок Института и стендов с экспонатами исследовательских проектов;

- Фестиваль науки, технологий и искусства «Geek Picnic» в парке искусств «Музеон»;

- фестиваль «Техносреда» 25–26 сентября 2021 г.;

- XIX Всемирный фестиваль молодежи и студентов в Сочи, 2017 г.;

- 2-й Конгресс молодых ученых в Сочи, 2022 г.;

- Всемирный день темной материи, 2019 г.;

- форум «Наноград», программы «Школьная лига» в Санкт-Петербурге, 2022 г.;

- Мастерская физики «105-й элемент», летняя школа;

- день базовых кафедр ОИЯИ в университете «Дубна»;

- дни карьеры в МГУ, МФТИ, МИФИ, СПбГУ, университете «Дубна».



Более **20**  
мероприятий  
для инфоцентров  
ОИЯИ ежегодно

### Выставка «Базовые установки ОИЯИ»

В ДК «Мир» действует интерактивная выставка «Базовые установки ОИЯИ», подготовленная сотрудниками УНЦ к празднованию 65-летия ОИЯИ. Представленные на выставке стенды и макеты установок ОИЯИ — лучший способ познакомиться с работой основных установок Института на интерактивных моделях.

## Школы для учителей в ОИЯИ

С 2017 по 2023 г. в международных школах для учителей физики в ОИЯИ и ЦЕРН приняли участие

# 200

преподавателей

из 37 регионов РФ и 7 государств-членов ОИЯИ.



## Работа со школьниками

УНЦ проводит мероприятия для школьников, учителей и широкой общественности, направленные на популяризацию научных знаний, развитие интереса к естественным и точным наукам, к физике и математике. Ежегодно проводятся: фестиваль «Дни физики», турнир по робототехнике «CyberDubna», соревнования по конструированию и программированию роботов – технический хакатон, Международная компьютерная школа.

С 2021 г. проводятся научные школы для студентов Школьного университета при Академии научных исследований и технологий Египта. Всего в 2021–2023 гг. в школе приняли участие 39 человек.

В 2022 г. в совместном проекте Образовательного центра «Сириус» и ОИЯИ «Уроки настоящей ядерной физики» – январского цикла проекта «Уроки настоящего» принимали участие более 600 школьников 7–11-х классов, объединенных в 90 научно-технологических студий из образовательных организаций 41 региона России.



Более

# 60

групповых  
экскурсий  
школьников  
и студентов

в лаборатории Института  
ежегодно





Дубна, 2 сентября 2022 г. Торжественное открытие филиала МГУ в Дубне

В 2022 г. в Дубне по инициативе ОИЯИ и МГУ им. М.В. Ломоносова начал работу филиал МГУ, который принял эстафету от существовавшего подразделения НИИЯФ и двух кафедр физического факультета МГУ.

В мае 2023 г. были обновлены программы магистратуры: «Физика элементарных частиц» и «Фундаментальная и прикладная ядерная физика», а также согласована магистерская программа «Методы и технологии обработки данных в гетерогенных вычислительных средах».

В сотрудничестве с Лабораторией информационных технологий ОИЯИ и факультетом вычислительной математики и кибернетики МГУ подготовлены программы и учебный план по направлению подготовки «Прикладная математика и компьютерные науки». Дисциплины реализуемого IT-направления были представлены на секции международной конференции «Математика в созвездии наук», организованной в Дубне.



Москва, 20 ноября 2023 г. Ректор МГУ им. М.В. Ломоносова В. А. Садовничий и директор ОИЯИ Г.В. Трубников подписали Соглашение о сотрудничестве между ОИЯИ и МГУ на совместном заседании Ученого совета МГУ и ОИЯИ

2 марта 2017 г. в Центральном доме ученых РАН (Москва) прошел торжественный коллоквиум, посвященный **инаугурации химических элементов Периодической таблицы Д.И. Менделеева** на основании решения Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC) о присвоении названий:

- Nihonium (нихоний) и символ Nh для элемента 113;
- Moscovium (московий) и символ Mc для элемента 115;
- Tennessine (теннессин) и символ Ts для элемента 117;
- Oganesson (оганесон) и символ Og для элемента 118.



