

Объединенный институт
ядерных исследований



СЕМИЛЕТНИЙ
ПЛАН РАЗВИТИЯ
ОИЯИ
на 2024–2030 гг.



Объединенный институт ядерных исследований

СЕМИЛЕТНИЙ ПЛАН РАЗВИТИЯ ОИЯИ НА 2024–2030 ГГ.

Дубна
2023

Авторы:

А. В. Андреев, П. Ю. Апель, В. А. Бедняков, О. В. Белов, И. А. Белолаптиков, А. Н. Бугай, А. В. Бутенко, М. П. Васильев, А. Ю. Верхеев, Б. Н. Гикал, М. О. Гончар, О. Ю. Дереновская, С. Н. Дмитриев, А. В. Дударев, А. С. Жемчугов, Н. В. Заикина, Д. И. Казаков, Н. В. Калинин, Д. В. Каманин, А. В. Карпов, В. Д. Кекелидзе, Е. А. Колганова, В. В. Кореньков, Л. Костов, И. В. Кошлань, Е. А. Красавин, О. А. Куликов, Е. Г. Кутейникова, Е. В. Лычагин, И. Ф. Ленский, В. А. Матвеев, И. Н. Мешков, Д. А. Михеев, Д. В. Наумов, С. Н. Неделько, Ю. Ц. Оганесян, А. Г. Ольшевский, А. В. Рузаев, Н. А. Русакович, С. И. Сидорчук, И. В. Симоненко, Т. А. Стриж, И. Т. Сулейманов, Е. М. Сыресин, А. В. Тамонов, Г. В. Трубников, Л. В. Уварова, Д. М. Худоба, А. П. Чеплаков, Б. Ю. Шарков, В. Н. Швецов, Г. Д. Ширков, С. В. Шматов, Е. А. Якушев

СЗ0 Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. – Дубна: ОИЯИ, 2023. – 83 с.
ISBN 978-5-9530-0606-4



Дорогие друзья и коллеги!

Как известно, времена не выбирают. Сегодня мы все переживаем эпоху глобальных трансформаций. Большие вызовы и трудности – это всегда и большие возможности. Наш Институт успешно преодолел испытания последних лет, несмотря на окружающие шторма, находится в прекрасной форме и твердо следует своему курсу. Мы демонстрируем выдающиеся научные результаты и приверженность своей главной миссии, заложенной отцами-основателями, – объединению ученых из разных стран для исследования фундаментальных свойств материи на самых передовых фронтах современной науки.

Благодаря вам, дорогие наши сотрудники, и благодаря неизменной поддержке стран-участниц Институт может гордиться своими настоящими достижениями. Начаты международные исследования по флагманскому мегапроекту ОИЯИ «Комплекс NICA»: первые физические данные получены на установке BM@N усилиями большой интернациональной кол-

лаборации. Создан уникальный комплекс прикладных пучков в широком диапазоне энергий и сортов ядер. Стартовала уникальная экспериментальная программа на Фабрике сверхтяжелых элементов, которая обеспечивает ОИЯИ несомненное мировое лидерство. Глубоководный телескоп Baikal-GVD стал самым большим и точным детектором астрофизических нейтрино в Северном полушарии – идет активный набор данных и зарегистрированы первые десятки событий, связанных с космическими нейтрино сверхвысоких энергий. Гиперконвергентный гетерогенный компьютерный комплекс ОИЯИ с суперкомпьютером «Говорун» является самой эффективной системой сбора, хранения и анализа данных в странах-участницах. Развернуты уникальные междисциплинарные исследовательские инфраструктуры в области нейтронографии, радиобиологии и наук о жизни.

Самая главная наша ценность и потенциал – это люди, ведь наука делается их интеллектом и ежедневным кропотливым трудом. В ОИЯИ работают ученые и инженеры из более чем 30 стран мира. Обмен знаниями и синергия разных поколений сотрудников Института открывают для постоянно растущего числа молодых ученых и специалистов уникальные перспективы успешной профессиональной деятельности. Динамика развития Института и проактивная международная научно-образовательная деятельность повышают нашу глобальную привлекательность. Мы горячо приветствуем стремления ведущих научно-технологических держав, стратегических партнеров ОИЯИ: Аргентины, Бразилии, Индии, Китая, Мексики, Пакистана, стран Лиги арабских государств – повысить уровень своего сотрудничества с Институтом. Верим также, что обстоятельства позволят возобновить полноценное сотрудничество по мере нормализации геополитических процессов с некоторыми странами-основателями ОИЯИ и с международными организациями.

Вы держите в руках новый Семилетний план развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. Этот документ в течение двух лет готовился и формировался при самой тщательной экспертизе международных программно-консультативных комитетов и Ученого совета ОИЯИ и был утвержден Комитетом полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ на

исторической сессии в Алматы (Республика Казахстан) 10 ноября 2023 г. Он, несомненно, очень амбициозный. И при консолидации ресурсов, интеллекта, будучи усиленным новыми странами-участницами, он точно реалистичен. Наши ключевые научные темы и современная междисциплинарная исследовательская инфраструктура интегрированы во многие актуальные международные стратегические документы по развитию глобального научного ландшафта.

ОИЯИ, как и положено большому международному научному центру, работает системно. Мы будем развивать ряд передовых научных направлений, в которых входим в число мировых лидеров, обладаем рекордными возможностями и оказываем существенное влияние на ход глобальной научной повестки:

- теоретическая физика и современная математическая физика;
- физика элементарных частиц и поиск новых физических явлений за пределами Стандартной модели;
- изучение горячей и плотной сильновзаимодействующей ядерной материи и ее фазовых превращений, спиновой структуры нуклона;
- исследование фундаментальных свойств нейтронов, изучение структуры и свойств наносистем и новых материалов, биологических объектов и биотехнологий;
- исследование границ существования ядерной материи и острова стабильности сверхтяжелых элементов, понимание природы нейтронных звезд;
- определение иерархии нейтринных масс и абсолютного масштаба массы и природы нейтрино, мультиканальная астрономия экзотических объектов во Вселенной;
- современный компьютеринг и работа с Большими данными, квантовые алгоритмы и искусственный интеллект.

Значительное внимание и ресурсы в новой семилетке уделены развитию исследовательских инфраструктур и научных программ в тех областях биологии и медицины, которые связаны с изучением влияния ионизирующего излучения на биологические объекты и системы. Впервые в новой структуре бюджета и Проблемно-тематического плана появились крупные инновационные проекты в области материаловедения, радиационной и ядерной медицины, базирующиеся на применении самых передовых ядерно-физических методов, развитых учеными ОИЯИ.

Каждое из этих направлений будет реализовываться в том числе и в рамках нашего участия в международных коллаборациях по всему миру.

Институт уверенно входит в новую эру своего развития. Основной вектор утвержденного Семилетнего плана – энергичная и амбициозная экспериментальная программа, «сбор урожая» на базовых установках ОИЯИ. Главный приоритет – приумножение интеллектуального человеческого капитала. У нас есть готовность и возможность держать разумный баланс в развитии перспективных научных проектов, исследовательской инфраструктуры в Дубне и в ведущих научных центрах стран-участниц. Особая роль в сохранении устойчивости Института и обеспечении условий его динамичного развития принадлежит стране местопребывания ОИЯИ. Коллектив Института отдает должное Российской Федерации и всем государствам-членам за приверженность ценностям мирного, неполитизированного международного сотрудничества и научной интеграции на принципах равноправия, взаимного уважения интересов друг друга и культурно-цивилизационного многообразия народов.

Новый Семилетний план развития ОИЯИ призван укреплять дальнейшее развитие Института в формате международной межправительственной научной организации, продвигать наш опыт в организации многосторонних исследований и в создании крупномасштабных научных проектов, обеспечивать высокий уровень научных результатов, интеграцию с мировой наукой и приверженность целям устойчивого развития Человечества.



Г. В. ТРУБНИКОВ,
директор
Объединенного института
ядерных исследований



В течение последнего десятилетия в развитии мировой науки значительно выросла роль междисциплинарности в естественно-научных исследованиях, интегрирующих по предмету и методам исследований, в различных многообразных сочетаниях такие области фундаментальной науки, как астрономия, физика, химия, науки о жизни, экология. Укрепление такой тенденции связано как со знаковыми достижениями отдельных областей фундаментальной науки, открывшими новые перспективы для междисциплинарного взаимодействия, так и с ростом инфраструктурной оснащенности исследований и, что особенно важно, с революционно быстрым развитием IT-технологий. Междисциплинарное взаимодействие в естественных науках открывает качественно новые возможности для проведения прикладных исследований, востребованных задачами инновационной траектории социально-экономического развития, которой следуют стратегии развития государств – мировых научно-технологических лидеров. Междисциплинарный характер исследований предъявляет особенно жесткие требования к уровню коллективизации усилий большого числа ученых и научно-технических специалистов, являющихся экспертами в отдельных областях широкого спектра научных направлений и технических дисциплин. При этом достижение успеха в решении сложных и масштабных задач современной науки с необходимостью предполагает активное международное научно-технологическое сотрудничество. Этот контекст определяет исключительно важное место многодисциплинарных международных научно-исследовательских организаций на глобальном ландшафте мировой науки.

Объединенный институт ядерных исследований с момента образования формировался как многодисциплинарный международный научно-исследовательский центр, интегрирующий усилия ученых из многих государств в нескольких базовых областях фундаментальной науки, а также в прикладных исследованиях. В течение последнего десятилетия активно развивалась научная инфраструктура, велись масштабные научные исследования в сфере астрофизики и физики элементарных частиц, физики релятивистских тяжелых ионов, ядерной физики, физики конденсированного состояния вещества, радиационной биологии, информационно-вычислительных технологий, теоретической и математической физики.

Формируя фундаментальную методологическую основу для естественных наук в целом, эти уставные для ОИЯИ разделы науки занимают приоритетное положение в мировой научной проблематике и развитии крупной научно-исследовательской инфраструктуры, что видно, в частности, из распределения крупных научных инфраструктур по трем ключевым характеристикам, приведенного на рис. 1. Из распределения также видно, что современные проекты в области фундаментальных наук имеют в большинстве случаев сопутствующие программы прикладных исследований, которые во многих случаях еще и направлены на цели устойчивого развития. Основные научные инфраструктурные проекты ОИЯИ гармонично дополняют мировой ландшафт инфраструктуры класса «мегасайенс», предполагая, наряду с основными целями в сфере фундаментальных исследований, и достижение некоторых целей устойчивого развития.

Проект Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. разработан в соответствии со Стратегическим планом долгосрочного развития ОИЯИ на период до 2030 года и далее*;

*Стратегический план долгосрочного развития ОИЯИ на период до 2030 года и далее. – Дубна: ОИЯИ, 2021.

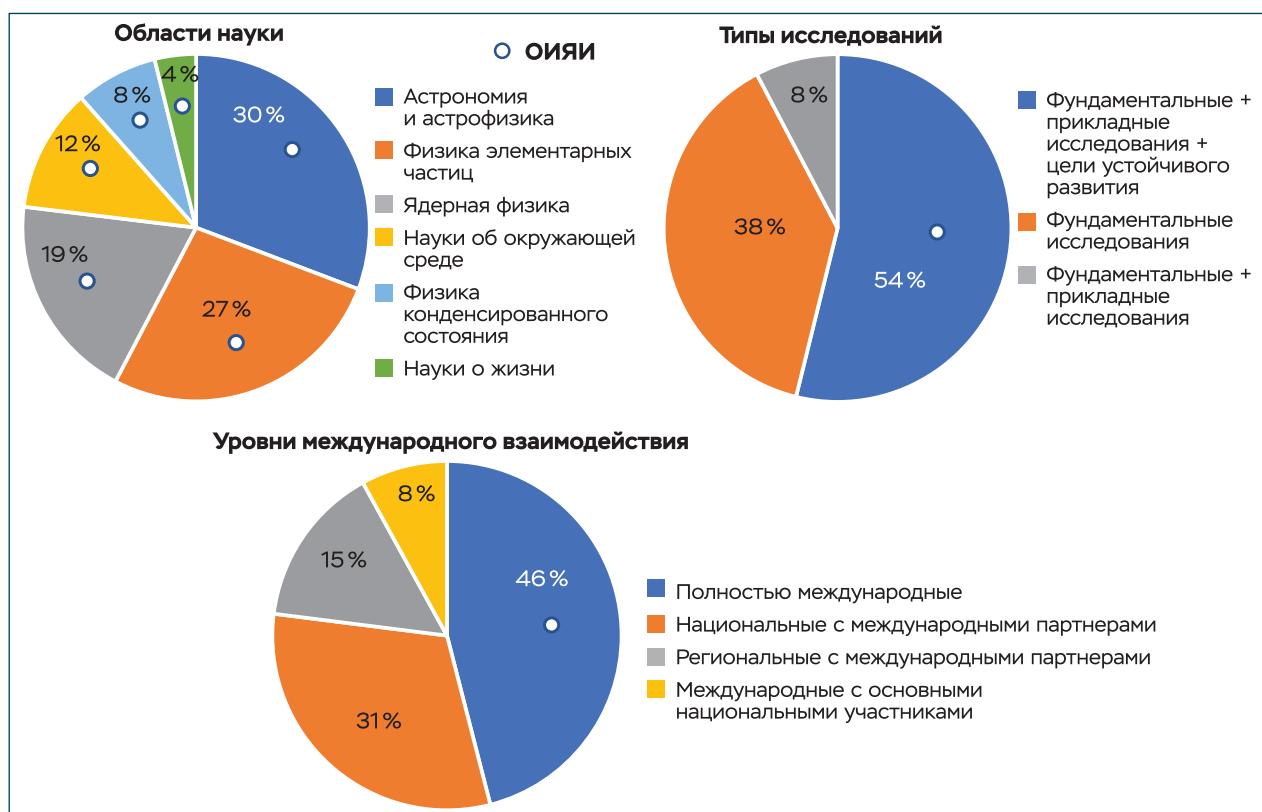


Рис. 1. Распределение крупных научно-исследовательских инфраструктурных проектов по областям науки, типам исследований и уровню международности. Выборка включает 23 крупнейших научно-исследовательских инфраструктурных проекта фундаментальной науки, в том числе комплекс NICA, по широкому спектру научных областей, удовлетворяющих критериям большой исследовательской инфраструктуры (сложность, масштабность, уникальность, миссия) – как действующих и строящихся, так и некоторых планируемых, – в соответствии с докладом ОЭСР «Very Large Research Infrastructures: Policy Issues and Options»*, к которым при нашем анализе были добавлены еще три крупные базовые исследовательские инфраструктуры ОИЯИ – Фабрика СТЭ, ИБР-2 и Baikal-GVD

утвержденным Комитетом полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ в марте 2021 г., с учетом рекомендаций международной рабочей группы по научной стратегии ОИЯИ, выработанных во второй половине 2021 г. Основная цель настоящего плана – формирование долгосрочной научной программы исследований и приумножение интеллектуального человеческого капитала, обеспеченных оптимальным образом инфраструктурными и финансовыми ресурсами.

Общая цель стратегии развития Института – лидирующая позиция на переднем крае науки по ряду избранных областей фундаментальных исследований, а также проведение прикладных междисциплинарных исследований на современном уровне. Для инфраструктурного обеспечения достижения этой цели Институт уже эксплуатирует или будет создавать несколько научно-исследовательских инфраструктурных объектов, в том числе мегакласса:

- Фабрику сверхтяжелых элементов;
- инфраструктуру для исследований на фиксированной мишени и в режиме коллайдера для столкновений тяжелых ионов на комплексе NICA;
- инфраструктуру для изучения спиновой физики на поляризованных пучках на комплексе NICA;

*OECD Science, Technology and Industry Policy Papers. July 2023. No.153: Very Large Research Infrastructures: Policy Issues and Options. <https://doi.org/10.1787/2b93187f-en>.

– будущие объекты в рамках дальнейшего развития комплекса NICA после 2030–2035 гг. (электронно-ионный коллайдер, сверхкритические кулоновские поля, протонный источник для исследований в области физики нейтрино);

– нейтринный телескоп Baikal-GVD и его дальнейшее развитие для исследований в области многоканальной астрономии, изучения фундаментальных свойств наиболее энергичных космических нейтрино, непрямого поиска галактической «темной» материи и прикладных исследований;

– импульсный источник нейтронов ИБР-2 с комплексом спектрометров;

– новый импульсный источник нейтронов на базе высокоинтенсивного импульсного нейтронного реактора «Нептун» с $Np-237$ в активной зоне;

– источники облучения для исследований в области материаловедения и радиационной биологии;

– инновационный центр ядерно-физических исследований;

– динамично развивающуюся IT-платформу на базе Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК) ОИЯИ, включающую, в частности, гиперконвергентную систему – суперкомпьютер «Говорун», для обеспечения анализа, обработки и хранения данных исследовательских программ ОИЯИ.

Выполнение научной программы, представленной в настоящем плане, будет главным образом основано на экспериментальных исследованиях с использованием указанных базовых установок ОИЯИ, проводимых исследовательскими коллективами из государств-членов ОИЯИ и международными коллаборациями. Особое внимание будет уделяться развитию пользовательских программ на ИБР-2 и МИВК, формированию общеинститутских междисциплинарных проектов в области радиационных исследований.

Кроме того, Институт намерен продолжить свое участие во внешних экспериментах по физике релятивистских столкновений тяжелых ионов, физике частиц и физике нейтрино при условии высокого научного потенциала этих экспериментов и если исследователи из ОИЯИ будут играть ведущую роль, а партнерские научные организации проявят взаимную заинтересованность в укреплении сотрудничества. В плане отдается предпочтение тесному сотрудничеству по детекторным и ускорительным проектам ОИЯИ с ЦЕРН, GSI, DESY и по будущим крупномасштабным установкам FAIR в Германии, BNL и FNAL в США, GANIL во Франции и некоторым другим.

Приоритеты научной программы

В области физики элементарных частиц и новой физики за пределами Стандартной модели исследования будут вестись в рамках проекта NICA-SPD и участия ОИЯИ в международных коллаборациях ATLAS, CMS, ALICE на LHC, NA62, NA64, COMPASS/AMBER на SPS, BES-III, COMET в J-PARC и др.

В области физики флейвора будут продолжены исследования по флейворной физике кварков и заряженных лептонов путем участия в международных экспериментах по исследованию редких распадов каонов и поиску конверсии мюонов в электроны на ядрах ($\mu 2e$ и COMET).

В пертурбативной и непертурбативной КХД главными задачами будут подготовка программы и проведение исследований по проекту NICA-SPD, а также в рамках участия ОИЯИ в наиболее важных международных коллаборациях (COMPASS/AMBER, BES-III, PANDA).

Программа исследований ОИЯИ **в области нейтринной физики и астрофизики** направлена на фундаментальные проблемы астрофизики и физики элементарных частиц: идентификацию астрофизических источников нейтрино сверхвысоких энергий, механизмы образования и эволюции галактик, определение иерархии масс нейтрино, происхождение массы нейтри-

но, ограничения на фазу CP-нарушения, прямой поиск темной материи, прецизионное исследование когерентного упругого рассеяния нейтрино на ядрах и др. Программа включает исследования по физике нейтрино и астрофизике на базовой установке ОИЯИ – уникальном нейтринном телескопе Baikal-GVD, фундаментальные и прикладные исследования на пучках антинейтрино Калининской атомной станции, участие в международных нейтринных экспериментах (JUNO, SuperNEMO, NOvA/DUNE*, GERDA-LEGEND, EDELWEISS-RICOCHET, vGEN (GEMMA-III), DarkSide, TAIGA), а также развитие в ОИЯИ передовой научно-исследовательской инфраструктуры, необходимой для этих исследований.

В релятивистской физике тяжелых ионов перспективная экспериментальная программа ОИЯИ связана с мегапроектом NICA, задачей которого является изучение горячей и плотной сильновзаимодействующей КХД-материи, поиск смешанной фазы и критической точки на фазовой диаграмме КХД с целью пролить свет на плохо изученную область фазовой диаграммы и проверить предсказания непertурбативной КХД и других теоретических моделей, описывающих сильновзаимодействующую материю. После ввода в эксплуатацию базовой конфигурации коллайдерного комплекса NICA на экспериментальных установках BM@N и MPD начнется выполнение физической программы по изучению горячей и плотной барионной материи и фазовых превращений в ней. Область энергий коллайдера NICA представляет особый интерес, поскольку соответствует максимально возможной плотности барионов на момент их «вымораживания». В этом диапазоне энергии система занимает максимальный объем пространства-времени в виде смешанной фазы кварк-глюонной материи (сосуществование адронов со свободными кварками и глюонами). В ходе семилетки должен быть принят технический проект и завершено создание первой фазы экспериментальной установки SPD для изучения спиновой структуры нуклонов и поляризационных исследований.

Основным направлением научных исследований ОИЯИ **в области современной ядерной физики** является синтез новых элементов Периодической таблицы Д. И. Менделеева, изучение их свойств методами ядерной спектроскопии (α -, β -, γ -спектроскопии), а также их химических свойств, изучение механизмов различных ядерных реакций, приводящих к образованию новых, еще неизвестных ядер. Запуск в эксплуатацию нового ускорительного комплекса – Фабрики сверхтяжелых элементов (СТЭ) – кратно расширил возможности ОИЯИ в области синтеза и исследования свойств сверхтяжелых ядер и атомов. Будут продолжены исследования, а также развитие необходимой инфраструктуры для исследования структуры легких ядер, удаленных от линии стабильности.

Ядерные реакции, вызываемые нейтронами, являются инструментом для изучения фундаментальных симметрий на ядерном уровне и для изучения глубокой перестройки ядерных систем, например, в процессах деления. Требуется получение новых или уточнение имеющихся данных о структуре ядер, полученных в результате реакций с нейтронами, энергетических зависимостей сечений нейтронных реакций. Изучение сечений взаимодействия нейтронов с ядрами для нужд ядерной энергетики имеет непреходящее значение. Наиболее часто запрашиваемые данные перечислены в списке высокоприоритетных запросов ядерных данных (HPRL) Агентства по атомной энергии, который представляет собой компиляцию текущих наиболее востребованных ядерных данных.

В области физики конденсированного состояния главная задача – исследования структурного строения, магнитного упорядочения, динамики, физических и химических свойств перспективных функциональных материалов, сложных жидкостей и полимеров, наносистем, которые важны для развития как современных представлений в данной научной области,

*Участие в эксперименте DUNE временно приостановлено до дальнейшего уведомления.

так и новых технологических приложений в производстве энергии, электронике, биологии, медицине и т. д. С этой целью планируется продолжение активного развития экспериментальных установок для максимально эффективного использования всех возможностей импульсного реактора ИБР-2 – одного из трех наиболее интенсивных источников нейтронов в мире. В рамках Семилетнего плана будут выполнены работы по изготовлению и загрузке ИБР-2 новым топливом. Продолжится разработка импульсного быстрого реактора «Нептун» – новой установки мирового уровня для проведения исследований с пучками нейтронов, будут продолжены работы по изучению колебательной устойчивости реактора, разработке научной программы исследований, начнутся работы по созданию топливной загрузки реактора. Также в рамках Семилетнего плана будет начата работа по моделированию экспериментальной инфраструктуры нового источника, включая элементы экспериментальных установок с прототипированием отдельных компонентов на ИБР-2.

Наличие широкого спектра источников излучения, и прежде всего пучков тяжелых ионов различных энергий, на базовых установках ОИЯИ предоставляет уникальную возможность для решения фундаментальных проблем современной **радиобиологии, астробиологии, нейрофизиологии, молекулярной биологии и генетики**, а также практических приложений в радиационной медицине и в оценках радиационных рисков на Земле и в космосе. Планируемые радиобиологические эксперименты на ядерно-физических установках Института будут нацелены на изучение механизмов действия ионизирующих излучений с различными физическими характеристиками на молекулярном, клеточном, тканевом и организменном уровнях биологической организации. Особое внимание будет уделено разработке новых подходов к повышению биологической эффективности излучений для радиационной терапии опухолей и исследованиям механизмов функциональных нарушений в работе мозга при действии радиации. Исследования по астробиологии нацелены на решение проблемы зарождения жизни во Вселенной с применением ядерно-физических методов.