На торжественном коллоквиуме, посвященном инаугурации новых сверхтяжелых элементов



В 2019 г. Европейское физическое общество (EPS) объявило о присуждении **Премии в области физики высоких энергий и физики частиц (HEP)** участникам коллабораций CDF и DO за открытие  $t$ -кварка и детальное изучение его свойств.

Сотрудники Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ участвовали в обоих экспериментах, удостоенных высокой оценки.

Члены коллаборации CDF от ЛЯП ОИЯИ: А. М. Артиков, Ю. А. Будагов, В. В. Глаголев, Ф. В. Прокошин, О. Е. Пухов, А. А. Семенов, А. В. Симоненко, А. Н. Сисакян, И. А. Суслов, Г. А. Члачидзе, Д. Ш. Чохели — внесли значительный вклад в модернизацию установки CDF в 1992–1999 гг., а также в анализ и обработку результатов эксперимента в 2000–2012 гг.

Члены коллаборации DO от ЛЯП ОИЯИ: В. М. Абазов, Г. Д. Алексеев, Л. С. Вертоградов, Ю. Л. Вертоградова, А. Ю. Верхеев, Г. А. Голованов, В. Л. Малышев, Ю. П. Мерекоев, Б. М. Сабилов, Н. Б. Скачков, В. В. Токменин, Ю. Н. Харжеев, Ю. А. Яцуненко — создали детекторы и электронику для передней мюонной системы установки DO, участвовали в изучении свойств топ-кварка, внесли решающий вклад в открытие тяжелых  $b$ -гиперонов и в исследование мультипартоновых взаимодействий адронов.

14 октября 2020 г. сотрудник ЛТФ ОИЯИ Федор Шимковиц был удостоен престижной награды Словакии — премии **ESET Science Award** в знак признания его большого вклада в теорию элементарных частиц и ядерной физики, и особенно физики нейтрино.



Лауреаты ESET Science Award 2020 Т. Чанади, Ф. Шимковиц (ЛТФ ОИЯИ) и И. Варга. Фото: [esetscienceaward.sk](http://esetscienceaward.sk)



Париж. Церемония вручения премии ЮНЕСКО–России им. Д. И. Менделеева

В 2021 г. были объявлены первые лауреаты **Международной премии ЮНЕСКО–России им. Д. И. Менделеева** в области фундаментальных наук, которыми стали Ю.Ц. Оганесян (Россия) и В. Бальцани (Италия).



Сотрудники ЛНФ ОИЯИ И. Зиньковская, Д. Гроздов, Н. Юшин и К. Вергель — победители международной выставки «Euroinvent-2021»

Победителями 13-й Европейской выставки творчества и инноваций **«Euroinvent-2021»**, проходившей онлайн 20–22 мая 2021 г., стали молодые ученые ЛНФ ОИЯИ Инга Зиньковская, Никита Юшин, Дмитрий Гроздов и Константин Вергель. Исследователи завоевали золото за работу «Производство минерально-органического гибридного адсорбента для очистки промышленных сточных вод от металла» и серебро за исследование «Неожиданный эффект длительного перорального приема наночастиц серебра на рождаемость у мышей».

В июне 2022 г. в качестве подтверждения ценности международного сотрудничества ОИЯИ–Монголия и вклада в совместные исследования решением Президента Монголии орденом «**Полярная звезда**» Монголии награжден советник при дирекции ЛИТ ОИЯИ И. В. Пузынин, **медалью «Дружба»** – ведущий научный сотрудник ЛТФ ОИЯИ С. И. Виноцкий.



Делегация посольства Монголии в РФ и представители дирекции ОИЯИ с сотрудниками Института, которым были вручены правительственные награды Монголии

24 ноября 2022 г. в Москве ведущий научный сотрудник ЛФВЭ ОИЯИ С. П. Мерц получил Всероссийскую премию «**За верность науке**» за победу в номинации «Наука – это модно».



Сотрудник ЛФВЭ ОИЯИ С. П. Мерц – лауреат премии «За верность науке»



Вручение первой Научной премии Сбера академику Ю. Ц. Оганесяну

14 декабря 2022 г. в штаб-квартире Сбербанка прошло вручение первой **Научной премии Сбера**. Академик Ю. Ц. Оганесян стал лауреатом премии за основополагающие работы по синтезу сверхтяжелых элементов и вклад в становление экспериментальной базы ускорителей, которые закладывают перспективу для революционных ядерных технологий.



Лауреаты премии «Оганесон»

По инициативе Ю. Ц. Оганесяна денежная часть премии Сбера была передана в фонд новой ежегодной премии **«Оганесон»**, присуждаемой за значимые достижения в теоретических и экспериментальных исследованиях в области физики, химии, биологии и прикладных задач, а также за творческую деятельность в области образования и популяризацию науки. Первые лауреаты были объявлены в 2023 г. Ими стали: Ана Мария Четто Крамис, профессор физики Национального автономного университета Мексики, Михаил Ефимович Швыдкой, специальный представитель Президента Российской Федерации по международному культурному сотрудничеству, Валерия Першина, профессор химии (Центр тяжелых ионов исследований, Дармштадт, Германия), Василий Алексеевич Семин, начальник научно-технологического отдела ускорителей ЛЯР ОИЯИ.

28 сентября 2023 г. в Доме народных собраний в Пекине (Китай) состоялась торжественная церемония вручения **премии Дружбы КНР**. В числе лауреатов — директор ОИЯИ академик Г.В. Трубников, удостоенный престижной награды КНР за вклад в развитие научного сотрудничества ОИЯИ и китайских научных центров в области сверхпроводящих технологий, ядерно-физических установок и ядерной медицины.



Директор ОИЯИ академик Г.В. Трубников, удостоенный премии Дружбы КНР

19 декабря 2023 г. состоялось вручение первой национальной премии в области будущих технологий **«Вызов»**. Лауреатом премии в номинации «Инженерное решение» стал заместитель директора ЛФВЭ ОИЯИ Г.Г.Ходжибагиан — за разработку магнитных систем на основе высокотемпературных сверхпроводников для ускорителей заряженных частиц и сверхмощных накопителей энергии. Соавторами работы являются директор ОИЯИ академик Г.В. Трубников и научный сотрудник ЛФВЭ ОИЯИ М.С.Новиков.



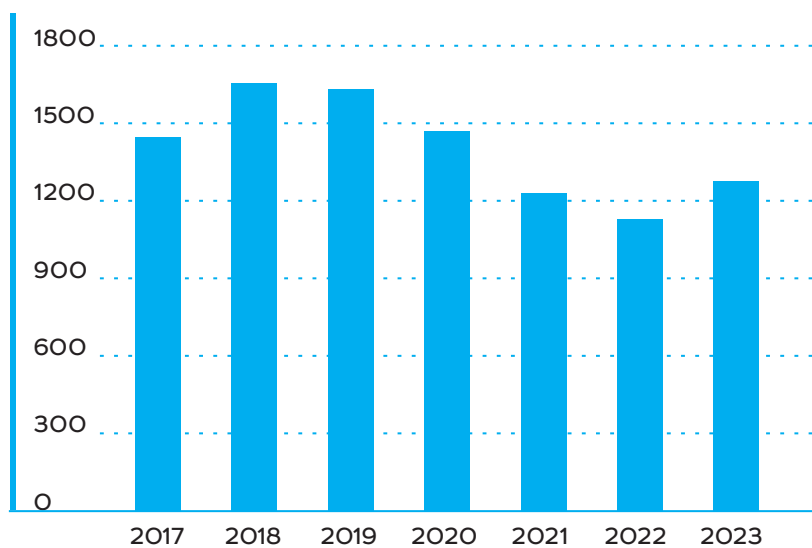
Сотрудник ЛФВЭ ОИЯИ Г.Г.Ходжибагиан — лауреат национальной премии в области будущих технологий «Вызов»

# МОНИТОРИНГ РАЗВИТИЯ ОИЯИ



Распределение публикаций ОИЯИ за 2023 г. по научным областям, по данным WoS (одна публикация может быть отнесена к нескольким областям)

Ученые ОИЯИ проводят исследования в сфере астрофизики и физики элементарных частиц, ядерной физики, физики конденсированного состояния вещества, радиационной биологии, информационно-вычислительных технологий, теоретической и математической физики.



Число публикаций ОИЯИ, по данным WoS

Не менее

**1000**  
публикаций

ежегодно выходит на протяжении последних семи лет.