Новейшие ядерно-физические методы, развиваемые в ОИЯИ, предоставляют широкие возможности для уникальных исследований объектов культурного наследия, в области археологии, палеонтологии, экологии и в ядерной криминалистике.

Концепция развития **информационных технологий**, научных вычислений и Data Science в Семилетнем плане ОИЯИ предусматривает создание научной ИТ-экосистемы, объединяющей множество различных технологических решений, тенденций и методик. ИТ-экосистема предполагает согласованное развитие взаимосвязанных ИТ-технологий и вычислительных методов, направленных на максимальное увеличение числа решаемых стратегических задач ОИЯИ, требующих интенсивных вычислений с данными. Особое внимание будет уделено не только увеличению производительности вычислительных систем и ресурсов систем хранения МИВК, включая суперкомпьютер «Говорун», но и дальнейшему развитию сетевой инфраструктуры ОИЯИ. Важнейшими задачами являются разработка новых алгоритмов обработки и анализа данных на основе глубокого и машинного обучения, включая искусственный интеллект, и развитие современных методов и алгоритмов Больших данных для решения прикладных задач. Исследования в области квантовых вычислений будут направлены на развитие алгоритмов интеллектуального управления физическими экспериментальными установками ОИЯИ и оптимизацию решения ресурсоемких задач. Развитие цифровой платформы «Цифровая экосистема ОИЯИ», интегрирующей существующие и перспективные сервисы поддержки научной, административной и социальной деятельности, а также сопровождение инженерной и ИТ-инфраструктур Института обеспечит надежный и безопасный доступ к данным различного типа и даст возможность всестороннего анализа информации с применением современных технологий Больших данных и искусственного интеллекта.

Комплекс NICA

Главной целью проекта NICA является развитие и эксплуатация ускорительного комплекса, позволяющего проводить исследования со встречными высокоинтенсивными пучками ионов (вплоть до Au^{79+}) со средней светимостью $L = 10^{27} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ в диапазоне энергий $\sqrt{s_{NN}} = 4\text{--}11$ ГэВ, с пучками поляризованных протонов ($\sqrt{s_{NN}}$ до 26 ГэВ) и дейтронов ($\sqrt{s_{NN}}$ до 12 ГэВ) с продольной и поперечной поляризацией, а также с выведенными пучками ионов и поляризованных протонов и дейтронов.



Рис. 2. Ускорительный комплекс тяжелых ионов NICA

Для эффективного использования возможностей комплекса NICA будут продолжены исследования на установке **BM@N** на выведенных пучках и введены в эксплуатацию экспериментальные установки **MPD** и **SPD** для коллайдера.

Технологический запуск комплекса и регистрация первых соударений ионов на встречных пучках коллайдера установкой MPD-I должны состояться в середине 2025 г. Предусмотрены следующие этапы сдачи в эксплуатацию и разработки элементов комплекса NICA.

1. Сдача в эксплуатацию базовых элементов ускорительного комплекса NICA: в базовой конфигурации коллайдера – 2024 г., развитие коллайдера до проектной конфигурации – 2025–2027 гг., создание экспериментальных зон и каналов выведенных пучков – 2024 г.

2. Создание вспомогательной пользовательской инфраструктуры вокруг каналов и облучательных установок ARIADNA, включая участки для временного развертывания собственного оборудования пользователей; запуск и поддержка международной программы пользователей на установках для прикладных исследований комплекса NICA, включая разработку

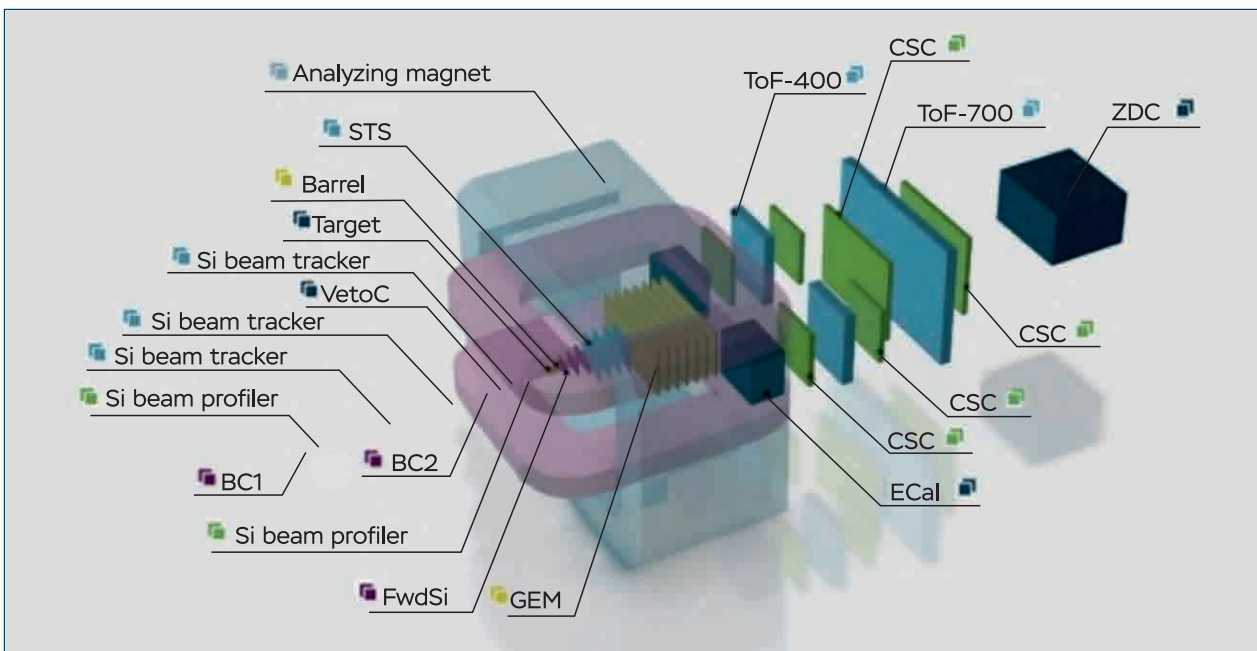


Рис. 3. Полная конфигурация детекторов BM@N для реализации программы исследований в пучках тяжелых ионов

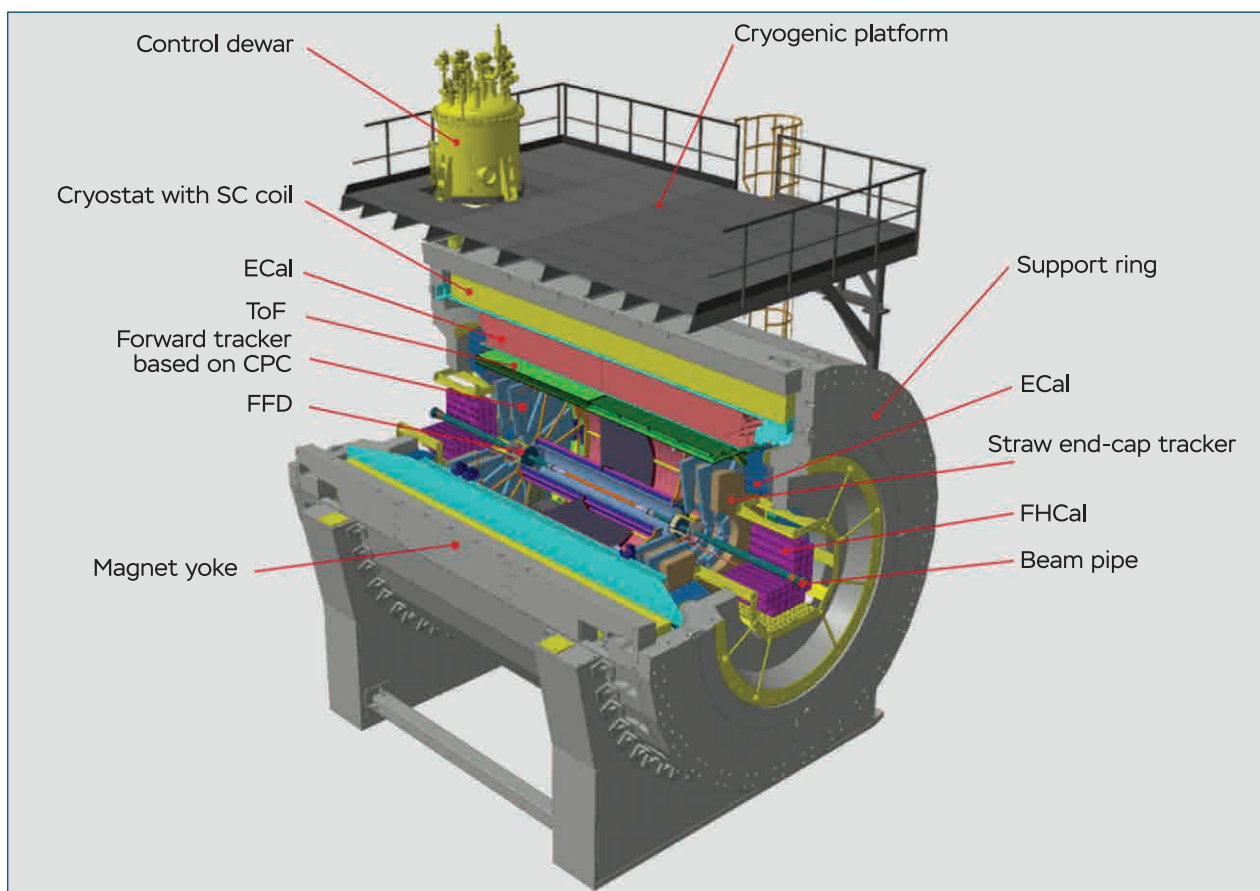


Рис. 4. Общая схема многоцелевого детектора (MPD)

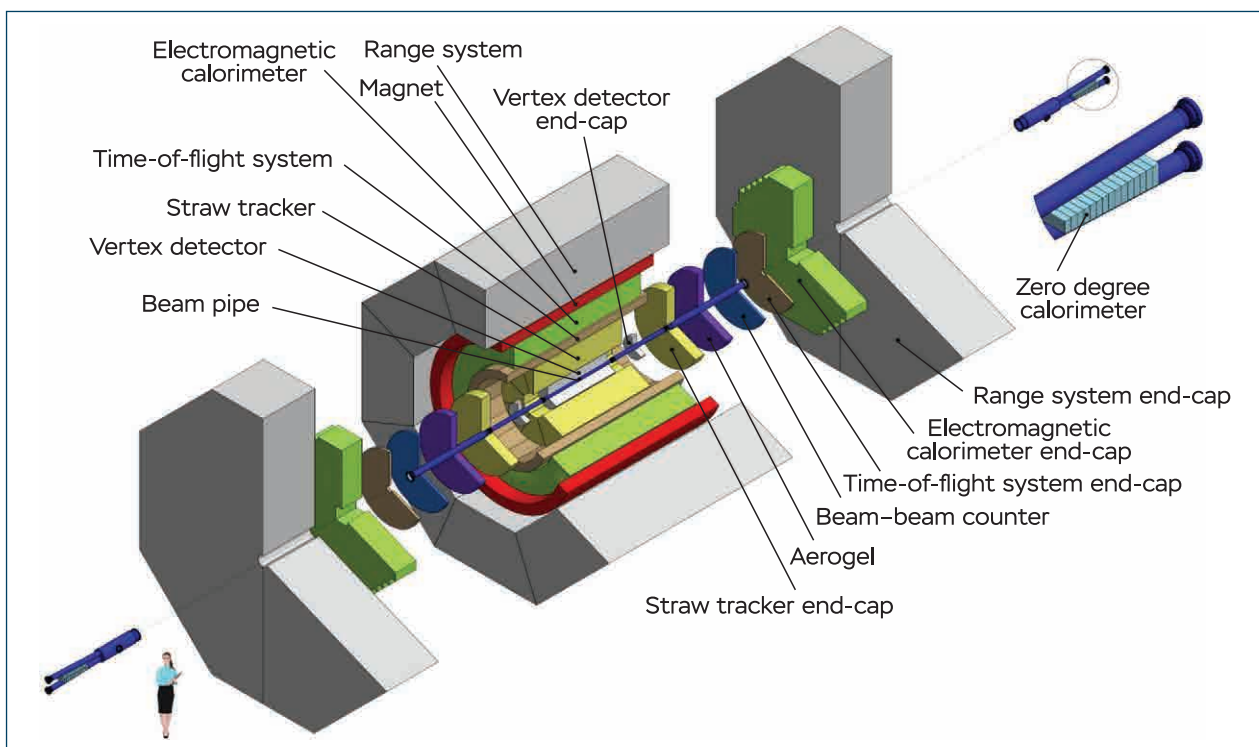


Рис. 5. Общая схема детектора спиновой физики (SPD)

Таблица 1. График работ по созданию и эксплуатации комплекса NICA

Этап	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Запуск коллайдера		Пуско-наладочные работы							
Создание и эксплуатация полной конфигурации MPD			Проектирование и производство системы		Работа детектора в плановом режиме				
Развитие коллайдера до плановой конфигурации									
Подготовка и начало работы с поляризованным пучком		Производство сверхпроводящих соленоидов и тестирование			Работа в режиме спиновой прозрачности				
Строительство и ввод в эксплуатацию SPD	НИОКР, прототипирование, тестирование			Производство и сборка системы SPD			Работа SPD		
Модернизация Нуклотрона	НИОКР, прототипирование, тестирование			Производство магнитов, сборка кольца			Работа обновленного Нуклотрона		

и открытие специального веб-портала программы; развитие международных коллабораций по прикладным исследованиям на комплексе NICA; проведение НИОКР по дальнейшему развитию исследовательской инфраструктуры ARIADNA – 2024–2030 гг.

3. Завершение модернизации установки BM@N для экспериментов с пучками тяжелых ионов высокой интенсивности, выведенных из Нуклотрона, – 2023–2026 гг.

4. Выполнение физических исследований и развитие установки MPD, включая пуск первой очереди установки в 2024 г. и полной конфигурации в 2025–2026 гг.

5. Создание и введение в эксплуатацию начальной конфигурации детектора SPD – 2028 г.

Таблица 2. Расходы на ускорительный комплекс NICA

(тыс. долларов США)

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию	36 399,9	31 700,0	32 000,0	29 300,0	29 200,0	28 900,0	24 200,0	211 699,9
Материальные расходы на эксплуатацию и обслуживание	2 989,6	9 102,0	10 911,0	16 215,0	17 720,0	17 717,0	2 149,3	76 803,9
ВСЕГО	39 389,5	40 802,0	42 911,0	45 515,0	46 920,0	46 617,0	26 349,3	288 503,8

Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР

Фабрика сверхтяжелых элементов, базирующаяся на специализированном циклотроне ДЦ-280 и оснащенная экспериментальными установками нового поколения, является важнейшей составляющей проекта **DRIBs-III** (Dubna Radioactive Ion Beams). Полномасштабная реализация этого проекта – приоритетная задача Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова на период 2024–2030 гг., поэтапное решение которой существенно расширит возможности проведения фундаментальных и прикладных ядерно-физических исследований в ОИЯИ на высочайшем уровне в широкой кооперации с научными центрами государств-членов Института и других стран.

В период 2024–2030 гг. планируется:

- 1) развитие методов получения интенсивных пучков ^{48}Ca , ^{50}Ti , ^{54}Cr и др.;
- 2) создание нового ионного источника ЭЦР-типа, работающего на частоте 28 ГГц;
- 3) развитие парка экспериментальных установок: запуск криогенной газовой ловушки, создание многоотражательного времяпролетного масс-анализатора сверхвысокого разрешения, сверхпроводящего пресепаратора на основе газонаполненного солениода, развитие химической установки. Также планируется проектирование ловушки Пеннинга и развитие методов лазерной спектроскопии.

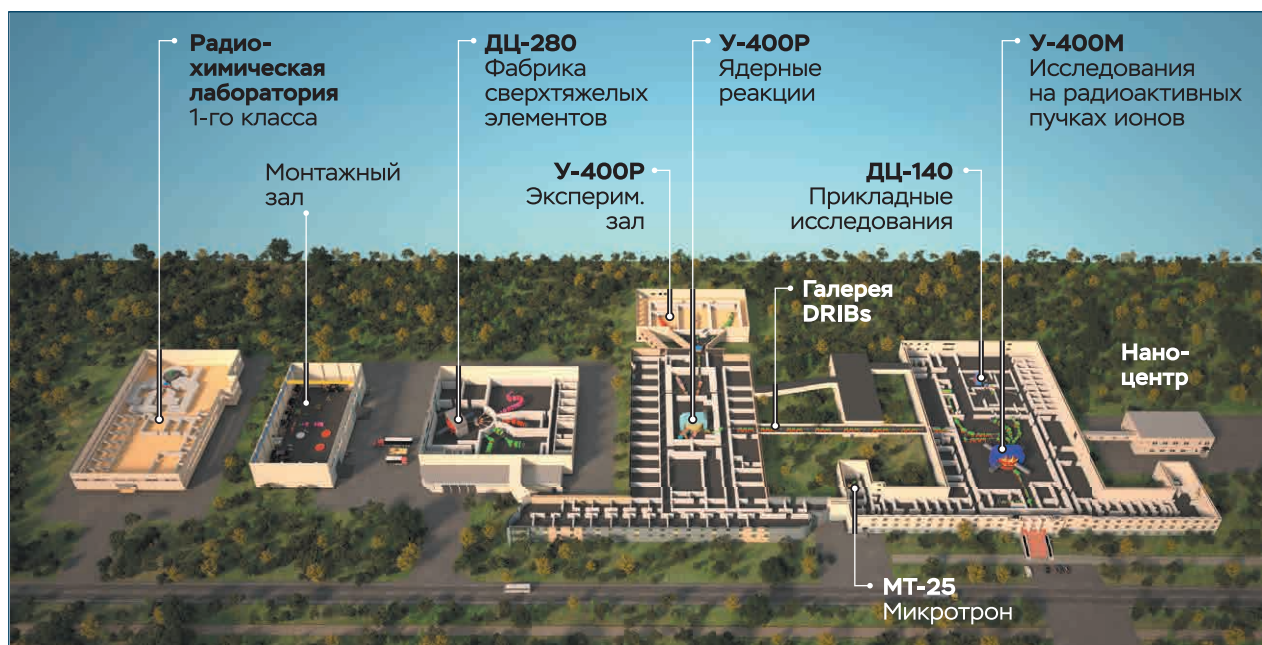


Рис. 6. План Лаборатории ядерных реакций с учетом объектов инфраструктуры, планируемых к строительству в 2024–2030 гг.

Реконструкция ускорительного комплекса У-400 и создание нового экспериментального зала. Расширение общей площади экспериментального зала до 1500 м² с возможностью автономной работы в радиационно-изолированных кабинах является целью создания нового экспериментального корпуса ускорителя У-400Р. Плановый срок окончания строительных работ – 2026 г. Одновременно будет проводиться реконструкция циклотрона, направленная на:

- расширение диапазона ускоряемых ионов от гелия до урана;
- уменьшение разброса энергий пучков ионов до 0,3% с плавной вариацией энергии в интервале (0,8–25) А МэВ;
- снижение энергопотребления и повышение стабильности работы в длительных сеансах облучения;
- получение пучков редких изотопов стабильных и долгоживущих ядер, а также короткоживущих ядер ($T_{1/2} \geq 0,1$ с), инжектируемых в ионный источник или непосредственно в вертикальный канал внешней инжекции.

Одновременно со строительными работами и работами по реконструкции циклотрона будут создаваться новые экспериментальные установки. В частности, планируется разработать и создать сепаратор для изучения динамики реакций многонуклонных передач, а также для получения и изучения свойств ядер, образующихся в этих реакциях.

Развитие комплекса ускорителя ДЦ-140. В 2024–2030 гг. будет продолжено создание и развитие ускорительного комплекса ДЦ-140 в части выхода на проектные параметры пучков, а также оборудования экспериментальных каналов. Задачи комплекса связаны с исследованиями в области физики твердого тела, поверхностной модификации различных материалов, с производством трековых мембран, а также тестированием радиационной стойкости электронных компонентов.

Создание радиохимической лаборатории 1-го класса. Лаборатория будет укомплектована мощным ускорителем электронов и позволит работать с высокоактивными материалами, включая:

- изготовление и регенерацию мишеней для Фабрики СТЭ;
- разработку новых технологий получения радиоизотопов и их выделения из облученных мишеней для научных, радиоэкологических и медицинских применений.

Таблица 3. Расходы на циклотронный комплекс DRIBs-III. Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности

(тыс. долларов США)

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию	18 687,0	17 082,4	10 320,6	9 462,6	9 908,9	13 059,8	13 615,8	92 137,1
Материальные расходы на эксплуатацию и обслуживание	2 426,0	2 322,5	2 431,7	2 873,1	3 204,8	3 255,9	3 308,3	19 822,3
ВСЕГО	21 113,0	19 404,9	12 752,3	12 335,7	13 113,7	16 315,7	16 924,1	111 959,4

Импульсный источник нейтронов и комплекс спектрометров

Реактор ИБР-2 является базовой установкой ОИЯИ для нейтронных исследований в области физики конденсированных сред, единственной подобной установкой в странах-участницах ОИЯИ. Программа развития реактора ИБР-2 на 2024–2030 гг. будет включать:

- освоение и эксплуатацию комплекса криогенных замедлителей, развитие систем управления и контроля комплекса криогенных замедлителей КЗ-201, КЗ-202, КЗ-203;

- проверку сборки, настройку и испытание резервного подвижного отражателя МР-ЗР на испытательном стенде ЛНФ;
- обновление технологического оборудования реактора с истекающими сроками службы.

Таблица 4. Расходы на ИБР-2 и комплекс спектрометров

(тыс. долларов США)

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию	3 936,9	3 962,0	3 644,0	3 400,0	3 442,0	3 494,0	3 484,0	25 362,9
Материальные расходы на эксплуатацию и обслуживание	1 610,1	2 197,8	2 817,8	3 137,9	3 137,9	3 137,9	3 137,9	19 177,3
ВСЕГО	5 547,0	6 159,8	6 461,8	6 537,9	6 579,9	6 631,9	6 621,9	44 540,2

Программа развития **комплекса спектрометров на ИБР-2** нацелена на повышение эффективности использования этих инструментов и доведения их до уровня лучших мировых установок. Основные направления на 2024–2030 гг.:

- создание базовой конфигурации нового спектрометра неупругого рассеяния в обратной геометрии с эффективностью, в 200 раз превышающей существующий спектрометр НЕРА;
- создание прототипа источника ультрахолодных нейтронов (УХН), демонстрирующего возможность использования пиковой мощности источника для генерации УХН высокой плотности;
- завершение работ по созданию новой малоугловой/нейтронографической установки;

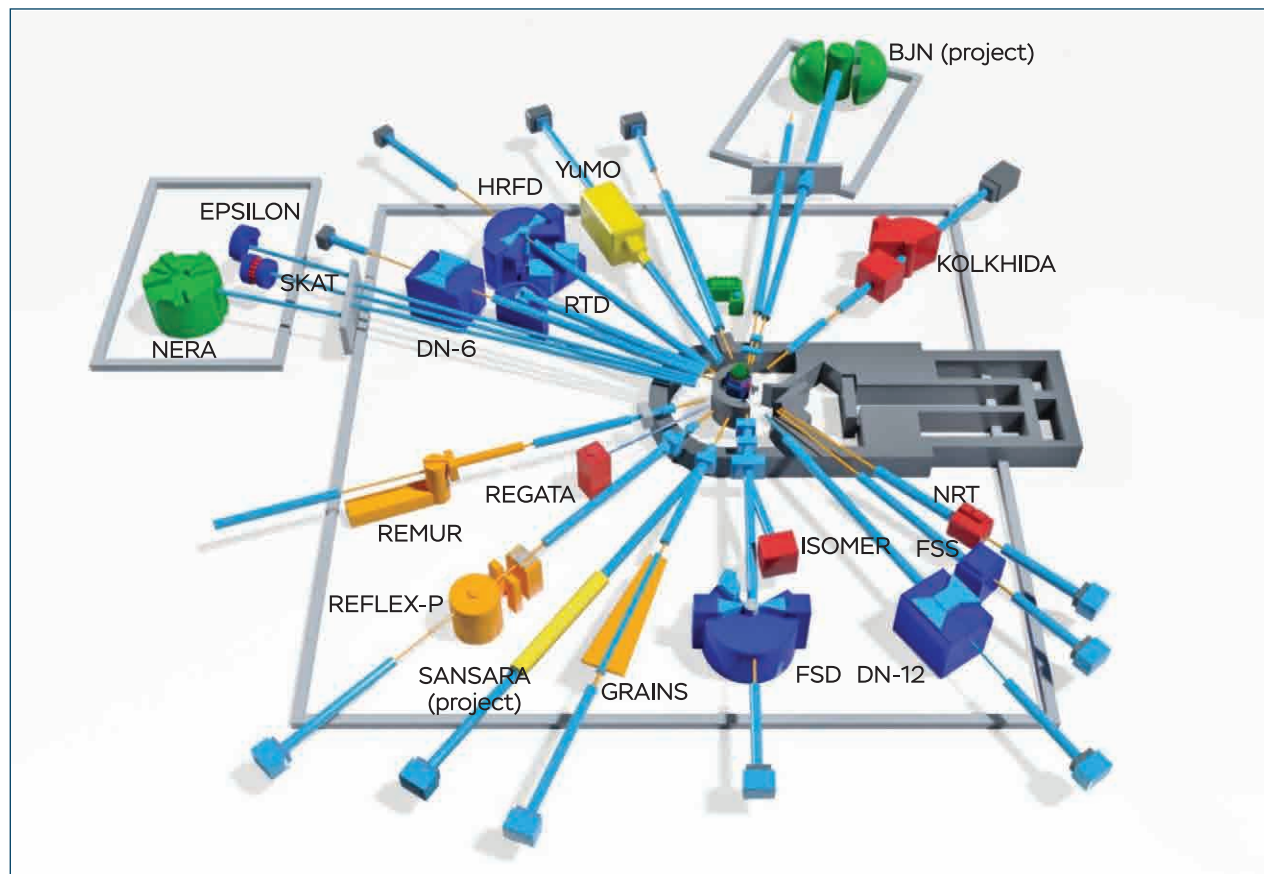


Рис. 7. Комплекс спектрометров реактора ИБР-2

- последовательная модернизация инфраструктуры всех действующих на ИБР-2 инструментов: строительство зеркальных нейтронотводов, создание широкоапертурных детекторов, устройств окружения образца;
- создание новых нейтронных детекторов большой площади, внедрение многоканальной быстродействующей электроники сбора и анализа данных.

Работа по созданию **нового источника нейтронов ОИЯИ** будет вестись по следующим направлениям.

1. Реализация программы НИОКР по разработке нового **реактора «Нептун»**: исследование динамики импульсных реакторов, оптимизация корпуса нового реактора и его модулятора реактивности в части снижения тепловых нагрузок и формоизменения, разработка нитрид-нептуниевого топлива и твэлов на его основе, оптимизация конфигурации комплекса замедлителей, разработка испытательных стендов.

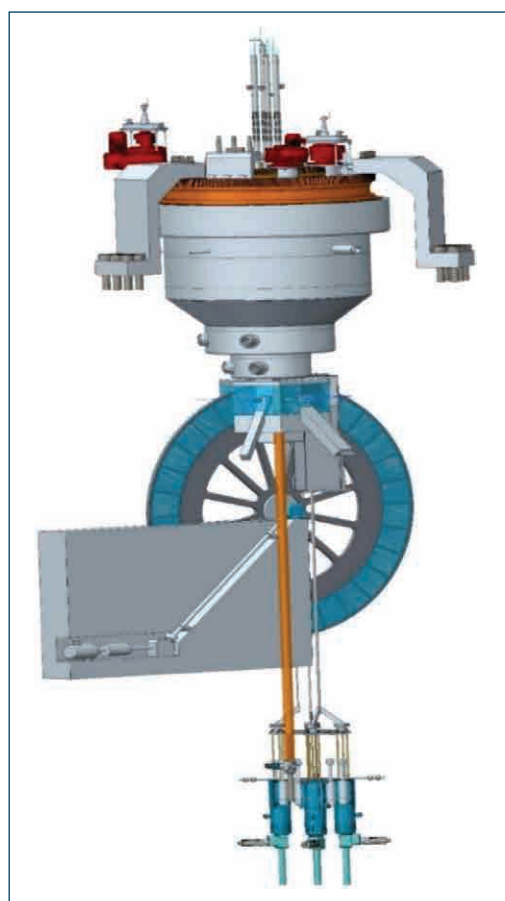


Рис. 8. Вариант нового реактора «Нептун»

2. Разработка и развитие научной программы и концепции приборной базы для проведения исследований по физике конденсированных сред и ядерной физике и прикладных исследований на новом реакторе «Нептун».

3. Разработка эскизного и инфраструктурного (обликового) проектов нового реактора «Нептун», обоснования инвестиций. Подготовка и направление ходатайства о намерениях в ГК «Росатом» и Правительство Московской области. Направление обоснования инвестиций в государственные структуры РФ, его утверждение.

4. Разработка технико-экономического обоснования (ТЭО). Оформление заявки для включения объекта – нового реактора «Нептун» в федеральную целевую программу.

5. Подготовка к получению лицензии Ростехнадзора на размещение и сооружение нового реактора «Нептун». Подготовка технического задания на проектирование. Разработка технического проекта.

6. Работа по моделированию экспериментальной инфраструктуры нового источника, включая элементы экспериментальных установок с прототипированием отдельных компонентов на реакторе ИБР-2.

Таблица 5. Расходы на новый источник нейтронов – реактор «Нептун»

(тыс. долл. США)

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию	2 230,6	3 887,0	4 032,0	2 457,0	2 312,0	2 457,0	2 557,0	19 932,6
ВСЕГО	2 230,6	3 887,0	4 032,0	2 457,0	2 312,0	2 457,0	2 557,0	19 932,6

В рамках семилетки планируется увеличить интенсивность потока нейтронов **установки ИРЕН** до $3 \cdot 10^{12} \text{ c}^{-1}$, а также увеличить ток пучка **ускорителя ЭГ-5** до 50 мкА, а его энергию до 4,1 МэВ.

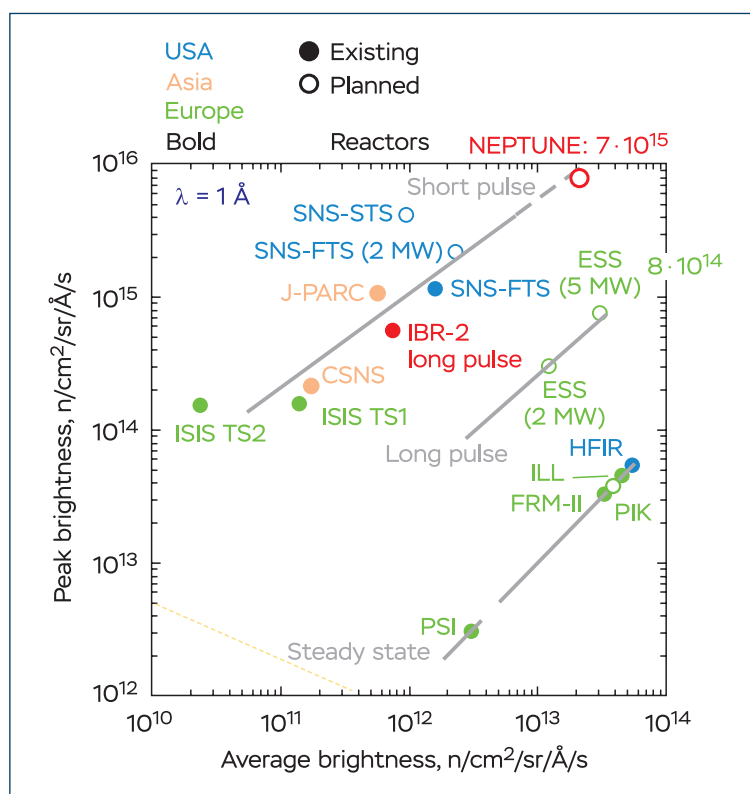


Рис. 9. Импульсная и средняя яркость по тепловым нейтронам реактора ИБР-2 и разрабатываемого источника «Нептун» в сравнении с нейтронными источниками различных нейтронных центров

Планируется выйти на режим работы ускорителя 3000 часов/год. В долгосрочном плане для реализации перспективных исследовательских программ с быстрыми нейтронами в ОИЯИ планируется построить интенсивный источник быстрых нейтронов на тандемном ускорителе, который позволит получать квазимоноэнергетические нейтроны в широком диапазоне энергий: от 0 до ~20 МэВ. К концу семилетки планируется создание концептуального проекта нового компактного источника нейтронов на основе ускорителя, его инфраструктуры, программы научных исследований и прикладного применения.

Комплексные структурные исследования с использованием синхротронного излучения (Лаборатория ОИЯИ SOLCRYС на источнике SOLARIS)

Исследования конденсированных сред в ОИЯИ ведутся в области изучения новых материалов (катализаторов, полимеров и т. д.), наноматериалов (наночастиц, нанокompозитов и т. д.), материалов в экстремальных условиях (сверхпроводников, перовскитов и т. д.) и биоматериалов (белков, ДНК и т. д.). Методы исследования, основанные на рассеянии синхротронного излучения, могут потенциально развиваться на базе Национального центра синхротронного излучения SOLARIS Ягеллонского университета в Кракове, где ОИЯИ участвует в создании новой Лаборатории структурных исследований SOLCRYС. Планируется создание трех измерительных станций:

- для макромолекулярной рентгеновской кристаллографии (оборудованной высокоточным гониометром для измерений кристаллографической структуры белков);
- для малоуглового рентгеновского рассеяния на биообразцах (пучок ~ 11×13 мкм², поток ~ $8,6 \cdot 10^{11}$ фотонов/с, разрешение ~ 70 эВ);
- для порошковой дифракции при экстремальных условиях (пучок ~ 31×15 мкм², поток ~ $4,1 \cdot 10^{12}$ фотонов/с, разрешение ~ 70,8 эВ).

Программа строительства лаборатории SOLCRYС включает в себя:

- расширение существующего экспериментального зала для размещения конечных станций кристаллографической линии, а также лаборатории для подготовки образцов;
- разработку и развитие технической инфраструктуры в объеме, необходимом для установки и правильной эксплуатации исследовательского оборудования лаборатории SOLCRYС.

Если сотрудничество не будет остановлено в одностороннем порядке по инициативе Ягеллонского университета, ОИЯИ готов продолжать и развивать лабораторию SOLCRYС. Важно отметить, что разработанные и создаваемые измерительные станции, а также сами по себе уникальные исследовательские проекты являются очень востребованными и возможными к реализации в сотрудничестве ОИЯИ с синхротронными центрами SKIF (Новосибирск, Россия), SIRIUS (Кампинас, Бразилия), INDUS-2 (Индия), SSRF (Китай) и др.

Нейтринный телескоп гигатонного объема (Baikal-GVD)

Нейтринный телескоп гигатонного объема (Baikal-GVD) на озере Байкал представляет собой результат исследовательских разработок и натурных испытаний, выполненных коллаборацией «Байкал» в первой фазе этого проекта в течение прошедших нескольких лет. За это время были изучены оптические свойства воды на глубине озера Байкал и продемонстрирована принципиальная возможность детектирования космических нейтрино высоких энергий с помощью прототипа детектора NT200/NT200+. Эти достижения позволили доказать правильность концепции, заложенной в основу создания новой установки Baikal-GVD,

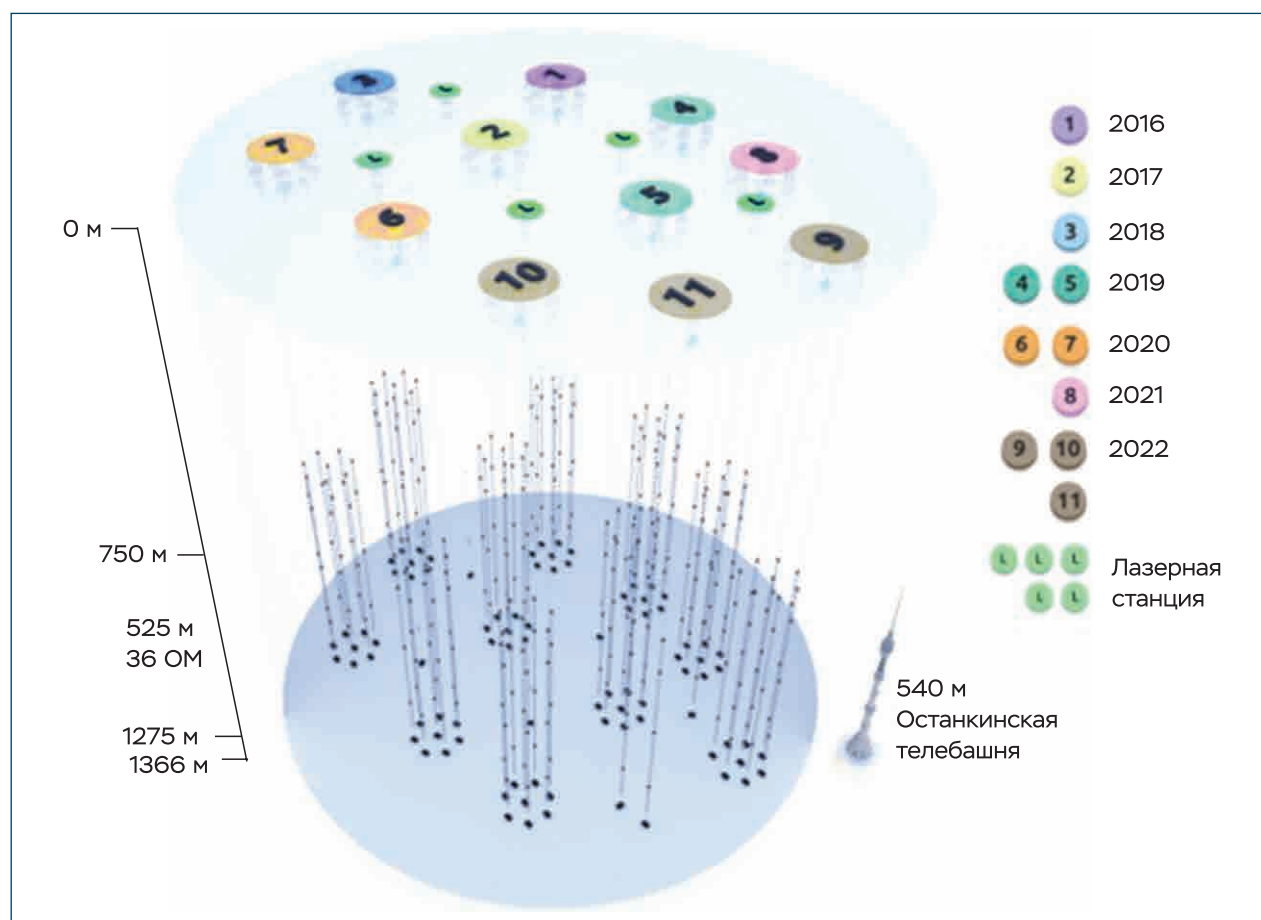


Рис. 10. Статус развертывания телескопа по состоянию на конец 2022 г. Установка содержит 2916 оптических модулей (ОМ) и семь лазерных калибровочных источников света на пяти станциях

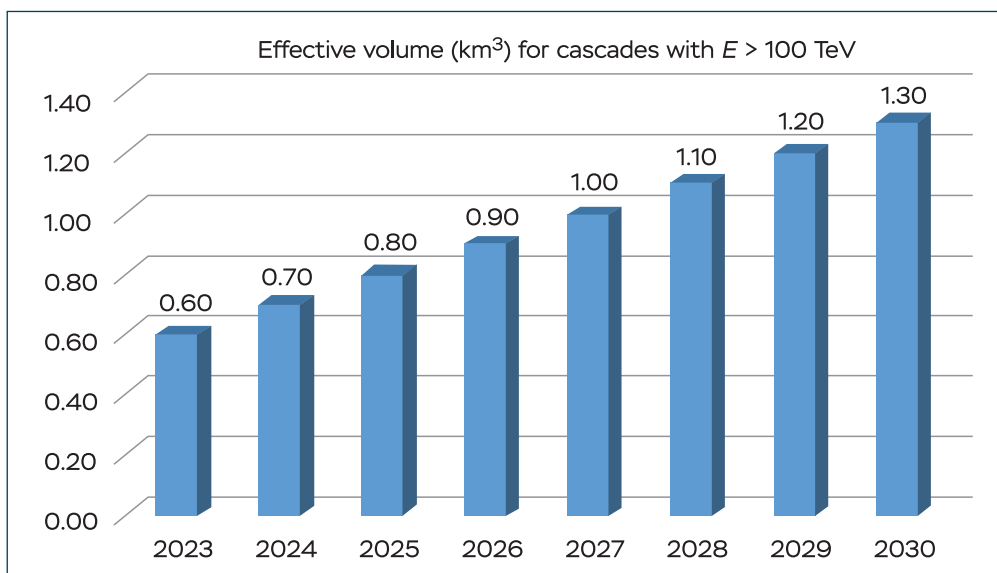


Рис. 11. Эксперимент Baikal-GVD. План расширения детектора в терминах эффективного объема в задаче регистрации астрофизического потока

которая будет обладать уникальными детектирующими характеристиками и иметь эффективный рабочий объем масштаба 1 км³.

В рамках Семилетнего плана 2017–2023 гг. были введены в эксплуатацию 12 кластеров установки Baikal-GVD, и к 2025 г. будет завершен первый этап создания (развертывания) всего детектора с эффективным рабочим объемом более 0,6 км³.

Во второй фазе своего развития (в рамках семилетки 2024–2030 гг.) нейтринный телескоп Baikal-GVD будет представлять собой новую исследовательскую инфраструктуру, нацеленную, в первую очередь, на исследование потоков нейтрино астрофизического происхождения. Детектор будет использовать воду Байкала в качестве детектирующей субстанции,



Рис. 12. Сборка гирлянды кластера установки Baikal-GVD

в которую помещены оптические сенсоры, регистрирующие черенковское излучение от вторичных частиц, возникающих в результате взаимодействий высокоэнергетических нейтрино внутри рабочего объема детектора или в непосредственной близости к нему. Концепция установки Baikal-GVD базируется на нескольких достаточно очевидных требованиях к дизайну и архитектуре системы сбора информации с распределенного массива детектирующих кластеров. Это максимальное использование преимуществ развертывания данного массива на ледяном покрове озера, возможность масштабирования установки и обеспечение ее постоянной эффективной работы, а также возможность различных вариантов расположения светорегистрирующих сенсоров в пределах одной измерительной системы.

В ближайшие годы будет интенсивно разрабатываться новая стратегия развития крупномасштабного исследовательского комплекса Baikal-GVD.

Вторая фаза развития нейтринного телескопа Baikal-GVD, реализация этой новой стратегии, начнется на рубеже 2025 г. и планируется к завершению в 2030 г., когда установка будет насчитывать более 20 кластеров (примерно 6000–7000 оптических модулей) с эффективным рабочим объемом около или более 1 км³.

Скорость набора статистики будет близка к характеристике IceCube. Это позволит изучать и, в определенном смысле, контролировать все космическое пространство на одинаковом статистическом уровне. С учетом преимуществ Северного полушария для наблюдения центра нашей Галактики ожидается, что это позволит телескопу Baikal-GVD опережать IceCube в получении важнейшей информации о том, что происходит в этом центре. Фактически это означает, что Baikal-GVD станет не только полноправным, но и важнейшим звеном Глобальной нейтринной сети.

В настоящее время в Северном полушарии активизировался европейский проект KM3Net, который нацелен на создание в ближайшем будущем распределенной установки в Средиземном море, сравнимой с Baikal-GVD по рабочему объему. Для обеспечения лидерства Baikal-GVD необходимо предпринимать специальные меры.

Объем детектора 1 км³ означает существенное увеличение числа кластеров, и их большое количество открывает возможность систематического изучения многокластерных нейтринных событий, в частности событий, вызванных τ -нейтрино сверхвысоких энергий, поскольку топология таких событий отличается заметным увеличением широты конуса разлета продуктов взаимодействия τ -нейтрино с ядрами.

Таблица 6. Расходы на нейтринный телескоп Baikal-GVD

(тыс. долл. США)

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию	5 948,7	6 000,0	5 000,0	5 000,0	5 000,0	5 000,0	5 000,0	36 948,7
ВСЕГО	5 948,7	6 000,0	5 000,0	5 000,0	5 000,0	5 000,0	5 000,0	36 948,7

Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс

Для достижения главных целей ведущих проектов ОИЯИ потребуется обрабатывать огромное количество экспериментальных данных. Согласно весьма грубой оценке это десятки тысяч процессорных ядер. В частности, для проекта NICA необходимы грид-инфраструктуры уровней Tier0, Tier1 и Tier2, для нейтринной программы ОИЯИ – вычислительные ресурсы и ресурсы хранения. Для поддержки стратегических исследований в ОИЯИ необ-

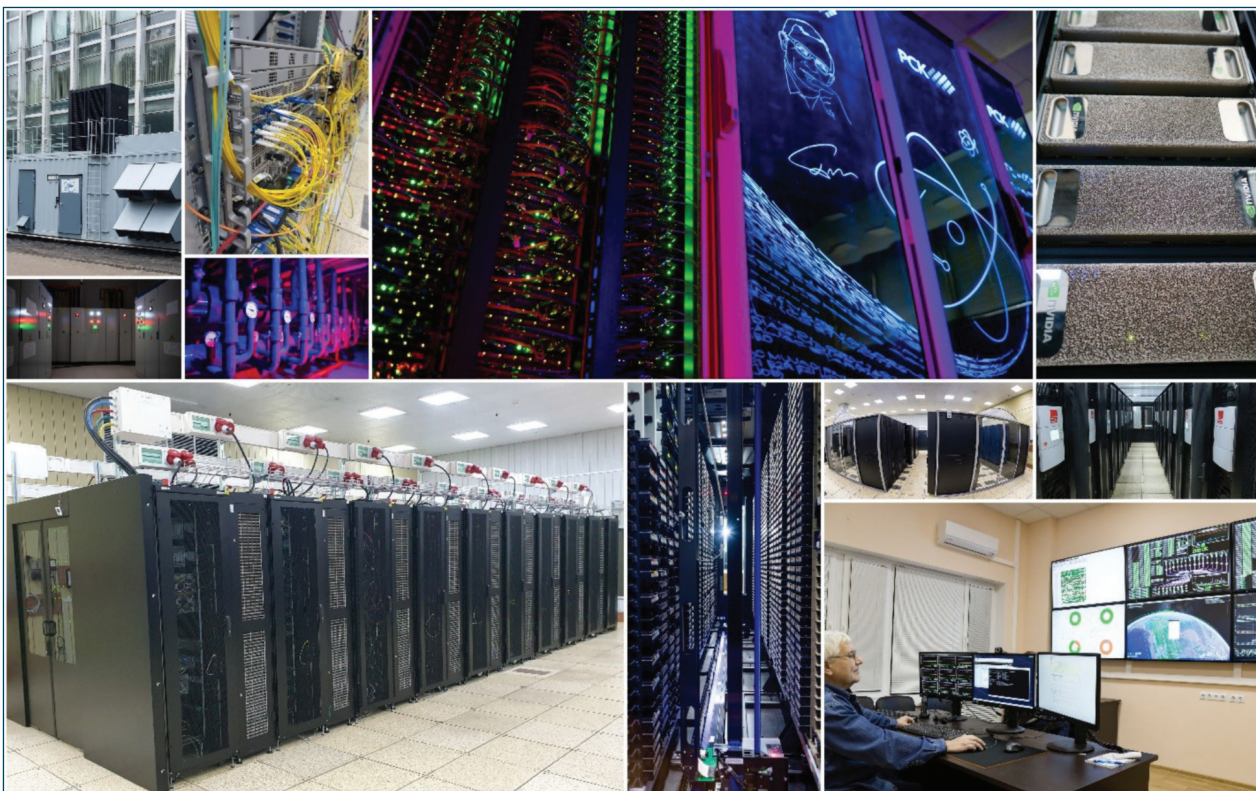


Рис. 13. Элементы Многофункционального информационно-вычислительного комплекса

ходимо развивать распределенные многоуровневые гетерогенные вычислительные среды, в том числе и на ресурсах участников экспериментов.