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Количество организаций, сотрудничающих с ОИЯИ	883	908	918	931	1005	998	996
Количество информационных центров ОИЯИ	—	1	1	2	4	8	11
Количество коллабораций с участием ОИЯИ	38	38	39	39	39	39	39

**Институт активно развивает свою партнерскую сеть.**

ОИЯИ использует новые форматы международного сотрудничества с целью вовлечения большего числа участников в свою научно-организационную орбиту.

## 5 место

по размеру бюджета среди международных межправительственных научных организаций (ММНО) в области естественных наук

Название ММНО		Годовой бюджет 2022 г., тыс. долл.
1	CERN	1 472 685
2	European Molecular Biology Laboratory	336 162
3	European Southern Observatory	283 445
4	Square Kilometer Array	270 089
5	JINR	221 600
6	European Spallation Source	143 280
7	European Synchrotron Radiation Facility	122 922
8	Institut Laue-Langevin	113 557
9	World Meteorological Organization	99 547
10	International Institute for Applied Systems Analysis	25 681

## 2 место

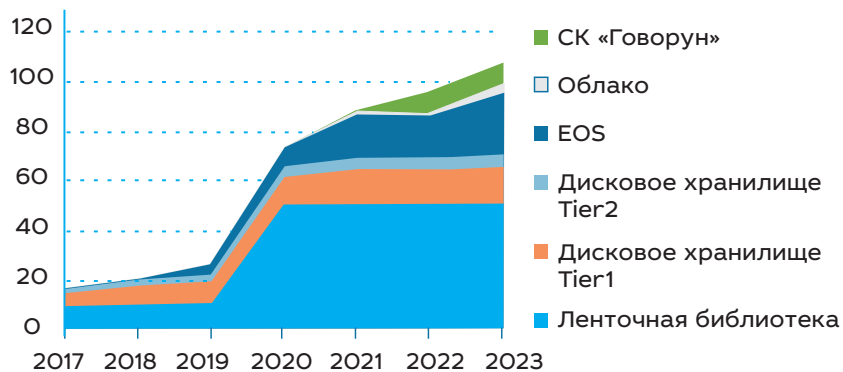
по численности персонала среди ММНО

Название ММНО		Численность персонала в 2022 г., чел.
1	CERN	12200
2	JINR	4200
3	Joint Research Centre	2750
4	UNESCO	2200
5	European Space Agency	2200
6	European Molecular Biology Laboratory	1986
7	European University Institute	1212
8	European Synchrotron Radiation Facility	707
9	European Southern Observatory	700
10	Institut Laue-Langevin	536

Динамично развивается ИТ-платформа.

## В 5 раз выросла

емкость хранилища данных и вычислительных мощностей за 7 лет.

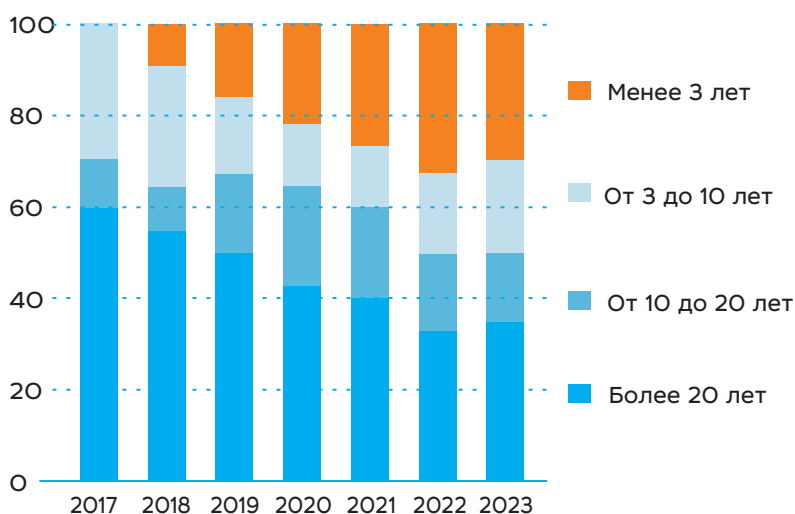


Система хранения данных ОИАИ (в ПБ)