Предполагается, что центры Tier0 и Tier1 для проекта NICA будут построены на ресурсах ОИЯИ, включая сотни петабайт долговременного хранилища необработанных данных. Это позволит обеспечить 25–30% всех вычислительных ресурсов в распределенной системе, предоставление и поддержку основных сервисов для распределенной вычислительной системы (DIRAC, PanDA и др.).

Емкость хранилища данных и вычислительные мощности для проекта WLCG, направленного на решение задач, связанных с участием ОИЯИ в экспериментах ЦЕРН, должны увеличиваться ежегодно на 10–20%, что позволит сохранить требуемую скорость обработки данных.

Для разработки новых алгоритмов обработки и анализа данных на основе глубокого и машинного обучения потребуется поддержка и развитие инфраструктуры высокопроизводительных вычислений. Суперкомпьютер (СК) «Говорун» – это гибкая, масштабируемая, гиперконвергентная система, сочетающая в себе вычислительные архитектуры разных типов, иерархическую систему обработки и хранения данных. Развитие СК «Говорун» направлено на создание среды для суперкомпьютерного моделирования и решения ресурсоемких теоретических и экспериментальных задач ОИЯИ. Такая исследовательская среда необходима для параллельных вычислений, задач ML/DL/AI, квантовых вычислений, инструментов анализа и визуализации данных, прикладных пакетов, веб-сервисов для прикладных программ, учебных курсов и практик.

Одним из главных приоритетов Семилетнего плана является расширение облачной инфраструктуры ОИЯИ и создание интегрированной облачной среды для экспериментов ОИЯИ и его стран-участниц на основе технологий контейнеризации. Прогресс в этой области будет во многом зависеть от готовности экспериментов к переходу на такой рабочий процесс.

Развитие информационных технологий напрямую связано с дальнейшим развитием сетевой инфраструктуры ОИЯИ. Поддержка современных сетевых технологий включает программно-определяемые сети (SDN), сети доставки содержимого (CDN), именованные сети передачи данных (NDN) и технологии построения распределенных центров обработки данных (DCI).

Стратегия развития Больших данных в ОИЯИ включает широкий спектр исследований: подготовку инфраструктуры хранения и обработки Больших данных (аппаратное и программное обеспечение, безопасность), разработку современных методов и алгоритмов Больших данных для решения прикладных задач, интеллектуальный мониторинг функционирования и безопасности распределенных вычислительных систем, предоставление инфраструктуры Больших данных для конечных пользователей.

Первоочередной задачей в области разработки и применения квантовых вычислений, квантовой программной инженерии и квантового интеллектуального управления является построение квантовых систем интеллектуального управления физическими экспериментальными установками, в том числе для случаев непредвиденных и непредсказуемых ситуаций.

Исходя из этих потребностей основное направление развития IT-экосистемы ЛИТ связано с модернизацией сетевых каналов связи, инженерной и вычислительной инфраструктуры Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК), а также с развитием технологий обработки и хранения данных для экспериментов NICA и нейтринной программы ОИЯИ. Для обеспечения стабильной работы МИВК требуется регулярное обновление и обслуживание существующей инфраструктуры.

IT-экосистема станет базовой платформой для подготовки IT-специалистов, способных разрабатывать алгоритмические и программные решения для задач ОИЯИ.

Все работы будут проводиться в тесном сотрудничестве с исследовательскими группами и IT-специалистами из всех лабораторий ОИЯИ и стран-участниц.

Таблица 7. Примерная оценка требуемых вычислительных ресурсов

		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
LHC Tier1 (CMS)	CPU (Pflops)	1,53	1,69	1,84	2,03	2,22	2,45	2,68
	Disk (PB)	18	20	25	28	31	34	40
	Tape (PB)	46	50	60	70	80	90	100
	Network (Gbps)	200	400	400	600	600	800	800
LHC Tier2 (ATLAS, CMS, ALICE, LHCb и др.)	CPU (Pflops)	0,73	0,81	0,88	0,96	1,04	1,15	1,27
	Disk (PB)	7,7	8,5	9,2	10	11	12,80	14
	Network (Gbps)	200	400	400	600	600	800	800
СК «Говорун»	CPU (Pflops)	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2
	Disk (PB)	8	9	10	11	12	13	14
Озеро данных	Disk (PB)	60	60	60	80	80	80	100
*NICA Tier 0,1,2	CPU (Pflops)	2,2	2,6	8,6	8,6	15,6	15,6	15,6
	Disk (PB)	17	24	47	75	96	119	142
	Tape (PB)	45	88	170	226	352	444	536
	Network (Gbps)	400	400	400	400	400	400	400
*Baikal-GVD, NOvA, JUNO, DUNE Tier 0,1,2	CPU (Pflops)	0,94	1,02	1,2	1,28	1,36	1,54	1,62
	Disk (PB)	1,9	3,2	3,5	3,8	4,6	4,9	5,2
	Tape (PB)	9	12	15	18	21	24	27
	Network (Gbps)	200	200	200	200	200	200	200

*Финансирование вычислительных ресурсов на компьютеринг по NICA и нейтринной программе ОИЯИ будет осуществляться в рамках бюджетов соответствующих направлений.

Ожидаемые результаты

1. Модернизация инженерной инфраструктуры МИВК ОИЯИ (реконструкция в соответствии с современными требованиями машинного зала 4-го этажа ЛИТ).

2. Модернизация и развитие офлайн распределенной вычислительной платформы для проекта NICA с привлечением вычислительных центров коллаборации NICA.

3. Создание грид-кластера Tier0 для экспериментов мегапроекта NICA для хранения экспериментальных и смоделированных данных. Расширение производительности и емкости систем хранения грид-кластеров Tier1 и интегрированного Tier2/CCIC в качестве центров обработки данных для экспериментов мегапроекта NICA, нейтринной программы ОИЯИ и экспериментов на LHC.

4. Расширение облачной инфраструктуры ОИЯИ с целью увеличения предоставляемого пользователям спектра сервисов на основе технологий контейнеризации. Автоматизация развертывания облачных технологий в организациях стран-участниц ОИЯИ.

5. Расширение гетерогенной платформы HybriLIT, включая суперкомпьютер «Говорун», как гиперконвергентной программно-определяемой среды с иерархической системой хранения и обработки данных.

6. Создание многоцелевой программно-аппаратной платформы аналитики Больших данных на основе гибридных аппаратных ускорителей (GPU, FPGA, квантовые системы); алгоритмов машинного обучения; инструментов аналитики, отчетов и визуализации; поддержки пользовательских интерфейсов и задач.

7. Проектирование и разработка распределенной программно-конфигурируемой высокопроизводительной вычислительной платформы, объединяющей суперкомпьютерные (гетерогенные), грид- и облачные технологии для эффективного использования новых вычислительных архитектур.

8. Разработка системы защиты компьютерной инфраструктуры на основе принципиально новых парадигм, включая квантовую криптографию, нейрокогнитивные принципы организации данных и взаимодействия объектов данных, глобальную интеграцию информационных систем, универсальный доступ к приложениям, новые интернет-протоколы, виртуализацию, социальные сети, данные мобильных устройств и геолокации.

Таблица 8. Расходы на МИВК

(тыс. долларов США)

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию	5 410,0	5 341,5	5 432,5	5 568,3	5 707,5	5 850,2	6 900,0	40 210,0
Материальные расходы на эксплуатацию и обслуживание	1 848,0	1 986,2	2 064,1	2 145,4	2 235,9	2 331,5	2 439,0	15 050,1
ВСЕГО	7 258,0	7 327,7	7 496,6	7 713,7	7 943,4	8 181,7	9 339,0	55 260,1



Научные исследования в области физики элементарных частиц и физики тяжелых ионов высоких энергий можно разделить на четыре взаимосвязанных направления: ускорительное направление повышения энергии (граница энергии), ускорительное направление повышения интенсивности (граница интенсивности), неускорительное направление повышения точности (граница точности) и направление астрофизики частиц (космическая граница). С учетом этих общих направлений в рамках Семилетнего плана ОИЯИ сосредоточит усилия на следующих главных темах.

1. Исследования в области физики частиц, включая спектроскопию частиц, спиновую физику, физику нейтрино и изучение редких явлений (затрагивающих границы энергии, интенсивности, точности и космическую границу), направленные на расширение Стандартной модели и поиск новых фундаментальных законов природы.

2. Исследования в области физики тяжелых ионов высоких энергий (границы энергии и интенсивности), направленные на установление свойств адронной материи в условиях фазовых переходов между кварковым и адронным состояниями материи.

3. Разработка систем детекторов и ускорительных комплексов нового поколения, теоретическая поддержка текущих и планирующихся экспериментальных исследований, разработка и эксплуатация высокопроизводительных телекоммуникационных связей и вычислительных средств в ОИЯИ, направленные на обеспечение комплексной поддержки реализации научных задач, предусмотренных Семилетним планом.

В области физики частиц и тяжелых ионов высоких энергий Семилетний план будет реализовываться силами четырех лабораторий ОИЯИ (ЛФВЭ им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ЛЯП им. В. П. Дзелепова, ЛИТ им. М. Г. Мещерякова и ЛТФ им. Н. Н. Боголюбова) как на базе собственных установок ОИЯИ – ускорительного комплекса NICA и Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК), так и в рамках международных партнерских программ на крупнейших ускорительных установках мира в экспериментах со значительным вкладом, внесенным сотрудниками ОИЯИ.

С учетом большой научной привлекательности проекта ILC, при благоприятном развитии ситуации с наполнением бюджета Института, ОИЯИ намерен продолжить участие в развитии подсистем ускорителя и детекторов в рамках этого международного проекта. Решение о продолжении работ будет приниматься дополнительно на этапе ежегодного планирования.

В рамках международных проектов FLASH и XFEL физики ОИЯИ участвуют в разработке систем диагностики ультракоротких сгустков в линейном ускорителе, рентгеновского излучения и больших криогенных систем.

Исследование горячей и плотной барионной материи и ее фазовых превращений

Исследования будут вестись на базе комплекса NICA. Будут проводиться эксперименты с выведенными пучками Нуклотрона на установке BM@N и в режиме коллайдера на детекторе MPD в тяжелоионных столкновениях в диапазоне энергий $\sqrt{s_{NN}} = 4-11$ ГэВ. Эксплуатация комплекса NICA и упомянутых детекторов, их доведение до проектных параметров и получение новых экспериментальных результатов будут главными задачами для ЛФВЭ. На конец семилетки запланирован ввод в эксплуатацию первой очереди установки SPD для работы с поляризованными пучками коллайдера.

Группы ученых ЛФВЭ продолжают участие в исследовании свойств ядерной материи в экстремальных условиях, в поиске кваркового деконфайнмента и возможных фазовых переходов в рамках общих исследовательских программ в эксперименте STAR на RHIC (BNL), в эксперименте NA61 на ускорителе SPS (ЦЕРН), в эксперименте ALICE на LHC (ЦЕРН). Объем участия ОИЯИ будет зависеть от прогресса в реализации проекта NICA, а также от необходимости консолидировать работу на ускорительном комплексе ОИЯИ.

Ожидаемые результаты

1. Получение физических результатов на установке BM@N с использованием пучков тяжелых ионов высокой интенсивности, включая ионы висмута и золота, при разных энергиях ионов в интервале (1,5–3,8) А ГэВ. Изучение эллиптических и прямых потоков, процессов с рождением гиперонов с $S = 2$ и гиперядер. Исследование параметров уравнения состояния ядерного вещества при высоких плотностях – 2024–2030 гг.

2. Получение физических результатов на установке MPD в программе исследований по изучению свойств горячей и плотной барионной материи в центральном диапазоне быстрот, поиску фазовых переходов (наблюдаемые – выходы частиц и их спектры), включая частичное восстановление киральной симметрии (наблюдаемые – выходы дилептонов), и поиску критической точки (наблюдаемые – пособытийные флуктуации, корреляции частиц) – 2025–2030 гг.

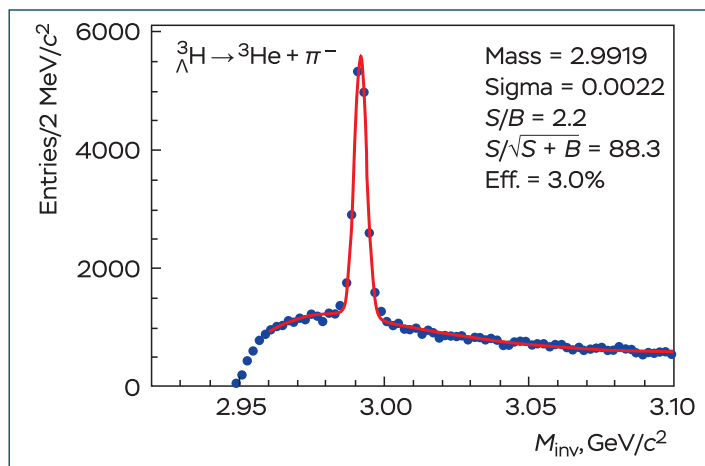


Рис. 14. Для оценки перспектив исследования гиперядер на NICA было проведено детальное моделирование характеристик детектора MPD по реконструкции гипертрионов в реакциях $Bi + Bi$ при энергии столкновения в с.ц.м., равной 9,2 А ГэВ. Показано распределение по восстановленной инвариантной массе гипертриона при распаде по двухчастичной моде на статистике 40 миллионов $Bi + Bi$ -столкновений

3. Сдача в эксплуатацию второй очереди детектора MPD. Начало исследовательской программы с детектором MPD во всем доступном диапазоне фазового пространства – 2026–2030 гг.

4. Исследование физики сильновзаимодействующей материи, включая поиск критической точки, изучение деконфайнмента, коллективных потоков и образования открытого чарма, в эксперименте NA61 на SPS (ЦЕРН) – 2024–2030 гг.

5. Получение новых результатов по программе сканирования энергии (3–200 ГэВ) в эксперименте STAR (RHIC) – 2024–2025 гг.

6. Получение новых результатов по изучению физических явлений в ультрапериферических ядро-ядерных столкновениях и по программе фемтоскопии в эксперименте ALICE (LHC), участие в модернизации фотонного детектора установки ALICE – 2014–2030 гг.

Изучение спиновой структуры нуклона и других поляризационных явлений

Изучение спиновой структуры нуклона и других поляризационных явлений в нуклон-нуклонных и нуклон-ядерных взаимодействиях, а также в малонуклонных системах будет выполняться на ускорительном комплексе ЛФВЭ, в ЦЕРН и BNL. В ЛФВЭ будут проводиться эксперименты как с фиксированной мишенью и поляризованными пучками Нуклотрона, так и на коллайдере NICA, на детекторе SPD. Выполнение физической программы на установке SPD планируется начать в 2028 г. после завершения строительства первой очереди детектора SPD и введения установки в эксплуатацию. Программа исследований на SPD расширит действующие программы исследований эксперимента COMPASS++/AMBER (на SPS, ЦЕРН) по структуре и спектроскопии адронов на высокоинтенсивных пучках мюонов и адронов, а также на пучках поляризованных протонов на установке STAR (RHIC), в которых группы ученых ЛФВЭ и ЛЯП ОИЯИ продолжают принимать участие в течение 2024–2028 гг. Характер участия ОИЯИ в этих программах будет скоординирован с растущей концентрацией усилий ОИЯИ на создании детектора SPD и программе исследований с его использованием.

Ожидаемые результаты

1. Поэтапная сдача в эксплуатацию инфраструктуры управления поляризованными пучками, необходимой для обеспечения экспериментальных исследований поляризационных явлений в рамках международной коллаборации, – 2024–2027 гг.

2. Проведение программы исследований в ряде экспериментов с поляризованными пучками Нуклотрона для изучения спиновой структуры нуклона и других поляризационных явлений (как в нуклон-нуклонных и нуклон-ядерных взаимодействиях, так и в малонуклонных системах) – 2024–2030 гг.

3. Введение в эксплуатацию начальной конфигурации детектора SPD на коллайдере NICA – 2028 г.

4. Получение новых результатов по спиновой структуре нуклона в эксперименте STAR (RHIC) во взаимодействиях протонов с протонами и ядрами – 2024–2028 гг.

Поиск физических явлений за пределами Стандартной модели

Поиск физических явлений за пределами Стандартной модели будет продолжен в экспериментах CMS и ATLAS на LHC в ЦЕРН. ОИЯИ будет принимать участие во второй фазе

модернизации детекторов во время остановки LHC в 2026–2028 гг. и продолжит анализ данных, полученных на LHC.

Группа ОИЯИ продолжит участие в эксперименте NA64 по поиску слабодействующих частиц темной материи в ЦЕРН на ускорителе SPS. ОИЯИ также

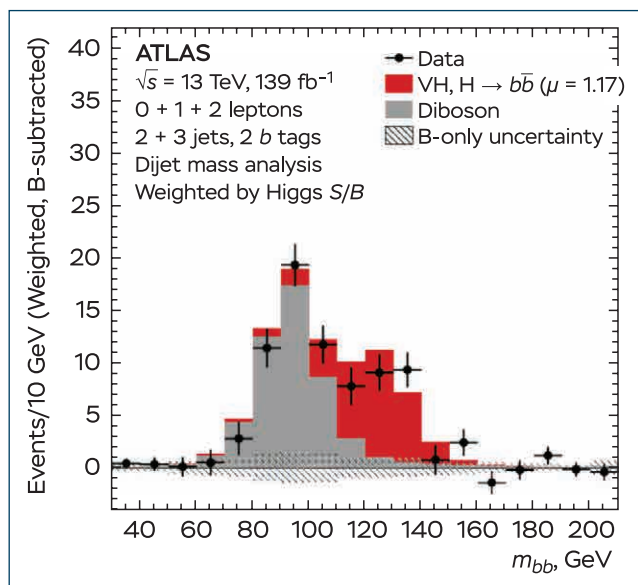


Рис. 15. Полученное в pp -взаимодействиях при энергии 13 ТэВ в эксперименте ATLAS распределение по инвариантной массе двух b -струй в процессах ассоциированного рождения бозона Хиггса с W - и Z -бозонами и его распадом на два b -кварка. Вычтен вклад всех фоновых процессов, за исключением двухбозонных – WZ и ZZ

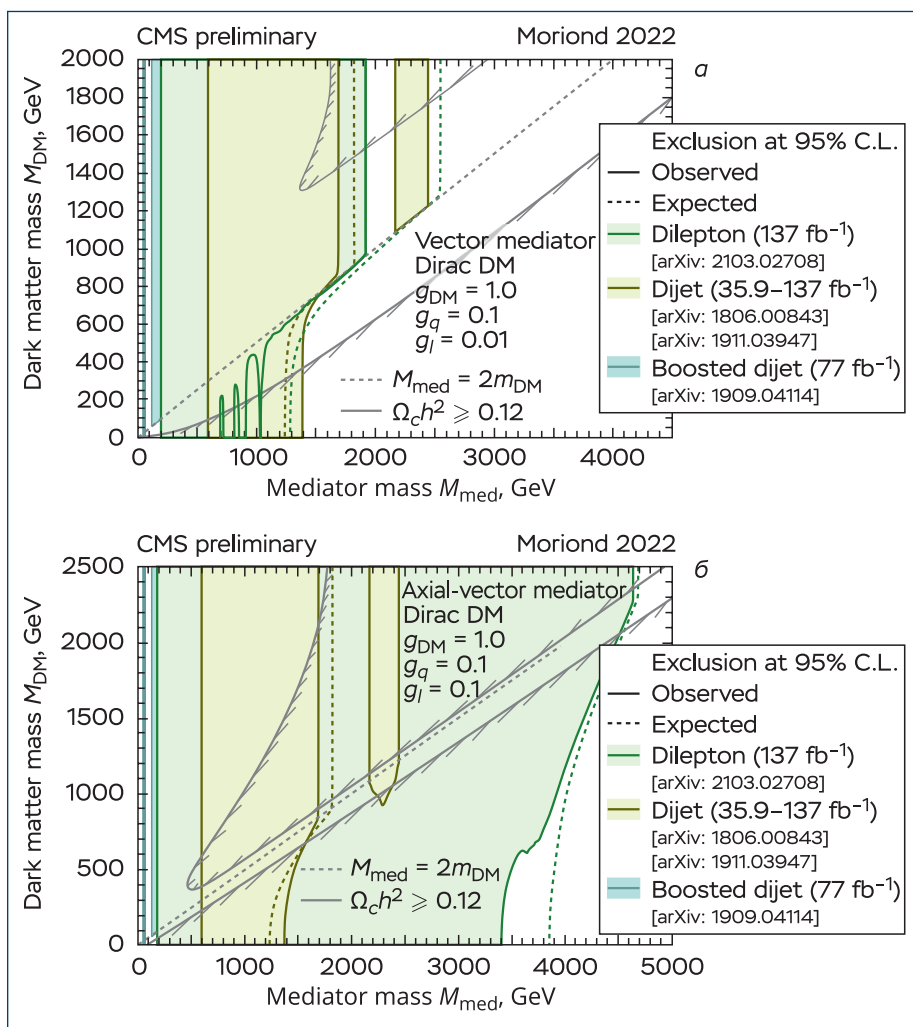


Рис. 16. В объединенном канале рождения пары струй и пары лептонов в событиях, зарегистрированных в эксперименте CMS на LHC, определены пределы (95 % C. L.) на массы частиц-кандидатов на роль частиц темной материи M_{DM} и частицы-переносчика взаимодействия с темным сектором M_{med} . Закрашенная область соответствует закрытым значениям масс для векторного (вверху) и псевдовекторного (внизу) переносчика

примет участие в эксперименте по поиску процессов с нарушением закона сохранения флейвора заряженных лептонов – конверсии мюонов в электроны на ядрах $\mu 2e$ (FNAL) и COMET (J-PARC).

ОИЯИ продолжит участие в эксперименте NA62, чтобы завершить прецизионное измерение распада каона на пион и два нейтрино, а также провести ряд других измерений очень редких распадов каона на границе интенсивности физики элементарных частиц, что обеспечит решающую проверку Стандартной модели и конкурентный поиск кандидатов на темную материю.

Ожидаемые результаты:

– получение новых экспериментальных результатов в рамках программы, направленной на проверку предсказаний Стандартной модели (СМ) и поиск физики за пределами СМ на установках CMS и ATLAS, выполнение обязательств по модернизации детекторов – 2024–2028 гг.;

– экспериментальная проверка теоретических моделей, направленных на поиск частиц темной материи с использованием пучков SPS, – 2024–2030 гг.

Нейтринная физика и астрофизика

Нейтринная физика и астрофизика – одни из наиболее перспективных областей исследования фундаментальных проблем современной физики элементарных частиц.

В настоящее время физика нейтрино вошла в новую эру прецизионных измерений, и первой главной задачей на этом пути сегодня являются **определение иерархии нейтринных масс и определение величины CP-нарушения в лептонном секторе**. Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Дзеляева ОИЯИ участвует в решении проблемы иерархии масс нейтрино с

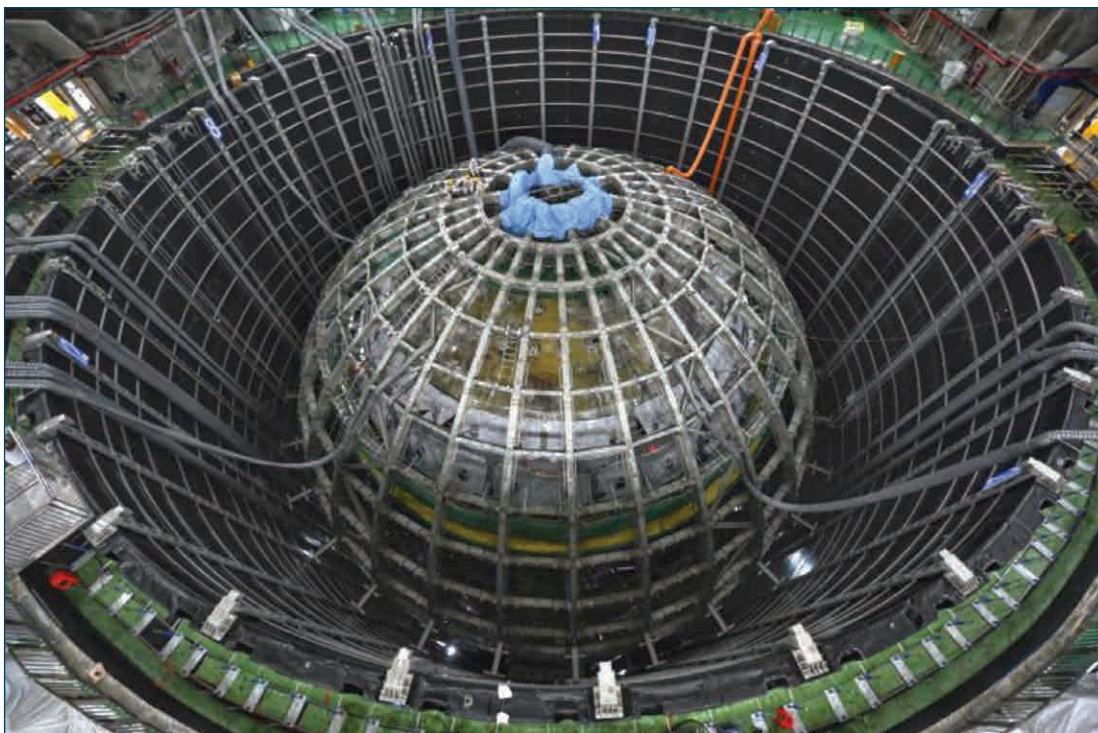


Рис. 17. Текущее состояние сборки детектора JUNO

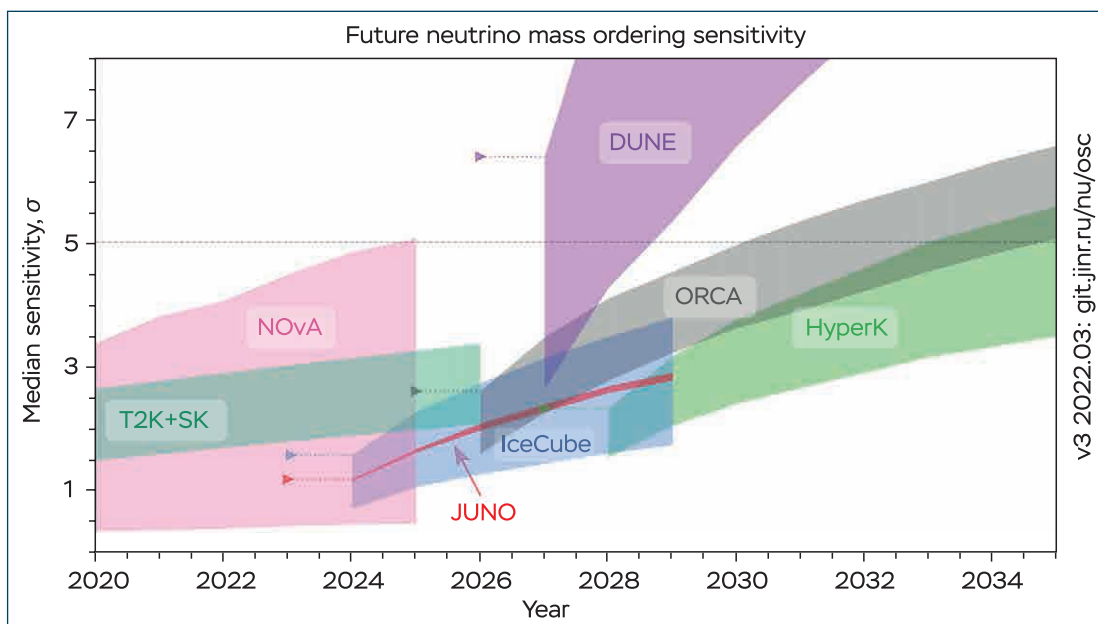


Рис. 18. Чувствительность к иерархии масс нейтрино действующих и планируемых экспериментов. Полосы представляют собой весь диапазон возможных измерений в зависимости от остальных параметров

помощью двух взаимодополняющих методик с использованием реакторных и ускорительных нейтрино в экспериментах JUNO и NOvA + T2K соответственно.

Исследование CP-нарушения в лептонном секторе будет проводиться с помощью другого ускорительного эксперимента – DUNE, в подготовке которого Институт принимает активное участие. Специалисты ОИЯИ из двух лабораторий, ЛЯП и ЛФВЭ, ведут исследования и разработки систем ближнего детектора DUNE, в частности по регистрации света в жидком аргоне, и трекового детектора на основе трубок на базе уникального опыта, накопленного в этих областях в ОИЯИ.

Вторая главная задача современной нейтринной физики состоит в **определении абсолютного масштаба массы и природы нейтрино, а также их электромагнитных свойств**. Решение этих задач ведется в ЛЯП путем исследования процессов двойного безнейтринного бета-распада ядер, которое проводится в рамках проектов GERDA-LEGEND и SuperNEMO, а также в прецизионных экспериментах ЛЯП на Калининской и Нововоронежской атомных станциях. ЛЯП ОИЯИ играет лидирующую роль в передовых экспериментах с реакторными нейтрино, выполняемых в непосредственной близости от ядерных реакторов (DANSS, GEMMA/ ν GeN). Развитие техники экспериментов, синергия с другими низкофоновыми проектами ОИЯИ позволяют проводить новые исследования на переднем крае науки. Результатами исследований станут поиск осцилляций нейтрино в стерильные состояния на короткой базе с лучшей в мире чувствительностью, поиск магнитного момента нейтрино на уровне лучше $9 \cdot 10^{-12} \mu_B$, детектирование и исследование когерентного рассеяния нейтрино на ядрах (CEvNS) в зоне полной когерентности, использование CEvNS для прецизионного изучения электрослабого сектора и поиска новой физики за пределами Стандартной модели. Важным прикладным применением фундаментальных исследований реакторных антинейтрино станет разработка метода мониторинга внутриреакторных процессов с помощью компактных (анти)нейтринных детекторов.

Научная программа активно развивающегося байкальского нейтринного проекта Baikal-GVD включает в себя исследование ряда фундаментальных задач:

- регистрацию и исследование нейтрино от астрофизических объектов в Южном полушарии и, что особенно важно, от центра нашей Галактики;
- определение источников происхождения и прояснение механизмов генерации космических частиц сверхвысоких (недостижимых на Земле) энергий (совместно с гамма-астрофизикой);

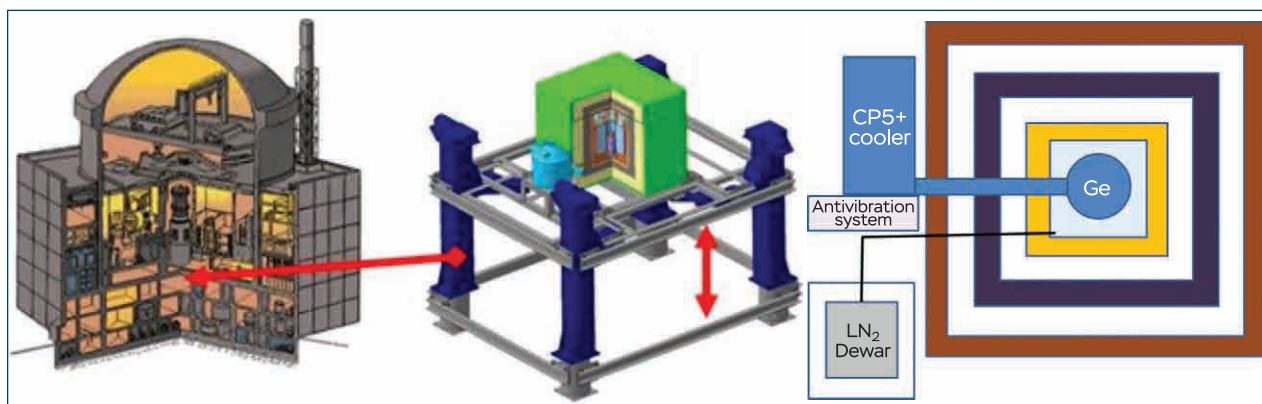


Рис. 19. Схема установки ν GeN, нацеленной на детектирование CEvNS. Установка расположена непосредственно под реактором № 3 Калининской АЭС (слева), на специальном подъемном устройстве (в центре), позволяющем изменять поток антинейтрино в HPGe-детекторе, окруженном комплексной активной и пассивной защитой (справа)

– поиск сигналов от аннигиляции слабовзаимодействующих массивных нейтральных частиц темной материи в ближайших космических объектах (Солнце, центр Галактики, Земля, Юпитер и т. п.);

– поиск тяжелых магнитных монополей и других гипотетических частиц внеземного происхождения (странглеты, суперсимметричные, кварковые сгустки, Q-боллы и т. п.);

– изучение угловых и энергетических спектров атмосферных нейтрино и мюонов (помимо основного фона для вышеуказанных задач имеет и самостоятельное значение, например, с точки зрения изучения сечений взаимодействия нейтрино с веществом).

В качестве сопутствующей фундаментальным исследованиям прикладной деятельности будет проводиться мониторинг гидро- и биофизических процессов, происходящих в озере Байкал.

В 2024–2030 гг. дальнейшее развитие получат следующие основные направления исследований в области ядерной физики низких энергий: синтез сверхтяжелых элементов в реакциях с тяжелыми ионами и изучение их ядерно-физических и химических свойств, изучение механизмов ядерных реакций под действием тяжелых ионов, исследование структуры ядер, расположенных вблизи границ нуклонной стабильности, фундаментальные исследования с нейтронами, а также прикладные исследования.

Синтез и изучение ядерно-физических свойств изотопов сверхтяжелых элементов

В 2024–2030 гг. на Фабрике СТЭ (базовая установка – циклотрон ДЦ-280) будет проводиться углубленное изучение ядерно-физических свойств изотопов сверхтяжелых элементов с $Z = 103–118$, включая первые измерения масс наиболее тяжелых ядер, определение характеристик их низколежащих состояний, поиск редких мод распада, а также редких каналов реакций. Планируется выполнить эксперименты по синтезу новых элементов с атомными номерами $Z = 119$ и 120 на пучках ^{50}Ti и/или ^{54}Cr . Значительное внимание будет уделено экспериментам по синтезу новых изотопов сверхтяжелых элементов с целью определения границ «острова» повышенной стабильности.

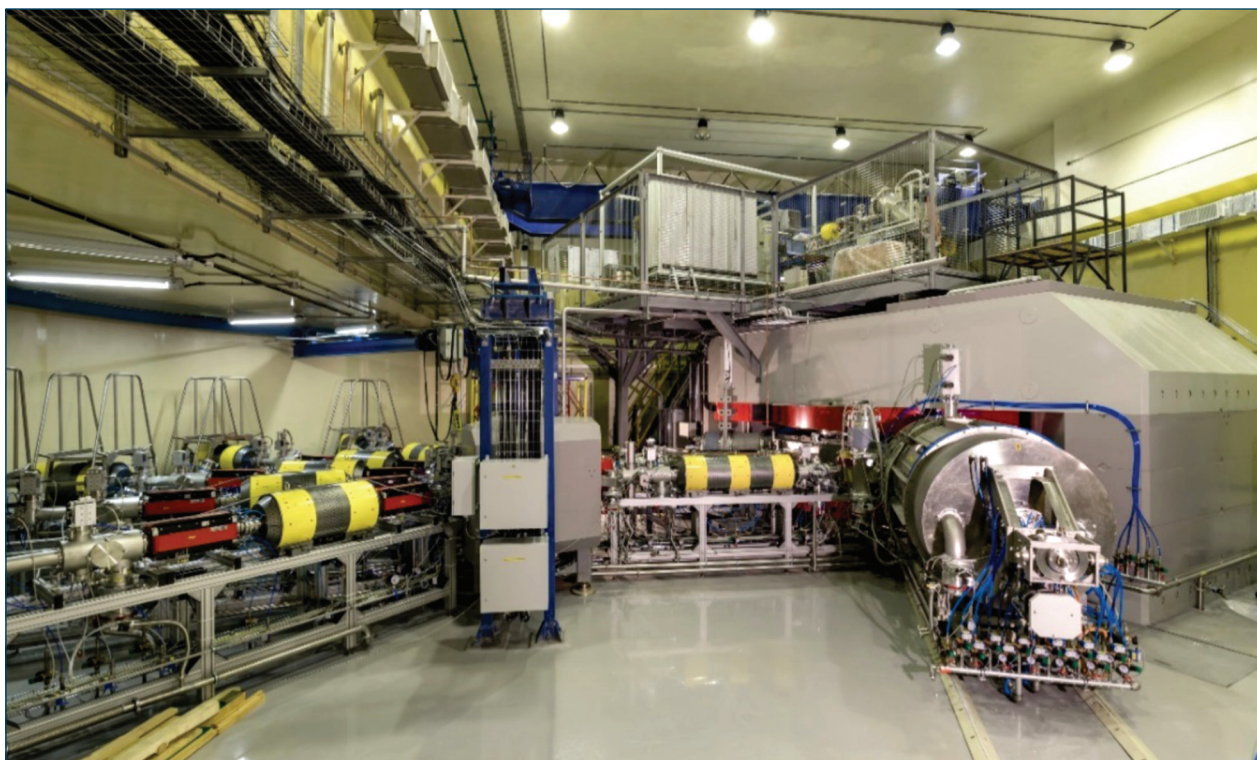


Рис. 20. Циклотрон ДЦ-280 Фабрики СТЭ

Исследование процессов многонуклонных передач в столкновениях массивных ядер, синтез новых нейтроноизбыточных тяжелых ядер

Реакции многонуклонных передач (МНП) в околобарьерных столкновениях актиноидов являются перспективным методом синтеза новых нейтроноизбыточных изотопов тяжелых и сверхтяжелых элементов. Глубоко модернизированный ускорительный комплекс У-400Р, включающий новый экспериментальный корпус, создаст необходимые условия для углубленного изучения этих и других низкоэнергетических ядерных реакций с тяжелыми ионами. Разработка и строительство новых установок для реализации программы ЛЯР в области изучения ядерных реакций должны быть осуществлены в ближайшие годы. Программа ЛЯР в области МНП будет направлена как на изучение механизмов этих реакций, ориентированное на сбор кинематически полной информации о конкретных каналах реакций, так и на использование МНП как метода получения и изучения новых (в основном нейтронообогащенных) изотопов тяжелых и сверхтяжелых элементов. В последнем случае на установках должна быть возможность разделять и изучать долгоживущие нейтроноизбыточные нуклиды элементов вплоть до $Z = 101-110$. Синтез этих нуклидов позволит также проводить химические исследования в жидкой фазе.

Для широкого применения реакций многонуклонных передач для синтеза самых тяжелых ядер требуются пучки урана высокой интенсивности. Разработка нового источника ионов ЭЦР с частотой 28 ГГц будет иметь важное значение для обеспечения этих исследований. Планируемое экспериментальное изучение реакций МНП должно сопровождаться активным развитием соответствующих теоретических подходов.

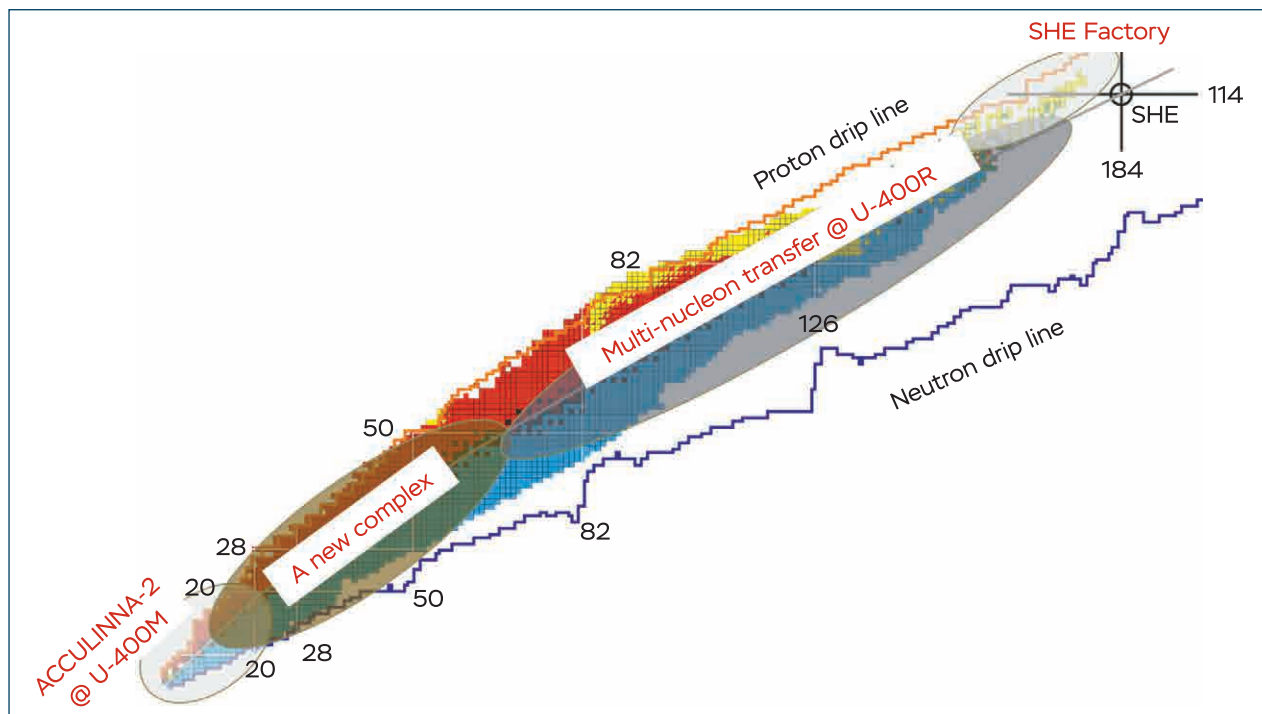


Рис. 21. Способы получения ядер в разных областях карты ядер, развиваемые в ЛЯР

Ядерная структура трансфермиевых элементов

В 2024–2030 гг. будет продолжена реализация программы по α -, β - и γ -спектроскопии тяжелейших ядер на модернизированном многопараметрическом детекторном комплексе GABRIELA (селектор скоростей SHELS, ускоритель У-400Р). Впервые для эксперимен-

тов спектроскопии ядер становится доступной область изотопов сверхтяжелых элементов в области острова стабильности. Эти эксперименты будут проводиться на сепараторе ГНС-3 (GRAND) на Фабрике СТЭ.

Развитие исследований по изучению химических свойств СТЭ

Дальнейшее развитие исследований химических свойств сверхтяжелых элементов требует значительного повышения быстродействия установки от единиц до сотых долей секунды. Для этих целей в ЛЯР создается новый специализированный пресепаратор, базирующийся на газонаполненном соленоиде. Кроме того, будет продолжено развитие устройств транспортировки и сепарации продуктов ядерных реакций, в первую очередь сверхпроводящего соленоида, а также систем обеспечения измерений и регистрации. На этих установках на новом методическом уровне будут выполняться как «традиционные» эксперименты по изучению свойств СТЭ в элементарном состоянии, так и эксперименты по изучению поведения их химических соединений. Химические эксперименты будут сфокусированы, в частности, на исследовании свойств Nh и Mc. Другой важной задачей является постановка первых в истории экспериментов для Mt, Ds и Rg.

Изучение свойств тяжелых и сверхтяжелых ядер методами прецизионной масс-спектрометрии и лазерной спектроскопии

Постановка первых в мире экспериментов по прецизионному измерению масс сверхтяжелых ядер потребует существенного развития экспериментальной базы Фабрики СТЭ. В 2024–2030 гг. планируется создание комплекса, включающего существующий газонаполненный сепаратор GRAND, криогенную газовую ловушку и многоотражательный времяпролетный масс-анализатор. Ставится задача измерения масс сверхтяжелых ядер с разрешением 10^6 и выше. Времяпролетный масс-спектрометр может служить первой ступенью для ловушки Пеннинга, которая позволяет анализировать изотопы по массе с разрешением $\sim 10^{10}$. Кроме того, предполагается развивать методы ионизационной лазерной спектроскопии внутри газовой ячейки, что позволит выполнять пионерские эксперименты по определению первого ионизационного потенциала трансфермиевых элементов.

Изучение механизмов реакций со стабильными и радиоактивными ядрами, поиск новых видов распадов

Целью исследований с радиоактивными пучками (RIB) является расширение знаний о карте нуклидов от ядерно-стабильных изотопов до пределов существования ядерной структуры. Вторичные пучки радиоактивных изотопов вдали от линии стабильности будут дополнять исследования сверхтяжелых элементов, проводимые в ЛЯР.

В последние 2–3 десятилетия в ЛЯР были получены яркие результаты, связанные со структурой нейтроноизбыточных ядерных систем, таких как ^{4-7}H , ^{5-10}He и другие изотопы, расположенных на границах нуклонной стабильности. Был разработан ряд новых сложных экспериментальных подходов и методик. В частности, для заселения низкоэнергетических спектров интересующих ядер в лаборатории разработан уникальный комплекс криогенной тритиевой мишени.

ЛЯР ОИЯИ обеспечит продолжение экспериментальных исследований в области легких экзотических ядер, находящихся на границах нуклонной стабильности, включая изучение кластерных состояний, экзотических многонейтронных распадов, двухпротонной радиоактивности, поиск новых магических чисел и спектроскопию экзотических ядер, реакции с гало-ядрами.

В настоящее время в ЛЯР рассматриваются два основных пути расширения долгосрочной программы развития техники RIB на ближайшие 7 лет и далее. Наиболее амбициозный с точки зрения объема научной программы и вместе с тем дорогостоящий проект предполагает сооружение высокоточного линейного ускорителя непрерывного действия для получения пучков тяжелых ионов с энергией до 100 А МэВ. Такая энергия ионных пучков с интенсивностью 1 мкА частиц для U и > 10 мкА частиц для более легких ядер позволит на несколько порядков увеличить интенсивность вторичных пучков, а также производить и изучать наиболее удаленные от линии бета-стабильности изотопы. Проект E1-E2 на основе тандема двух циклотронов, находящийся на стадии подготовки в ЛЯР, также предполагает получение пучков тяжелых ионов с энергией до 100 А МэВ.

Еще одно предложение подразумевает использование модернизированного ускорителя У-400М в качестве драйвера, остановку первичного пучка в толстой мишени, вывод ионов экзотических ядер, транспорт и последующее доускорение на циклотроне У-400Р. Вторичные пучки в широком диапазоне энергий (0,8–28) А МэВ с интенсивностью до 10^9 с⁻¹ могут быть использованы для исследования строения экзотических нуклидов в реакциях передачи и перезарядки, поиска редких распадов с активной мишенью (проект находится в разработке), исследования реакций, представляющих интерес для астрофизики. Вторичные пучки будут транспортироваться в новый экспериментальный зал циклотрона У-400Р.



Рис. 22. Фрагмент-сепаратор ACCULINNA-2

В ближайшее десятилетие экспериментальная программа на радиоактивных пучках будет реализована в основном на фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2 циклотронного комплекса У-400М, прошедшего глубокую модернизацию в 2020–2023 гг. Сепаратор ACCULINNA-2 оснащен рядом инструментов, таких как радиочастотный фильтр для дополнительной очистки вторичных пучков, спектрометр нулевого угла для разделения заряженных продуктов реакции, нейтронная стенка на основе кристаллов стильбена и др. К 2024 г. ожидается ввод в эксплуатацию новой криогенной газовой мишени (изотопы водорода, включая тритий и гелий). Семилетний план включает в себя, в частности, изучение экзотических ядерных систем типа ^{10}He , ^{13}Li , ^{16}Be , ^7B , ^{26}S , ^{15}Ne в реакциях $2n$ -, $2p$ -передач с тритиевой и ^3He -мишенью. Некоторые из этих ядер уже были предметом исследований на сепараторах ACCULINNA-1,2, показавших необходимость набора дополнительной статистики и улучшения энергетического разрешения.