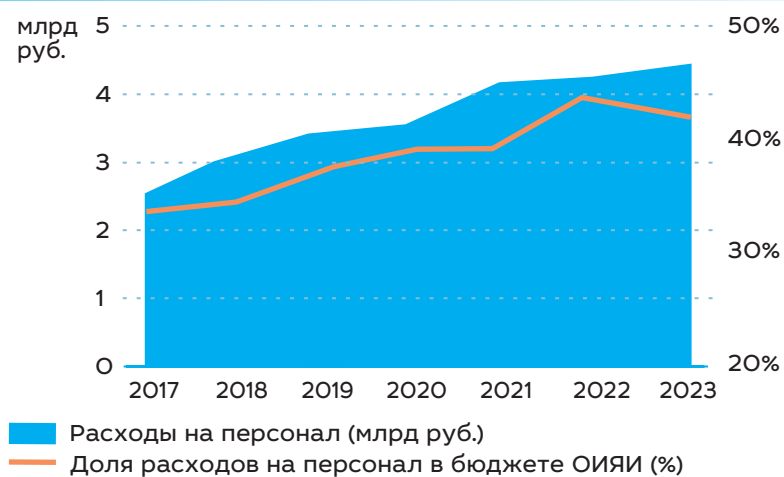




Стоимость базовых установок и оборудования (млрд руб.)



Распределение числа базовых установок по их возрасту (в %)

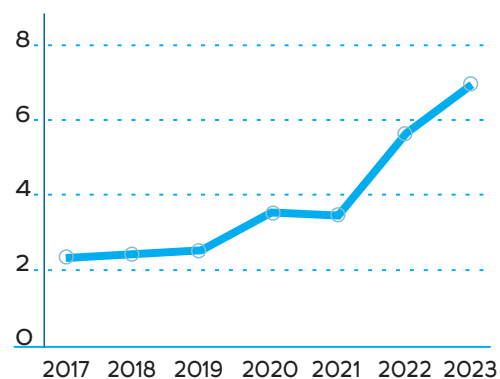


Расходы на персонал и доля расходов на персонал в бюджете ОИЯИ (расходы на персонал включают в себя расходы на заработную плату, страховые взносы и соцбытфонд)

Уникальность проводимых в ОИЯИ исследований во многом обусловлена наличием и активным развитием собственной инфраструктуры экспериментальных физических установок. Институт активно вкладывался в научную инфраструктуру на протяжении предыдущей семилетки (стоимость выросла в 3 раза). Произошло существенное омоложение базовых установок ОИЯИ (треть базовых установок моложе 3 лет).

## В 3 раза

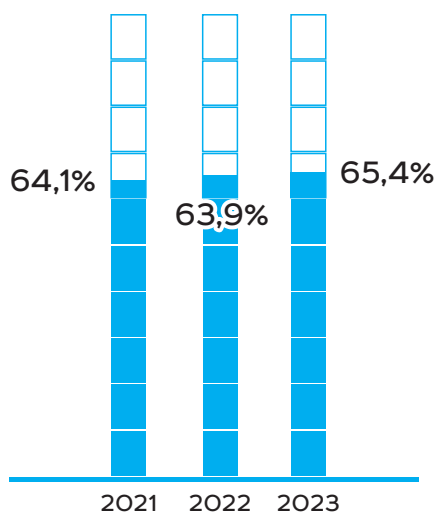
выросла фондовооруженность исследователей.



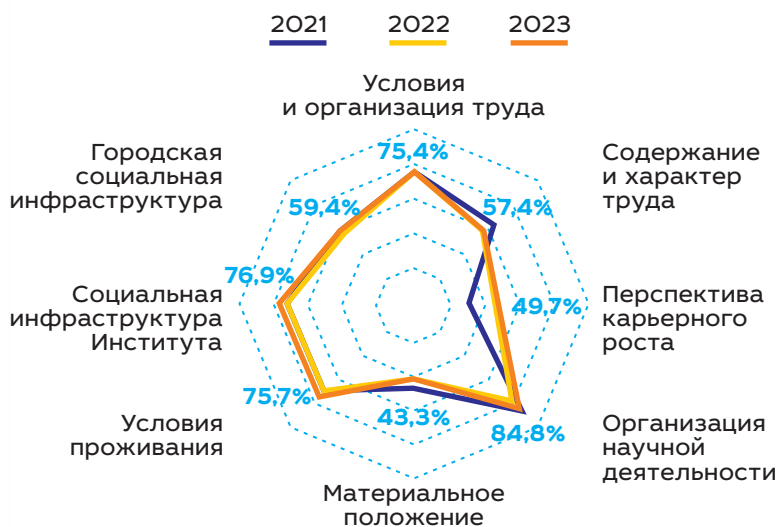
Стоимость установок и оборудования в расчете на одного исследователя на начало года (млн руб.)