Прикладные исследования на пучках тяжелых ионов

В 2024–2030 гг. планируется развивать прикладные исследования на базе ускорителей тяжелых ионов У-400Р, У-400М, ДЦ-140 и ускорителя электронов МТ-25.

В области исследования радиационной стойкости материалов и физики радиационных повреждений будут осуществлены работы по исследованию радиационной стойкости наноструктурированных керамик, оксидов, высокоэнтропийных сплавов и дисперсно-упрочненных оксидами сталей к воздействию тяжелых ионов с энергиями осколков деления. Особое внимание планируется уделить изучению долговременной стабильности материалов, представляющих интерес для использования в качестве подложек мишеней в экспериментах по синтезу сверхтяжелых элементов.

В области трековых мембран и создания новых нано- и микроструктурированных функциональных материалов исследования будут сосредоточены на наиболее востребованных в настоящее время направлениях, связанных с науками о жизни, энергосберегающими технологиями и защитой окружающей среды. С использованием гибридных технологий будут разрабатываться мембраны для новых сепарационных процессов, для конкретных медицинских и биологических применений и для высокочувствительных методов анализа (сенсорика).

Будет создано и введено в эксплуатацию новое поколение установок сенсibilизации облученных ионами полимерных пленок и установок химического травления. Планируется развитие парка оборудования для комплексного сопровождения всех разработок, включая методы элементного анализа, исследования морфологии материалов, физико-механические испытания и др.

Нейтронная ядерная физика

Многие задачи нейтронной ядерной физики требуют высокого разрешения и очень узкого нейтронного импульса, менее 1 мкс (обеспечивается ИРЕН). Однако существует также широкий спектр проблем для источников длинных импульсов с высоким потоком нейтронов. В частности, такие источники могут быть полезны для экспериментов, направленных на детальные исследования или поиск новых эффектов, нарушающих фундаментальные симметрии (P-нечетные и T-нечетные эффекты). Для этих экспериментов обычно требуются пучки нейтронов с высокой степенью поляризации, что более легко достижимо для низкоэнерге-

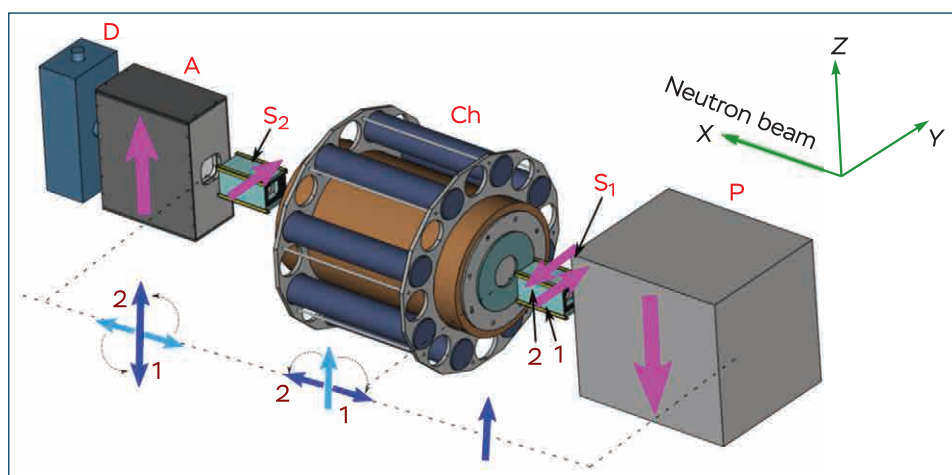


Рис. 23. Схема эксперимента для измерения T-нечетных эффектов в делении: P – SEOP поляризатор; Ch – камера деления, окруженная гамма-детекторами; A – анализатор; D – детектор нейтронов; S₁, S₂ – устройства управления спином. Розовые стрелки указывают направление магнитного поля, синие – направление спина нейтрона

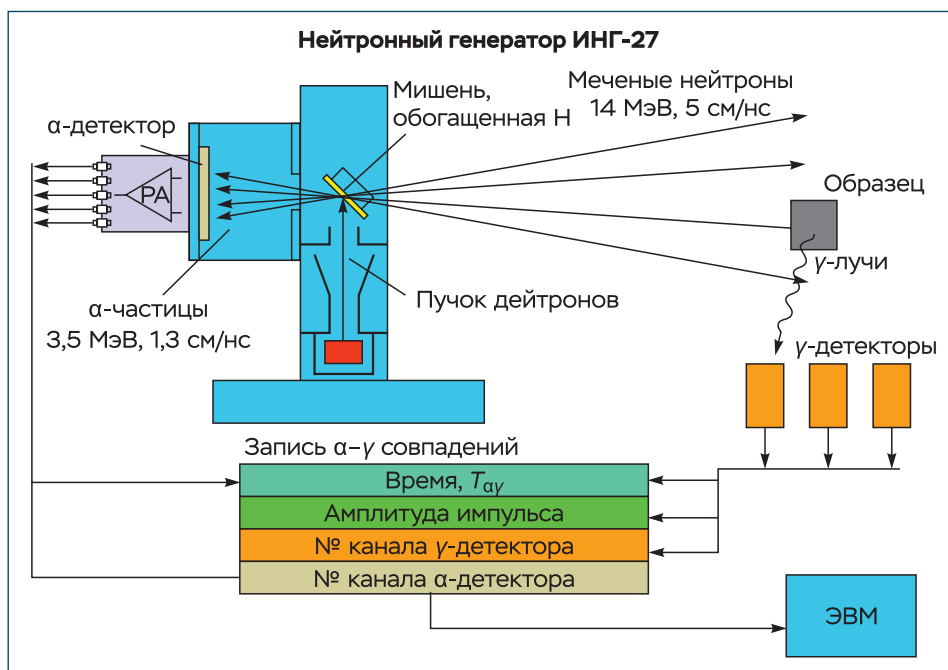


Рис. 24. Схема экспериментов с использованием метода меченых нейтронов для изучения взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами

тических резонансов (возможно использование пучков ИБР-2). Отдельную нишу занимают исследования методом меченых нейтронов с нейтронным (D-T) генератором. Эта методика открывает новые возможности изучения неупругих реакций с нейтронами при 14 МэВ и востребована для решения как задач ядерной физики, так и широкого спектра прикладных задач.

В рамках семилетки предлагается сосредоточиться на решении следующих физических задач в области нейтронной ядерной физики.

1. Всестороннее изучение процесса ядерного деления: измерение массово-энергетических и угловых распределений осколков, быстрых нейтронов и гамма-квантов, измерение запаздывающих нейтронов и гамма-квантов, поиск редких и экзотических мод деления (тройное, четверное и пятерное деление, деление на три фрагмента сопоставимой массы, образование пионов при делении, холодная фрагментация и т. д.), изучение и поиск P-нечетных и T-нечетных эффектов в делении.

2. Изучение свойств нейтронных резонансов. Измерение спектров гамма-квантов для резонансов с разными спинами, четностями и угловыми моментами. Изучение и поиск P-четных и P-нечетных эффектов в нейтронных резонансах. Поиск p -волновых резонансов, в которых может ожидать нарушение временной инвариантности.

3. Получение данных для ядерной инженерии и астрофизики: измерение интегральных и дифференциальных сечений нейтронов, угловых корреляций в диапазоне энергий от холодных нейтронов до ~ 1 ГэВ.

4. Разработка и применение метода меченых нейтронов для изучения реакций взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами.

5. Разработка и применение нейтронных и ядерных методов для элементного анализа и прикладных исследований: инструментальный активационный анализ, анализ по мгновенным гамма-квантам, элементный анализ быстрыми и мечеными нейтронами, элементный анализ поверхностных слоев твердых тел.

Разработка нового источника УХН на реакторе ИБР-2

Ультрахолодные нейтроны (УХН) показали себя как мощный инструмент для решения вопросов физики частиц и изучения фундаментальных взаимодействий. Примыкающая к УХН область очень холодных нейтронов (ОХН) выглядит очень перспективной для реализации эксперимента по поиску нейтрон-антинейтронных осцилляций, измерению времени жизни нейтрона.

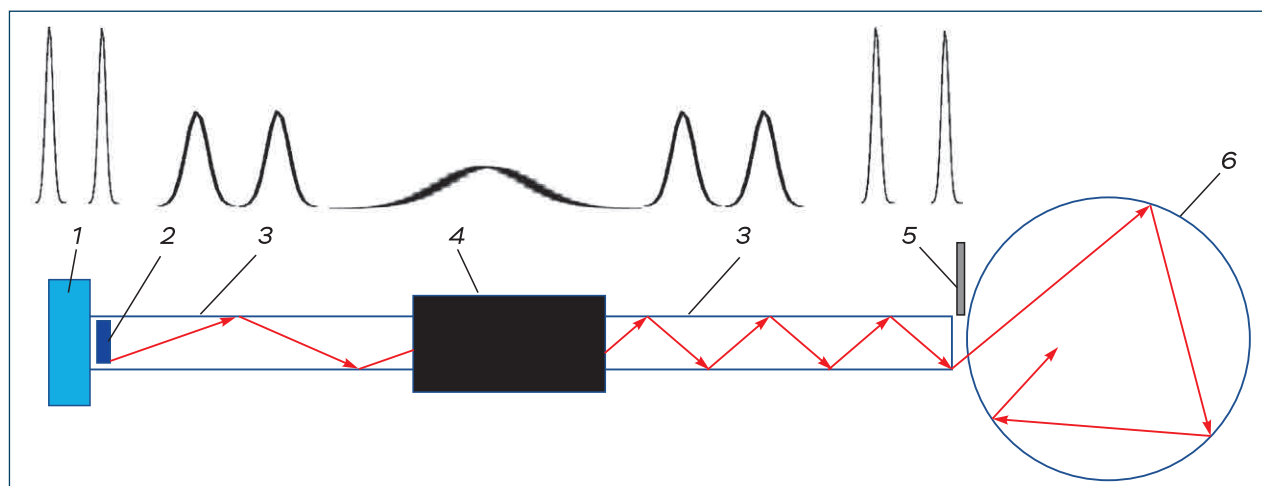


Рис. 25. Схематическое представление идеи источника УХН для импульсного источника с использованием временной фокусировки: 1 – замедлитель; 2 – конвертер УХН; 3 – зеркальный нейтроновод; 4 – фокусирующее устройство; 5 – быстрый затвор; 6 – ловушка УХН

Теоретически уже показано, что плотность УХН может быть значительно увеличена и приближена к величине, соответствующей пиковой мощности, а не средней мощности импульсного источника нейтронов. Разработка такого источника УХН на реакторе ИБР-2, который обеспечит беспрецедентную плотность УХН (фабрика УХН), будет основной задачей в этой области в рамках семилетки. Его создание позволит повысить точность измерения времени жизни нейтрона, проводить исследования на основе прецизионной спектроскопии гравитационных уровней нейтронов, улучшить ограничение на электрический дипольный момент нейтрона и др.



ОИЯИ обладает уникальной экспериментальной базой (импульсный реактор ИБР-2 и ускорительный комплекс DRIBs-III) для проведения фундаментальных и прикладных исследований в области физики конденсированного состояния вещества и в смежных областях (биология, медицина, материаловедение и т. д.), направленных на изучение структуры и свойств наносистем и новых материалов, биологических объектов и биотехнологий. В период, начиная с предыдущего Семилетнего плана, исследования конденсированных сред дополнились оптическими методами, в частности, на базе рамановского микроспектрометра КАРС.

Нейтронные и взаимодополняющие методы исследования

Нейтронные методы исследования вещества позволяют получать детальную информацию об атомной и магнитной структуре и динамике материалов на атомном и надатомном уровнях. В силу особенностей взаимодействия медленных нейтронов с веществом методы рассеяния нейтронов имеют высокую эффективность при определении положений легких атомов в окружении тяжелых, изучении распределения элементов с близкими атомными номерами, исследовании процессов изотопного замещения и магнитных структур. Для большей эффективности решения поставленных задач наряду с нейтронными методами будут использоваться взаимодополняющие методы рентгеновской дифракции, оптической, атомно-силовой спектроскопии и др.

Планируется проведение исследований функциональных материалов – мультиферроиков, сплавов с эффектами гигантской магнитострикции и памяти формы, низкоразмерных и геометрически фрустрированных магнетиков, проявляющих необычные магнитные состояния и свойства, материалов, перспективных для использования в компактных источниках электрического тока, магнитных слоистых наноструктур, демонстрирующих различные эффекты близости, например, сосуществование сверхпроводящего и магнитоупорядоченного состояния, органических функциональных материалов с водородными связями, сложных жидкостей и полимеров с широким спектром потенциальных технологических применений, структурная организация и свойства которых могут значительно изменяться при изменении концентрации и химического состава, биологических наносистем, включая липидные мембраны, белки и их комплексы, исследование которых позволяет понять биофизические процессы, протекающие в живых организмах, механизмы воздействия и переноса лекарств, причины возникновения различных заболеваний, биогибридных материалов, конструкционных материалов, широко применяемых или планируемых к использованию в различных отраслях промышленности и производственных процессах.

Ожидаемые результаты

1. Физика конденсированного состояния и науки о материалах:

– определение характеристик атомной и магнитной структуры и фазовых состояний различных функциональных материалов: интерметаллидов, магнитострикционных сплавов, сплавов с эффектом памяти формы, оксидов, низкоразмерных магнитных материалов;

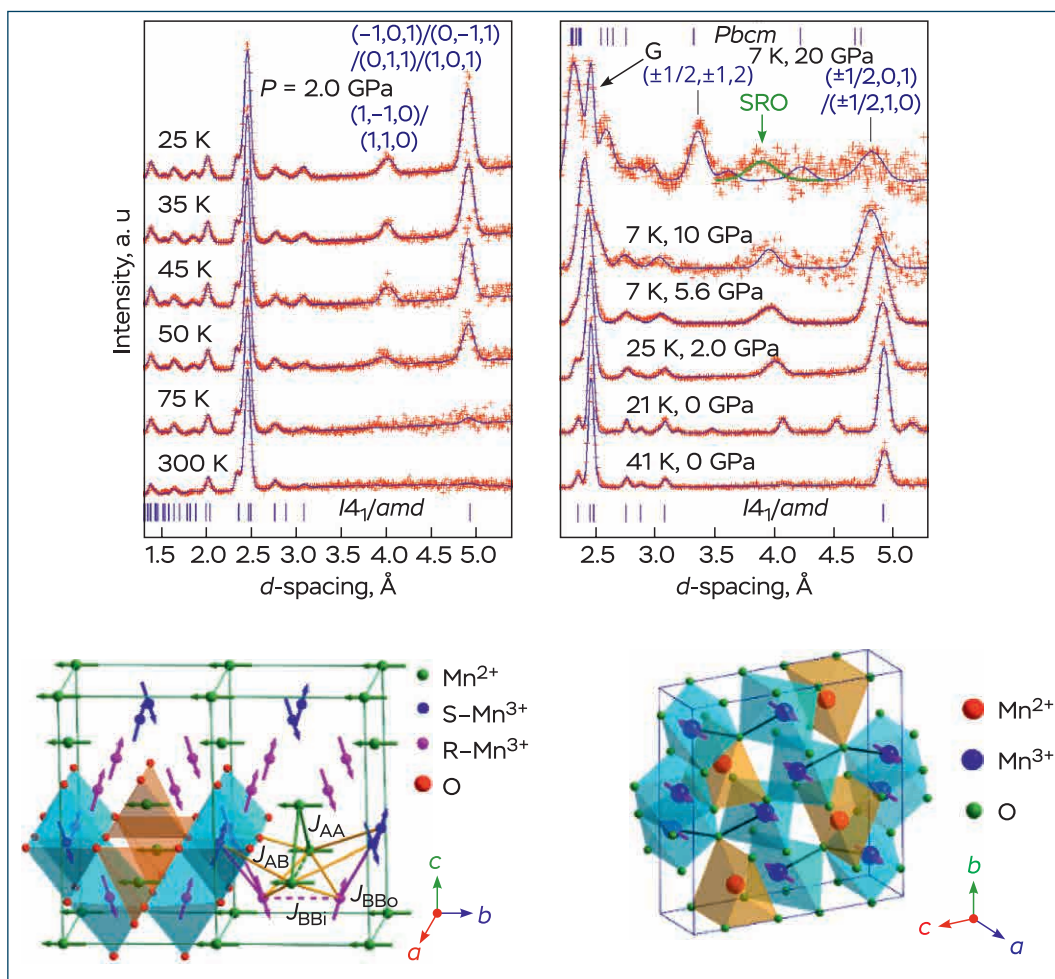


Рис. 26. Индуцированный давлением колоссальный рост температуры магнитного упорядочения в геометрически фрустрированном оксиде Mn_3O_4

– анализ структурных и микроструктурных состояний твердых электролитов и электродов для металл-ионных аккумуляторов, динамики функциональных материалов с молекулярными комплексами и ионных жидкостей;

– анализ эффектов кристаллического электрического поля (КЭП) и магнитной динамики в сильнокоррелированных электронных системах.

2. Физика наносистем и наноразмерных явлений:

– установление явлений и эффектов, связанных с сосуществованием магнетизма и сверхпроводимости в слоистых структурах на основе переходных и редкоземельных металлов и акти-нидных соединений;

– определение структурных характеристик углеродных наноматериалов, тонких пленок одностенных углеродных нанотрубок на подложках; исследование роли интерфейса нанотрубка-подложка.

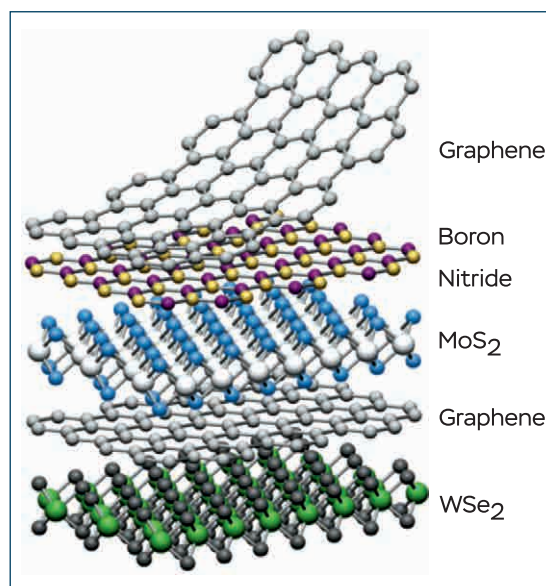


Рис. 27. Исследования графена и других двумерных атомных кристаллов

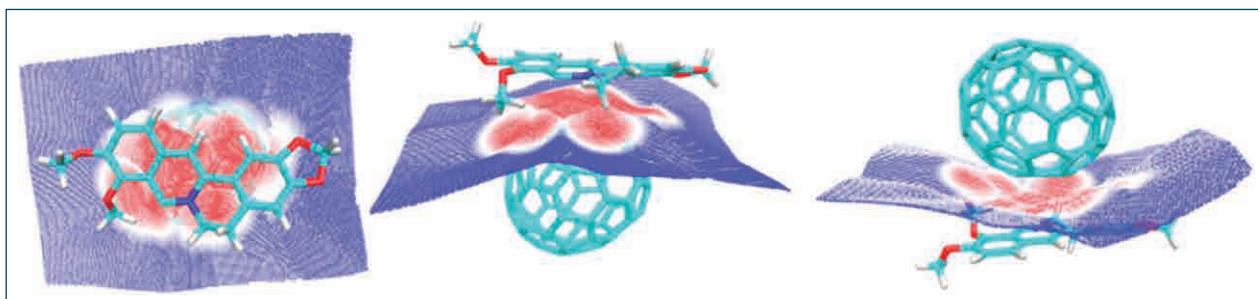


Рис. 28. Исследования биоактивности фуллеренов

3. Физика комплексных жидкостей и полимеров:

- комплексное исследование структуры и кинетики агрегации в растворах фуллеренов разной полярности;
- анализ структурных особенностей магнитных наносистем, включая коллоидные наносистемы и магнитные жидкости;
- определение структурных характеристик полимерных систем на подложках, мицелл ПАВ в объеме и на поверхности, комплексов ПАВ и мицелл;
- анализ структурной организации полимерных наноматериалов, стеклования полимеров и полимерных тонких пленок.

4. Биофизика и фармакология:

- анализ физико-биологических свойств липидных и нативных мембран, белковых взаимодействий, структуры и свойств белков и мембран-белковых комплексов, кристаллизации белков и биогибридных комплексов.

5. Прикладное материаловедение и инженерные науки:

- определение внутренних напряжений и микродеформаций, а также текстурный анализ в конструкционных материалах и объемных изделиях, геологических и биологических объектах;
- анализ внутреннего строения и построение 3D моделей объектов культурного и природного наследия, промышленных материалов и изделий по данным нейтронной томографии и радиографии, ядерная криминалистика и исследование доказательств.

Исследования конденсированных сред, основанные на рассеянии **синхротронного излучения**, будут проводиться на существующих в России и мире источниках, включая национальный центр синхротронного излучения Республики Польша **SOLARIS**. Основные направления исследований связаны с анализом кристаллической структуры биологических макромолекул и ее роли во взаимодействии амилоидных пептидов с клеточными мембранами нейронов.

Оптические методы исследований

Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния) является мощным аналитическим инструментом, базирующимся на неупругом рассеянии падающего на образец излучения и имеющим широкое применение в материаловедении, нанотехнологиях, экологии, криминалистике, науках о жизни и многом другом, где требуется неразрушающий структурный анализ и спектрально-селективная визуализация образцов.

В ЛНФ успешно функционирует мультимодальная оптическая платформа на базе лазерного, сканирующего, конфокального микроспектрометра КАРС, позволяющего проводить спектроскопию и микроскопию различных материалов (твердые тела, жидкости, порошки, биологические образцы и др.) на основе спонтанного комбинационного рассеяния (КР) света. Исследования в 2024–2030 гг. будут сосредоточены на ряде фундаментальных и прикладных задач с трендом в сторону наук о жизни.

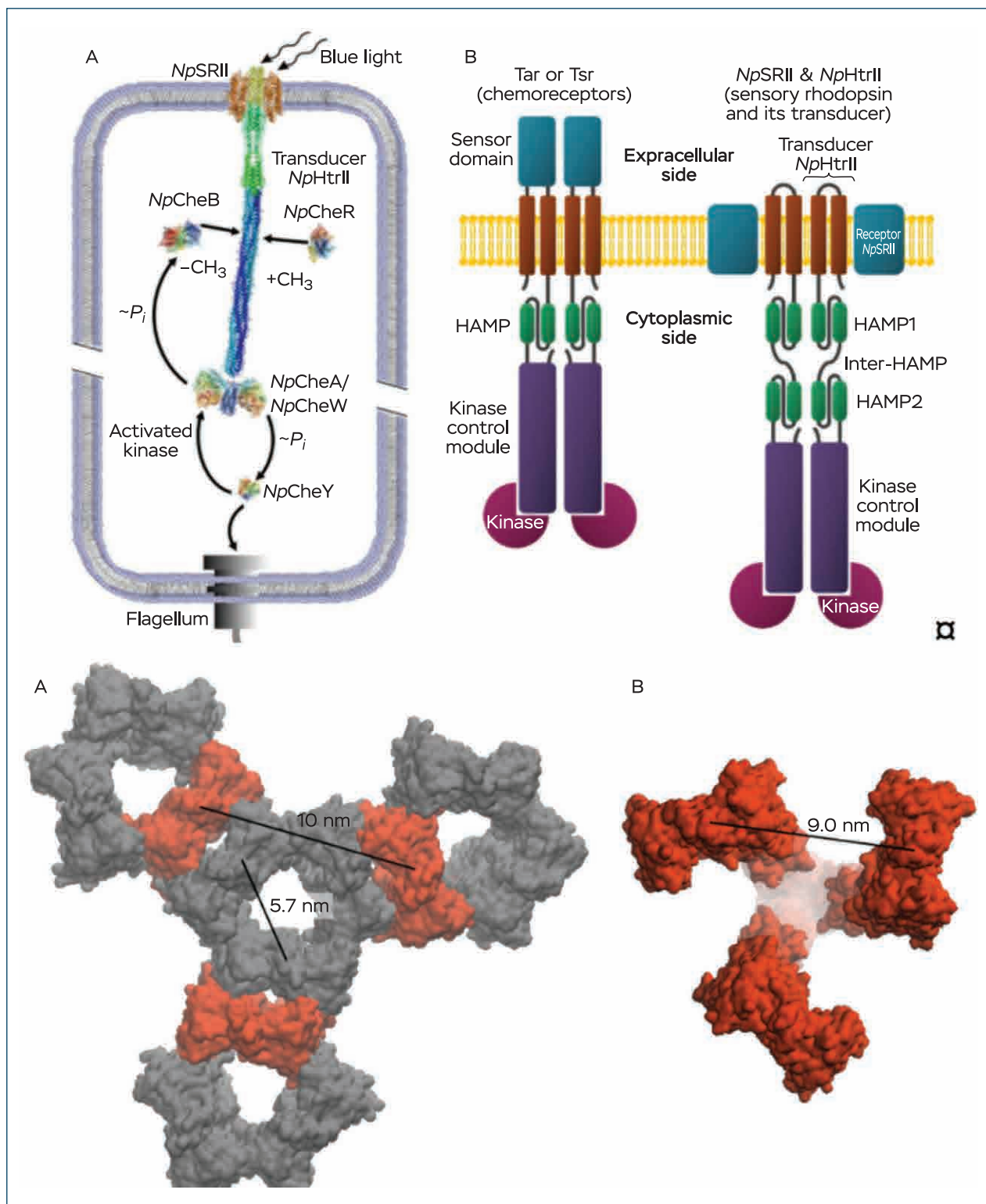


Рис. 29. Исследование структуры полноразмерного фоторецепторного комплекса сенсорного родопсина с его родственным трансдюсером из экстремофильной археи *Natronomonas pharaonis*. Вверху: схема сигнального каскада (A) в случае двухкомпонентной системы отрицательного фототаксиса *Natronomonas pharaonis* и схема доменной архитектуры (B) димера хеморецепторов (Tar и Tsr в комплексе с киназами) из *E.coli* (слева) и димера фотосенсорного комплекса сенсорного родопсина II с его родственным трансдюсером *NpHtrII* из *N. pharaonis* (справа). Внизу: трансмембранные домены комплекса *NpSRII/NpHtrII*: A – фрагмент гексагональной упаковки «O»-образных тримеров димеров; B – «tripod»-образный тример димеров

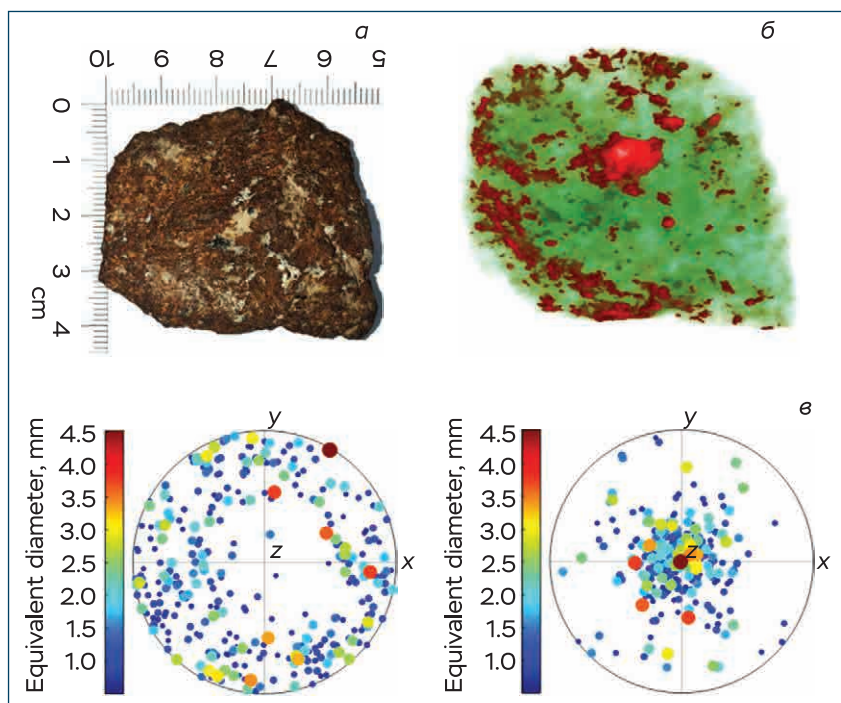


Рис. 30. Исследование внутреннего строения и фазового состава фрагмента метеорита-хондрита Куны-Ургенч, известного как «метеорит Туркменбаши», входящего в тройку крупнейших известных метеоритов в мире. Фотография (а) и восстановленная из данных нейтронной томографии трехмерная модель (б) фрагмента метеорита Куны-Ургенч. Металлические железоникелевые компоненты помечены красным цветом. Также представлены полюсные фигуры ориентации главных осей инерции частиц камасита FeNi метеорита Куны-Ургенч (в). Размер символов пропорционален эквивалентному диаметру металлических частиц

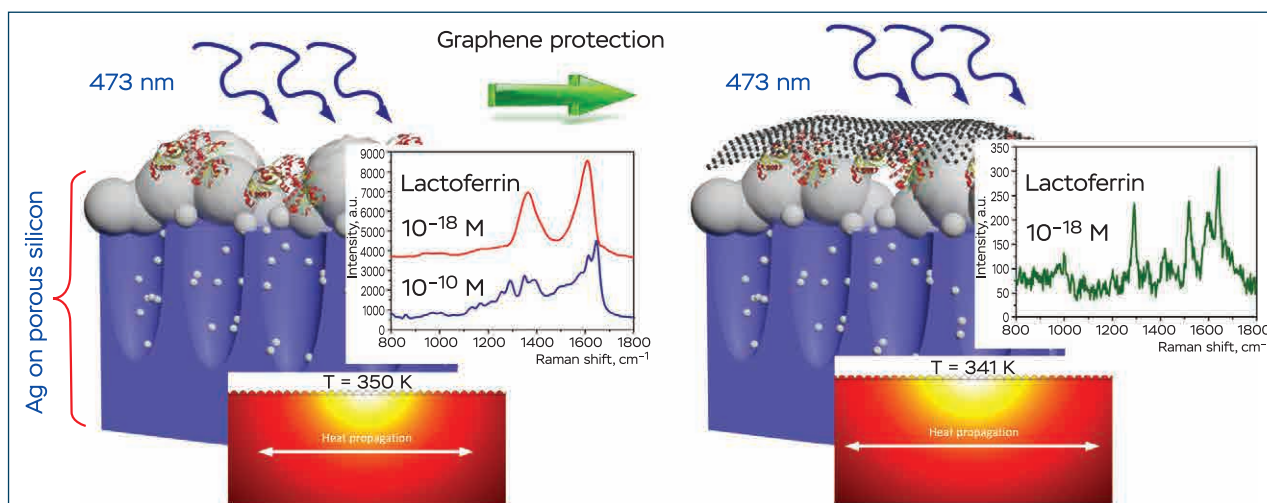


Рис. 31. Биосенсорика: ультравысокочувствительное обнаружение молекул

Ожидаемые результаты

1. Науки о жизни:

- биосенсорика: разработка новых эффективных плазмонных подложек для высокочувствительной ГКР спектроскопии;
- липид-белковые взаимодействия: выявление спектральных/конформационных изменений во вторичной структуре пептидов, внедренных в мембранные миметики;
- оптические исследования и флуоресцентная спектроскопия программируемой клеточной гибели – нетоза.

2. Усиленная рамановская микроспектроскопия:

- применение КАРС и ГКР спектроскопии для изучения двумерных материалов и ван-дер-ваальсовых гетероструктур: перспективы их использования в сенсорах и оптоэлектронике.



Источники излучения, и прежде всего пучки тяжелых ионов различных энергий, получаемые на базовых установках ОИЯИ, будут использоваться для проведения фундаментальных исследований в области радиобиологии, астробиологии, нейрофизиологии, молекулярной биологии и генетики, а также для прикладных исследований для радиационной медицины и оценок радиационных рисков на Земле и в космосе.

Планируемые радиобиологические эксперименты на ядерно-физических установках Института будут вестись по следующим основным направлениям исследований.

Молекулярная радиобиология

Исследования закономерностей формирования и репарации кластерных повреждений ДНК при действии излучений разного качества на нормальные и опухолевые клетки млекопитающих и человека.

Радиационная генетика

Исследования закономерностей и механизмов формирования генных, структурных и комплексных мутаций в клетках млекопитающих и человека при действии излучений с разными характеристиками.

Радиационная физиология

Исследования нарушений поведенческих реакций и патоморфологических изменений в различных структурах мозга, критических органах и системах облученных животных в нормальных условиях и при действии радиопротекторов.

Нейрорадиобиология

Исследования механизмов нейродегенерации при действии ионизирующих излучений разного качества.

Медицинская радиобиология

Разработка новых подходов к повышению биологической эффективности радиационной терапии опухолей и методов адресной доставки радиофармпрепаратов.

Математическое моделирование

Разработка иерархии математических моделей для описания радиационно-индуцированных эффектов на разных уровнях биологической организации и временных масштабах.

Радиационные исследования

Модернизация и разработка новых облучательных установок для радиобиологических экспериментов. Оценка радиационных рисков на базовых установках Института и в космических аппаратах. В особенности на комплексе NICA будут продолжены работы по прогнозированию радиационной обстановки на объекте и в окружающей среде, оценке уровней наведенной активности оборудования, оценке дозовой нагрузки персонала и организации мероприятий по радиационной безопасности, созданию систем радиационного контроля.

Астробиология

Исследования путей синтеза пребиотических соединений при действии радиации, поиск микрофоссилий и органических соединений в метеоритах.

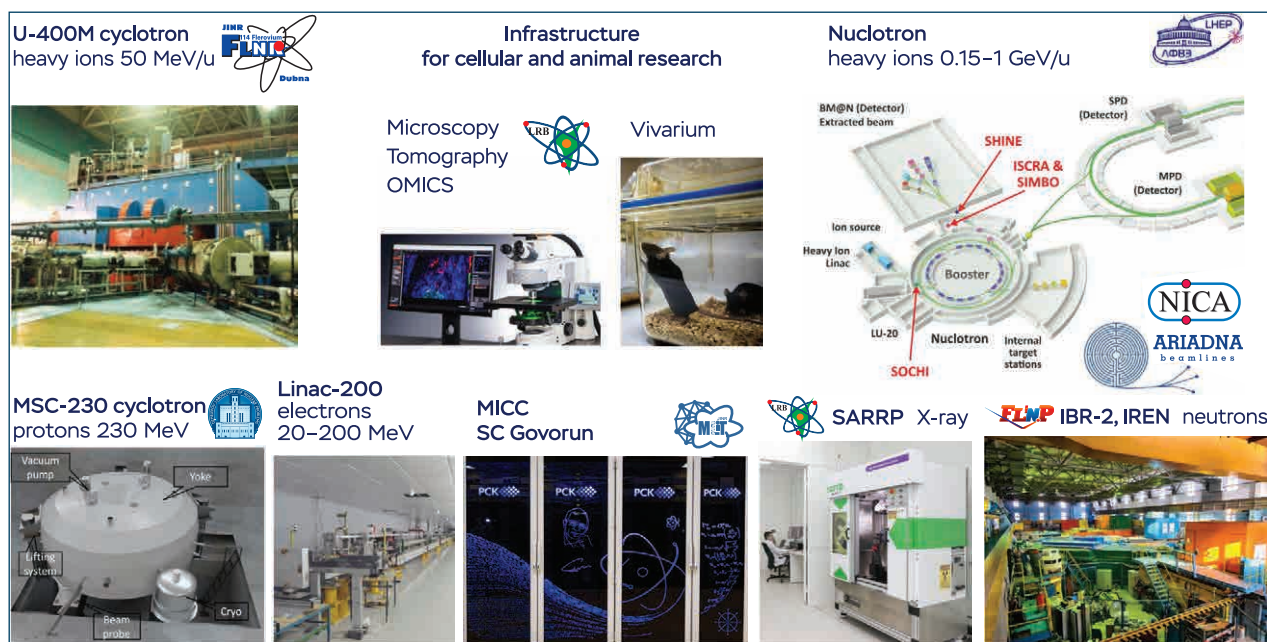


Рис. 32. Инфраструктурные объекты ОИЯИ для проведения фундаментальных исследований в области радиобиологии, астробиологии, нейрофизиологии, молекулярной биологии и генетики, а также прикладных исследований для радиационной медицины и оценок радиационных рисков на Земле и в космосе

Ожидаемые результаты

1. Установление интегративных взаимосвязей радиационно-индуцированных эффектов на разных уровнях биологической организации: молекулярном, клеточном, тканевом и организменном при действии излучений с разными характеристиками.
2. Выявление механизмов воздействия ионизирующих излучений разного качества на высшие интегративные функции центральной нервной системы и развитие нейродегенеративных заболеваний.
3. Оценка радиационных рисков для различных сценариев пилотируемых космических полетов и смешанных радиационных полей ядерно-физических установок.
4. Разработка новых методов повышения эффективности лучевой и радионуклидной терапии злокачественных новообразований.
5. Разработка новых математических моделей и вычислительных подходов для радиобиологии, биоинформатики и радиационной медицины.
6. Выявление механизмов и путей каталитического синтеза пребиотических соединений при действии радиации.
7. Разработка новых протоколов исследований в радиобиологии, включая омикс-технологии, биовизуализацию сверхвысокого разрешения, новые облучательные установки, автоматизированную обработку биологических данных на основе технологий искусственного интеллекта.

Оборудование и развитие инфраструктуры

Залогом успешной реализации международной программы радиобиологических и астробиологических исследований является возможность проведения экспериментов на ядерно-физических установках ОИЯИ: на пучках тяжелых ионов в ЛФВЭ (комплекс ARIADNA@NICA, станция SIMBO) и ЛЯР (У-400М, установка «Геном-М»), на пучках протонов на MSC-230 и на ускорителе электронов Линак-200 в ЛЯП, на пучках нейтронов в ЛНФ (ИБР-2, ИРЕН, ЭГ-5). Потребность в машинном времени составляет до 100 часов в год на каждый ускоритель.

тель. Также необходимы ресурсы вычислительного комплекса ЛИТ для проведения расчетов (CPU + GPU), хранения и автоматизированной обработки биологических данных (объем хранилища до 1 ПБ).

Поэтапное, по мере расширения международной программы исследований и ее ресурсного наполнения со стороны коллабораций, развитие инфраструктуры для биологических исследований в ЛРБ предусматривает следующие составляющие:

1) ввод в эксплуатацию оборудования для молекулярных и клеточных омикс-исследований (масс-спектрометры, высокопроизводительный секвенатор, проточный цитофлуориметр-сортировщик, лазерный конфокальный сканирующий микроскоп и др.);

2) модернизацию вивария, проектирование и ввод в эксплуатацию оборудования для томографии животных (оптической, ФМРТ, ОФЭКТ/ПЭТ);

3) проектирование, строительство и лицензирование радиохимических блоков для исследований на клеточных культурах и лабораторных животных;

4) проектирование, создание и ввод в эксплуатацию микропучка, компактных источников ионизирующих излучений для прецизионного облучения клеток и животных;

5) проектирование, строительство и установку симулятора для моделирования сложных радиационных полей, приобретение спектрометров и дозиметрического оборудования.



Исследования по теоретической физике, проводимые в ЛТФ им. Н. Н. Боголюбова, имеют междисциплинарный характер, их отличает глубокая интеграция в международные проекты с участием ученых из основных мировых исследовательских центров и тесная координация с экспериментальными программами на базовых установках ОИЯИ.

Квантовая теория поля и физика элементарных частиц

В теоретических исследованиях по физике элементарных частиц будет продолжено активное участие в разработке и развитии физических программ базовых установок ОИЯИ, в первую очередь проектов NICA/MPD и NICA/SPD, а также в международных экспериментальных коллаборациях с участием Института. В центре внимания будут феноменология Стандартной модели, включая детальное изучение свойств бозона Хиггса, и поиск новых физических явлений за пределами Стандартной модели. Будут проводиться многопетлевые расчеты в рамках Стандартной модели и за ее пределами, как в приложении к наблюдаемым, так и для дальнейшего прояснения структуры квантово-полевой теории возмущений. В области физики нейтрино будет уделено особое внимание детальному исследованию взаимодействий с нуклонами, критически важному для поддержки экспериментов, в частности и в особенности эксперимента Baikal. В исследованиях структуры адронов и спиновой физики будут развиваться и использоваться методы факторизации и проводиться расчеты для конкретных условий экспериментов, в частности, NICA/SPD. Фазовые переходы в горячей и плотной адронной материи будут исследоваться с использованием решеточных расчетов, кинетических и гидродинамических моделей, а также теоретических методов, опирающихся на свойства квантовых аномалий. Физика тяжелых ароматов и адронная спектроскопия будут развиваться с использованием как квантово-полевых методов, так и разработанных в ОИЯИ моделей. Будут продолжены рекордные прецизионные расчеты в области атомной спектроскопии. Особое внимание будет уделено изучению астрофизических аспектов физики элементарных частиц с использованием современных наблюдательных данных, в частности, проблеме темной материи.

Теория атомного ядра

Исследования в области ядерной физики низких энергий будут сосредоточены на изучении экзотических ядер в областях сверхтяжелых элементов и легких ядерных систем на границах стабильности и за их пределами, актуальных для экспериментальных исследований на Фабрике сверхтяжелых элементов в ЛЯР ОИЯИ и в других мировых исследовательских центрах. Ядерная динамика слияния и деления будет рассматриваться с учетом кластерных степеней свободы. Планируется установление связи между микроскопическими самосогласованными и феноменологическими моделями ядра. Будет изучаться применение функционалов плотности энергии для описания ядерно-ядерных взаимодействий, двойного γ - и β /ЕС-распада тяжелых ядер. Будут разрабатываться модели для прогнозирования скоростей различных ядерных реакций в астрофизических целях. Ядерные реакции в звездной среде будут изучаться методами теории нескольких тел и теории открытых квантовых

систем. Будут проанализированы механизмы передачи нуклонов, кластеров между ядрами и распада одного ядра в поле другого. Будут развиты строгие методы теории нескольких тел для изучения различных квантовых систем, в том числе столкновения ультрахолодных атомов в ограниченной геометрии лазерных ловушек. Будет произведен должный учет нелинейных эффектов в $\gamma\gamma$ -взаимодействиях для анализа данных в экспериментах DESY. Исследования высокоэнергетических столкновений тяжелых ионов будут проводиться в тесной связи с предстоящими экспериментами на NICA/MPD. Цветовые степени свободы будут рассматриваться с помощью модели, разработанной для учета влияния модифицированного средой кварк-адронного взаимодействия. Рассеяние электрона на тринуклоне будет изучаться для анализа нуклон-нуклонных взаимодействий.

Теория конденсированных сред

Важнейшими направлениями фундаментальных исследований будут теоретическое изучение физических явлений и процессов в конденсированных средах, исследование свойств новых перспективных материалов, построение и анализ теоретических моделей и развитие аналитических и вычислительных методов для их решения. Предполагается изучение сложных материалов, таких как высокотемпературные сверхпроводники, магнитные материалы, умные композитные материалы, фрактальных и слоистых структур, анализ широкого класса систем с сильными электронными корреляциями. Теоретические исследования в этой области будут направлены на поддержку экспериментального изучения таких материалов, проводимого в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ. Планируется проведение исследований в области физики наноструктур и наноматериалов, в том числе с использованием программных пакетов для моделирования физико-химических процессов и анализа физических характеристик. Это касается прежде всего современных двумерных материалов, таких как графен, дихалькогениды переходных металлов и т. п., с учетом их модификации и химической функционализации для последующего применения при проектировании новых устройств для наноэлектроники, спинтроники и т. п. Частично данные исследования ориентированы на эксперименты, проводимые в Центре прикладной физики ЛЯР ОИЯИ, Институте физики полупроводников СО РАН и ряде других лабораторий стран-участниц ОИЯИ. Будут детально исследованы физические свойства стеков джозефсоновских контактов и различные джозефсоновские наноструктуры. Большое внимание будет уделено анализу как решетчатых, так и полевых моделей равновесных и неравновесных систем статистической механики. Концепции скейлинга и универсальности позволяют выйти за рамки чисто модельного подхода и применить полученные результаты к широким классам явлений, изучаемым в физике конденсированных сред. Предполагается изучение широкого спектра универсальных явлений в сложных системах – фазовых переходов в конденсированных средах и физике высоких энергий, скейлинга в (магнито)гидродинамической турбулентности, химических реакциях, перколяции и др. методами квантовой теории поля, включая функциональную ренормализационную группу.

Современная математическая физика

Основной задачей исследований в современной математической физике является разработка математических методов решения важнейших проблем современной теоретической физики, а именно: развитие новых математических методов исследования и описания широкого класса классических и квантовых интегрируемых систем и их точных решений; анализ и поиск решений широкого круга проблем суперсимметричных теорий, включая модели

струн и других протяженных объектов; изучение непертурбативных режимов в суперсимметричных калибровочных теориях; развитие космологических моделей ранней Вселенной, гравитационных волн и черных дыр. Математическая физика в настоящее время характеризуется возрастающим интересом к выявлению и эффективному использованию свойств интегрируемости в различных ее областях, применению мощных математических методов квантовых групп, суперсимметрии и некоммутативной геометрии как в квантовых теориях фундаментальных взаимодействий, так и в классических моделях. При решении актуальных задач решающим фактором будет использование этих методов.

Научно-образовательный проект «Дубненская международная школа современной теоретической физики» (DIAS-TH)

Общая задача постоянно действующего проекта «Дубненская международная школа современной теоретической физики» (DIAS-TH) будет заключаться в развитии научно-образовательных программ ОИЯИ. Уникальная черта DIAS-TH состоит в глубокой интеграции этого проекта в научную жизнь ЛТФ, что обеспечит регулярное и естественное участие ведущих ученых в учебно-образовательной работе, а также органичное включение проходящих молодых научных кадров в научную работу. Важным условием успешной работы проекта будет развитие сотрудничества с международными и российскими фондами и государственными организациями.

Финансовое обеспечение работы по статьям «МНТС» и «Оборудование» суммарно планируется на уровне 5 млн долл. США.



ОИЯИ обладает уникальным Многофункциональным информационно-вычислительным комплексом, являющимся ключевым звеном сетевой и информационно-вычислительной инфраструктуры ОИЯИ и играющим определяющую роль в научных исследованиях, для проведения которых требуются современные вычислительные мощности и системы хранения. Другим важным направлением деятельности является обеспечение математической, алгоритмической и программной поддержки экспериментальных и теоретических исследований, проводимых в ОИЯИ.

Математическая поддержка исследований, проводимых в ОИЯИ

Целью данного направления являются моделирование физических процессов, создание алгоритмов и программных комплексов для обработки и анализа экспериментальных данных, разработка алгоритмов в области машинного и глубокого обучения, искусственного интеллекта и когнитивной интеллектуальной робототехники, систем квантового интеллектуального управления, развитие методов компьютерной алгебры и квантовых вычислений, а также аналитики Больших данных.

Ожидаемые результаты

1. Развитие информационно-вычислительных систем для анализа и обработки экспериментальных данных в области радиобиологии.
2. Развитие алгоритмов на основе рекуррентных и сверточных нейронных сетей для задач машинного и глубокого обучения и аналитики Больших данных, предназначенных в первую очередь для решения различных задач в экспериментах по физике частиц, в том числе для мегапроекта NICA и нейтринных экспериментов.
3. Создание современных инструментов исследований для международных коллабораций (NICA, нейтринная программа ОИЯИ, эксперименты на LHC).
4. Развитие новых численных и вычислительных моделей, включая квантовые вычисления, для теоретических исследований, проводимых в ОИЯИ.
5. Разработка алгоритмов интеллектуально-го управления физическими экспериментальными установками ОИЯИ на основе квантового подхода.
6. Разработка на базе платформы аналитики Больших данных системы для анализа и защиты данных компьютерной сети ОИЯИ в режиме реального времени на основе сетевого трафика.
7. Развитие алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта для оптимизации функционирования и интеллектуального мониторинга распределенных вычислительных систем.