Расходы на персонал выросли как в абсолютных значениях, так и в процентах от общих расходов.

По данным ежегодных социологических опросов, удовлетворенность персонала работой в ОИЯИ растет. Прежде всего сотрудники удовлетворены организацией научной деятельности, условиями и организацией труда и социальной инфраструктурой Института.



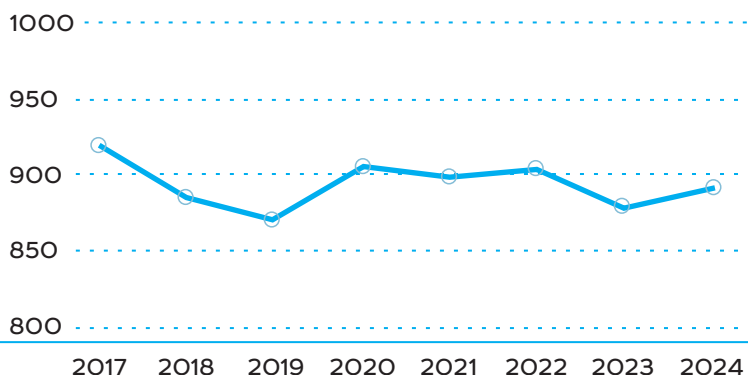
Совокупный индекс удовлетворенности персонала



% – доля скорее и вполне удовлетворенных от общего числа.

Удовлетворенность персонала по данным ежегодных соцопросов

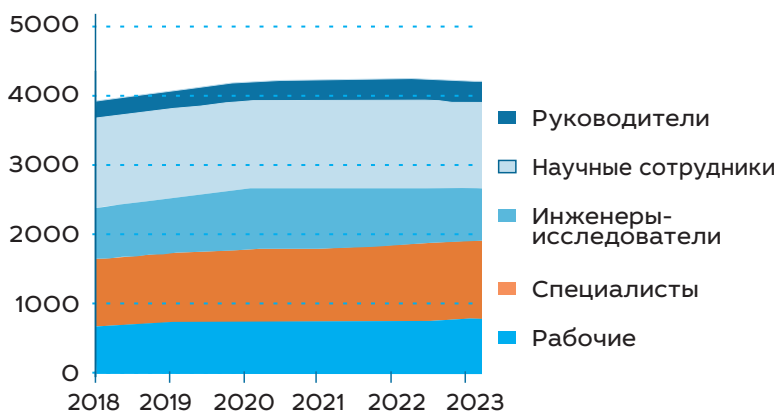
**900**  
кандидатов  
и докторов наук



Численность персонала с учеными степенями (чел.)

**4200**  
человек

составляет численность персонала без хозрасчетных подразделений. Структура кадров стабильна.



Структура персонала по категориям (чел.)

**Объединенный институт ядерных исследований. 2017–2023 гг. Краткий обзор**  
O29 научных достижений и развития исследовательской инфраструктуры. – Дубна:  
ОИЯИ, 2024. – 49 с.

ISBN 978-5-9530-0620-0

**Ответственные  
за подготовку обзора:**

С. Н. Неделько  
Б. М. Старченко  
Ю. Г. Шиманская

**Обзор подготовили:**

А. В. Андреев  
О. Ю. Дереновская  
А. В. Карпов  
И. В. Кошлань  
О. В. Крупа  
И. В. Симоненко  
Е. А. Федорова  
Д. Худоба  
А. П. Чеплаков

**Фото:**

И. А. Лапенко  
Е. В. Пузыниной

**Объединенный институт ядерных исследований. 2017–2023 гг.**  
Краткий обзор научных достижений  
и развития исследовательской инфраструктуры

Редактор Е. В. Калининкова  
Компьютерная верстка И. Г. Андреевой  
дизайн В. О. Тамоновой

Подписано в печать 30.05.2024.  
Формат 60 × 84/8. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 5,8. Уч.-изд. л. 6,37. Тираж 100 экз. Заказ 60884.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.  
E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)  
[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)