Рис. 33. Направления развития в рамках математической поддержки исследований, проводимых в ОИЯИ

8. Создание аналитической системы нового поколения на основе эффективных методов и алгоритмов формализации, извлечения знаний и обработки Больших данных.

9. Разработка интеллектуальных информационных систем для научных исследований и приложений.

10. Развитие квантовых IT-технологий обработки данных с доступом к NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) компьютерам/квантовым компьютерам с надежной защитой от ошибок.

11. Разработка масштабируемых алгоритмов и программного обеспечения для обработки многопараметрических, многомерных, иерархических наборов данных эксабайтного объема.

Цифровая экосистема ОИЯИ

Одной из наиболее важных задач Семилетнего плана является создание общеинститутской цифровой платформы «Цифровая экосистема ОИЯИ». Основной целью является организация цифрового пространства с единым доступом и обменом данными между электронными системами, а также автоматизация действий, требовавших ранее личного или письменного обращения. Платформа должна обеспечить интеграцию существующих и перспективных сервисов поддержки научной, административной и социальной деятельности, а также сопровождение инженерной и IT-инфраструктур Института.

Пользователь получит возможность единой точки входа в цифровую среду ОИЯИ, через которую будет осуществляться доступ к масштабной сети разнообразных сервисов. Интерфейс «Цифровой экосистемы» будет представлять собой «витрину» цифровых сервисов и ресурсов с возможностью осуществления определенного набора действий (например, управления учетными записями) либо перехода на полнофункциональную версию сервиса. Примерами сервисов являются ресурсы для пользователей базовых установок, библиотечные сервисы, серверы документов, вычислительные ресурсы МИВК, административные сервисы 1С (финансы, кадры, электронный документооборот) и т. д.

В рамках создаваемой платформы зарегистрированные пользователи (имеющие учетную запись ОИЯИ – Single Sign-On, SSO) смогут оформлять и согласовывать различные документы в электронном виде, а также регистрироваться и использовать научные и административные сервисы без заполнения бумажных форм и личного посещения ответственных за них сотрудников. В личном кабинете сотрудника будет доступна система оповещений от различных сервисов (например, о документах, ожидающих подписания). Уровень доступа к сервисам будет зависеть от должности сотрудника и выполняемых им функциональных обязанностей. Для администраторов сервисов будет организован удобный интерфейс, позволяющий оперативно обновлять информацию. Часть ресурсов станет доступна и для незарегистрированных пользователей: телефонный справочник, информация по диссертационным советам, научное программное обеспечение, карта ОИЯИ.

В рамках цифровой платформы будет развиваться геоинформационная система ОИЯИ, включающая интерактивную карту, информацию по зданиям и прочим объектам ОИЯИ (планы зданий, инженерные и прочие сети, размещение персонала, учет и анализ использования помещений с учетом класса, типа и предназначения) и т. д. Геоинформационная система позволит осуществлять быстрый и удобный поиск информации как по зданиям, так и по сотрудникам ОИЯИ. Предполагается использование технологии мобильных роботов и элементов квантового управления для решения задач автоматической экспликации помещений (построения планов зданий) и локализации объектов на карте.

Платформа должна предоставлять надежный и безопасный доступ к данным различного типа, возникающим в процессе работы Института, – от открытых до конфиденциальных.

Выборка данных из ключевых сервисов будет помещаться в хранилище для дальнейшего совместного анализа с использованием технологий Больших данных и искусственного интеллекта. На основе таких данных, как сведения о публикациях сотрудников, финансовая информация, использование вычислительных ресурсов, будет возможен автоматизированный мониторинг показателей функционирования как отдельных проектов, так и Института в целом.



Рис. 34. Цифровая экосистема ОИЯИ

Ожидаемые результаты

Создание платформы «Цифровая экосистема ОИЯИ».

В рамках цифровизации административной деятельности ОИЯИ главной задачей профильных служб Института является создание общеинститутской информационной инфраструктуры для эффективной работы административно-управленческих процессов. Будут развиты информационные сервисы, направленные на цифровую трансформацию административной деятельности Института, а также созданы платформы для объединения цифровых сервисов, связанных с административными процессами. Ключевым проектом в среднесрочной перспективе является проект по внедрению комплексной информационной системы 1С:ERP. Созданная информационная инфраструктура для административно-управленческих процессов будет интегрирована в цифровую платформу «Цифровая экосистема ОИЯИ».



Амбициозная и в определенном плане укрепившая ОИЯИ на мировом научном ландшафте научная программа в области физики высоких энергий, ядерной физики и физики конденсированного состояния вещества, реализуемая международными коллаборациями в Дубне, базируется на фундаменте из развиваемых в Институте уникальных экспериментальных и ускорительных установок. ОИЯИ обладает современным парком базовых установок – источников ионизирующего излучения (ускорителей заряженных частиц, источников заряженных частиц, источников вторичного излучения, каналов транспортировки, уникальных стендов). К ним относятся ускорительный комплекс NICA в ЛФВЭ, многофункциональный комплекс циклических ускорителей в ЛЯР, линейный ускоритель электронов ЛУЭ-200 и электростатический генератор ЭГ-5 в ЛНФ, линейный ускоритель электронов Линак-200(800) в ЛЯП. Фактически, при поддержке стран-участниц, в Дубне у международных коллабораций и пользователей есть возможность работать со всем спектром частиц (гамма, электроны, протоны, ионы, нейтроны, поляризованные протоны и дейтроны) различной интенсивности в диапазоне энергий в 6 порядков (от килоэлектронвольт до гигаэлектронвольт).



Рис. 35. Наладочные работы на ускорителе Линак-200

Медицинский сверхпроводящий циклотрон МСЦ-230 – изохронный компактный циклотрон весом 130 т, высотой 1,7 м и диаметром 4 м – рассчитан на работу в непрерывном и импульсном режимах с максимальной энергией протонного пучка 230 МэВ и максимальным током до 10 мкА. Характеристики циклотрона позволят проводить различные эксперименты в области протонной терапии, в том числе по изучению флэш-эффекта.

МСЦ-230 предназначен для:

- проведения протонной лучевой терапии и медико-биологических исследований;
- изучения особенностей формирования, ускорения и доставки к зоне облучения высокоинтенсивных пучков ускоренных протонов;
- разработки и исследований методик флэш-терапии;
- подготовки и повышения квалификации специалистов в области радиационной биологии и медицины;
- подготовки серийного производства и внедрения в клиническую практику новейшего технологического оборудования для протонной терапии онкологических заболеваний.

Магнит циклотрона состоит из сверхпроводящих катушек и «теплого» ярма, обеспечивающего магнитное поле в центре 1,7 Тл. В качестве основы для изготовления сверхпроводящих катушек выбрана технология с использованием трубчатого композитного сверхпроводящего кабеля, предложенная в Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина (ЛФВЭ) и хорошо зарекомендовавшая себя в магнитах синхротрона Ну-клотрон. Сверхпроводящие обмотки помещены в криостат, все остальные части циклотрона «теплые». Ускорение осуществляется на четвертой кратности частоты ускоряющей высокочастотной системы, состоящей из четырех резонаторов, расположенных в долинах циклотрона. В ускорителе будет использован внутренний источник типа Пеннинга с горячим катодом. Вывод осуществляется при помощи электростатического дефлектора, расположенного в зазоре между секторами, и двух пассивных магнитных каналов.



Рис. 36. Модель циклотрона

Запуск циклотрона намечен на конец 2024 г.

ОИЯИ добился мирового признания своими новаторскими разработками в области физики пучков и ускорителей заряженных частиц, а также соответствующими научными школами мирового уровня. Ученые и инженеры из ОИЯИ являются активными участниками и полноценными соавторами проектов самых современных международных ускорительных комплек-

сов: LHC, XFEL, FAIR, RHIC, GANIL, INFN, J-PARC, ILC, CLIC, IMP CAS, HIAF и др. Очевидно, что без проактивного развития передовых ускорительных НИРиОКР, без проработки новых амбициозных ускорительных проектов едва ли можно будет говорить об уверенной видимости и значимости Института и его научной программы в 2030–2040-е гг. Поэтому исследования в области физики пучков и ускорителей заряженных частиц в период 2024–2030 гг. будут сосредоточены на поддержке НИРиОКР в следующих областях:

- высокозарядные интенсивные ионные источники для генерации пучков тяжелых ионов с зарядовым состоянием ($Z > 40+$): сверхпроводящие электронно-лучевые (ESIS) и ECR-источники (с частотой 28 и 45 ГГц), ионные источники, основанные на генерации высокозарядных ионов в плазме, создаваемой импульсами лазерного излучения;

- сверхпроводящие магнитные технологии: сильнополевые магниты с полями до 14–20 Тл, быстроциклирующие сильнополевые магниты ($B > 4$ Тл, $\text{гапр} > 4$ Тл/с), высокоточные кабели и обмотки (критическая плотность тока > 30 кА) на базе сверхпроводящих материалов, в том числе высокотемпературных;

- исследования в области высокотемпературной сверхпроводимости, развитие технологий дубненского сверхпроводящего кабеля для нового поколения компактных циклических машин и соленоидальных магнитов;

- эффективные быстрые системы охлаждения интенсивных адронных пучков (~ 10 – 100 мс);

- сверхпроводящие резонаторы (RFQ и DTL) и криомодули СВЧ-структур для ускорения сильноточных протонных и ионных пучков, в том числе работающих в режиме малой скважности и квазинепрерывном режиме при предельно низких начальных скоростях частиц;

- моделирование и научно-исследовательские работы в области ускорителей на встречных пучках: передовые решения в области оптических структур, эффекты встречи, разработка фокусирующих элементов с предельными параметрами и оптимальной геометрией полей, разработка фокусирующих устройств на постоянных магнитах, устойчивых к радиационным нагрузкам;

- вопросы реализации будущих коллайдеров (FCC, ILC, CPCC и др.), высокоточные лазерные метрологические системы и системы обратной связи для участка встречи;

- разработка систем ВЧ-питания на основе твердотельных усилителей мощности и мощных клистронов;

- технологии быстроциклирующих синхротронов для ускорения и накопления интенсивных пучков тяжелых ионов: сверхвысокий вакуум, коллимация потерь, ВЧ-системы, эффективная обдирка в мишенях и др.;

- развитие ускорительной техники и специального оборудования для прикладных исследований на выведенных ионных пучках комплексов ЛФВЭ, ЛЯР, ЛНФ и ЛЯП;

- научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки в области пучковой терапии: технология флэш, карандашный пучок, изучение перспектив и разработка технологий для использования пучков легких ионов, нейтронов и электронов;

- методы глубокого машинного обучения для оптимизации работы и синхронизации систем сложных ускорительных комплексов, для систем контроля и диагностики пучков;

- развитие методов моделирования (в том числе с использованием методов искусственного интеллекта) динамики пучка с учетом «реального» распределения ускоряющих и фокусирующих электромагнитных полей в ускорительных структурах и с учетом онлайн-параметров пучка (эмиттанса, интенсивности, зарядового состава и т. д.).

Прогресс в каждом из этих направлений будет во многом зависеть от конструктивной координации приоритетов и ресурсов для реализации перечисленных выше задач, работы по которым будут проводиться в тесном сотрудничестве с исследовательскими группами

и специалистами из всех лабораторий ОИЯИ и стран-участниц, в том числе в рамках специальной общеинститутской темы на период 2024–2030 гг.

В настоящее время в ОИЯИ в стадии подготовки к запуску амбициозный ионный коллайдер NICA. В стадии проработки концепции (feasibility studies) находится проект фабрики интенсивных радиоактивных пучков. Исследовательские накопители на низкую энергию имеют стоимость существенно ниже больших ускорительных комплексов, но могут значительно расширить возможности многих ядерных центров. Развитие нового направления ион-электронных коллайдеров позволит получить более точные и достоверные данные о структуре ядра и процессах в них для широкого спектра различных изотопов, для которых обычные физические методы слабо применимы в силу их малого количества и малого времени жизни. Сверхвысокий вакуум, прецизионные системы обратных связей, высокие требования на точность изготовления спектрометрических ускорителей, характерные для таких проектов, требуют освоения самых передовых технологий на практике. Они могут служить базой для развития самых передовых технологий и для обучения нового поколения физиков.



Инженерно-техническая инфраструктура ОИЯИ – совокупность инженерных сетей, объектов капитального строительства (зданий, сооружений), промышленных, ядерно-физических установок, оборудования, технических устройств и иных объектов, обеспечивающих производственную и научно-техническую деятельность Института в соответствии с Уставом.

Инженерные сети Института, состоящие из специализированных и взаимодействующих технических систем, обеспечивают подачу и использование ресурсов (вода, тепловая и электрическая энергия, информация и другие коммуникации) на объектах потребления и в случае необходимости отведение использованных ресурсов.

Энергетика

Электроснабжение

Основным вопросом развития системы электроснабжения ОИЯИ является реконструкция с целью повышения надежности и питающих мощностей подстанций на 110кВ/6кВ и 110кВ/10кВ, ГПП-1 и ГПП-2 соответственно.

В предыдущий период проведена работа, в результате которой ОИЯИ получил дополнительные мощности:

1-й этап – получение 7 МВт в 2011 г.;

2-й этап – получение 28 МВт после проведения реконструкции ГПП-1 и ГПП-2 ОИЯИ, а также ПС 220 кВ «Темпы» в 2021–2023 гг.

В рамках реконструкции помимо увеличения мощности произведена замена оборудования на новое – трансформаторов 110 кВ мощностью 40 МВт, оборудования 110 кВ и новых секций шин 6 кВ. В результате реконструкции ГПП-1 в два раза увеличилась мощность подстанции, что позволило полностью обеспечить потребности мегапроекта NICA и оборудования на площадке ЛФВЭ в целом.

В результате реконструкции ГПП-2 будут введены в работу по постоянной схеме 3-й и 4-й силовые трансформаторы, что даст возможность для выделения в отдельную группу всех объектов ОИЯИ, получающих питание непосредственно с самой подстанции, в том числе таких ответственных базовых установок, как импульсный ядерный реактор ИБР-2, циклотроны У-400 и У-400М, компьютерная сеть Института и его вычислительные кластеры. Это позволит значительно сократить количество аварийных отключений установок, которые происходят в результате нарушений и отключений, случающихся в электросетях города.

Разработана проектная документация на резервное электроснабжение канализационно-насосных станций ОГЭ ОИЯИ от автономных генераторных установок.

Выполнено проектирование резервного электроснабжения наиболее важных потребителей: ЛЯП, ЛИТ, ЛНФ, Центральной котельной и насосно-фильтровальной станции ОГЭ от ГЭС-191 канала им. Москвы через ЦРП-12 городской сети на общую мощность 4 МВт. Реализация запланирована на период 2023–2026 гг.

Не менее важным является обеспечение резервного электроснабжения путем установки автономных генераторов на критических для Института объектах. Требуется обеспечение автономным питанием телефонной станции, системы физической защиты объекта.

Теплоснабжение

К настоящему времени выполнен значительный объем работ по замене изношенных тепловых сетей на площадках Института с применением новых технологий теплоизоляции, по

реконструкции Восточной и Центральной котельных, по организации коммерческого учета тепловой энергии. Все это позволило сократить энергозатраты в системах обеспечения теплом и горячей водой, а также повысить их надежность.

В дальнейшем работы по реконструкции котельных и теплосетей планируется продолжить. Необходимость проведения таких работ обусловлена еще и предписанием органов Ростехнадзора. Также необходимо строительство новой модульной котельной для дома отдыха «Ратмино» и новых тепловых сетей в перспективном районе жилищного строительства «Стела».

Для комплексного подхода к модернизации оборудования котельных и плановых капитальных ремонтов тепловых сетей на площадках Института и города в целом планируется разработка целевой программы на период 2024–2030 гг. с финансированием из бюджета Института и сторонних источников.

Водоснабжение и канализация

Основной проблемой остается изношенность сетей, в том числе водопроводных, которые служат более 50 лет и выработали свой ресурс. Необходима их плановая замена с использованием современных труб. В предыдущий период проводилась плановая поэтапная замена магистральных сетей на территории площадки ЛЯП. Для повышения надежности снабжения питьевой водой в 2021 г. в насосно-фильтровальной станции выработавший свой ресурс смеситель заменен на новый, из нержавеющей стали. Необходима реконструкция всасывающих водоводов Ду-600 на станции 1-го подъема.

По требованию надзирающих органов в целях снижения негативного воздействия на окружающую среду, в том числе реку Волга, разработан проект создания на территории насосно-фильтровальной станции узла очистки промывных вод и запланирована его реализация. Необходимо модернизировать ливневую канализацию на технической площадке ЛЯП, построить новый цех ЭКВ. Для комплексного подхода к модернизации оборудования и плановых капитальных ремонтов сетей на площадках Института и города в целом планируется разработка целевой программы на период 2024–2030 гг. с финансированием из бюджета Института и сторонних источников.

Средства связи и телекоммуникации

Для надежной работы телефонной связи и сети передачи данных предусматриваются строительство и замена волоконно-оптических линий связи и кабельных линий, в том числе между площадками и объектами ОИЯИ и до вышестоящего оператора связи.

Введенная в эксплуатацию в 2022 г. и сопряженная с городской системой локальная система оповещения совместно с созданным аварийно-техническим центром ОИЯИ в полной мере обеспечивает доведение сигналов и информации оповещения до руководителей и персонала объекта, населения, проживающего в зоне действия системы, и других дежурных служб и организаций в зоне действия радиусом 5 км вокруг ядерно- и радиационно-опасных объектов.

Планируется реализовать единую объектовую систему видеонаблюдения ОИЯИ, а также развить автоматическую систему сбора данных, контроля и диспетчеризации энергетических и коммунальных ресурсов, уже включающую более 500 узлов учета.

В планах на 2024–2030 гг. стоит задача создания геоинформационной системы ОИЯИ, включающей в себя актуальную информацию всех наружных сетей и цифровых двойников объектов инфраструктуры Института.

Политика безопасности

Охрана труда, промышленная безопасность, охрана окружающей среды

Для решения задач, связанных с охраной труда, охраной окружающей среды и промышленной безопасностью, будут проводиться работы по специальной оценке условий труда сотрудников, аттестации и повышению квалификации руководителей и специалистов ОИЯИ, замене морально и физически устаревшего оборудования, а также модернизации испытательной промышленно-санитарной лаборатории. Кроме того, будет внедрена единая система сдачи отходов производства (в том числе 1-го и 2-го классов радиохимической опасности), включающая платежи за негативное воздействие на окружающую среду.

Радиационная и ядерная безопасность

В Институте реализуется оптимальная политика по минимизации радиационного воздействия на человека и окружающую среду путем повышения безопасности действующих и проектируемых ядерно-физических установок, обеспечения безопасности и сохранности при обращении с ядерными материалами, радиоактивными веществами, радиационными источниками и радиоактивными отходами.

Основными задачами на 2024–2030 гг. являются:

- совершенствование системы индивидуального дозиметрического контроля, адаптация ее к реальным полям излучения ядерно-физических установок посредством уточнения поправочных коэффициентов;
- эксплуатация и модернизация автоматизированных систем радиационного контроля (АСРК) действующих установок и центрального хранилища, разработка новых систем на вновь строящихся и реконструируемых радиационно опасных объектах ОИЯИ, разработка средств для контроля высокоэнергетических нейтронов, замена устаревшего приборного парка;
- эксплуатация с продлением срока хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, в том числе техническое обслуживание элементов системы учета и контроля материалов с использованием компьютеризированной системы базы данных отдельной контрольно-методической группой;
- своевременная отправка на захоронение радиоактивных отходов, источников с истекшим назначенным сроком эксплуатации, недопущение их накопления;
- аккредитация метрологической службы и лаборатории радиационного контроля, аттестация средств измерений и контроля, метрологическое обеспечение средств радиационного контроля, в том числе с привлечением метрологических центров;
- создание и поддержание системы менеджмента качества для объектов использования атомной энергии, разработка внутренних локальных нормативных документов и процедур в соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области использования атомной энергии;
- участие в работах, реализуемых в рамках соглашения между ОИЯИ и ФМБА;
- получение разрешения Ростехнадзора на выброс радиоактивных веществ в атмосферу.

Лицензируемая деятельность в области использования атомной энергии

В рамках обеспечения лицензируемой деятельности ОИЯИ в области использования атомной энергии будут поддерживаться лицензии Ростехнадзора на эксплуатацию ядерной установки (ИБР-2), на эксплуатацию стационарного сооружения для хранения твердых РАО и ядерных материалов, на использование ядерных материалов и радиоактивных веществ при проведении НИРиОКР, на право эксплуатации радиационных источников, а также лицензии

Роспотребнадзора на осуществление деятельности в области использования источников ионизирующих излучений (генерирующих).

Пожарная безопасность

Планируется поэтапно проводить реконструкцию действующих систем автоматической пожарной сигнализации и пожаротушения, а также, в силу развития экспериментальной базы Института, вводить в строй новые современные системы, привлекая для этого специалистов участка пожарной автоматики ОИЯИ.

Проверки показывают, что здания и сооружения Института по многим пунктам нуждаются в модернизации по нормам пожарной безопасности. В рамках системного подхода запланирована разработка обновленной целевой программы «Обеспечение пожарной безопасности ОИЯИ на 2024–2030 гг.».

Капитальное строительство

В дополнение к модернизации существующей инженерно-технической инфраструктуры Института необходимы создание и реконструкция комплексов: систем безопасности и контрольно-пропускных пунктов технических площадок, дома отдыха «Ратмино», пансионата «Дубна», базы отдыха «Приют “Липня”», объектов УСИ и УГРК, а также объектов в перспективном районе жилищного строительства «Стела».



Стратегическая цель инновационного развития ОИЯИ на период до 2030 г. – сделать Институт ведущим центром трансфера знаний ученых и специалистов стран-участниц ОИЯИ в области ядерной физики и ускорителей. Инновационная деятельность Института призвана стимулировать интерес стран-участниц к расширению программы прикладных исследований на базовых установках ОИЯИ, способствовать развитию исследовательской инфраструктуры в государствах-членах ОИЯИ.

Реализация планов инновационной деятельности на период 2024–2030 гг. предполагает концентрацию усилий по следующим основным направлениям.

Развитие международного инновационного центра ядерно-физических исследований

Основная цель организации межлабораторного инновационного центра ОИЯИ (далее – Инновационного центра) – координация проведения прикладных и инновационных исследований по наиболее востребованным радиационным, биомедицинским технологиям, включая, в частности, развитие технологий и методов в области ядерной, радиационной и космической медицины, радиационного материаловедения, экологии и информационных систем, а также подготовки кадров и повышения квалификации специалистов из стран-участниц ОИЯИ по образовательным программам базовых кафедр партнерских вузов. Координация деятельности Инновационного центра будет осуществляться как посредством использования единых подходов и экспертизы международного консультативного комитета к формированию конкурентной научной программы и к планированию/использованию пучкового времени, так и мероприятиями по совершенствованию организационной структуры.

Главными элементами создания Инновационного центра являются:

- прикладные инновационные исследования в рамках проекта комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA, включая создание пользовательской инфраструктуры ARIADNA (Applied Research Infrastructure for Advanced Developments at NICA Facility) на базе трех специализированных каналов: 1) тяжелых заряженных частиц высоких энергий (150–350 МэВ/нуклон для исследований на радиационную стойкость полупроводниковой микро- и наноэлектроники и 500–1000 МэВ/нуклон для исследований в области наук о жизни); 2) тяжелых заряженных частиц низких энергий (с энергией 3,2 МэВ/нуклон) для испытаний на радиационную стойкость микро- и наноэлектроники; 3) пучков протонов, дейтронов и легких ионов с энергией 1,0–4,5 ГэВ/нуклон для получения новых ядерных данных и перспективных разработок в области ядерной энергетики, трансмутации отработанного ядерного топлива, создания новых нейтронных источников (срок реализации: 2024–2027 гг.);

- поддержка работы коллаборации ARIADNA и развитие пользовательской программы каналов для прикладных исследований на комплексе NICA (срок реализации: 2024–2030 гг.);

- развитие в Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина технологий высокотемпературной сверхпроводимости, прежде всего для создания электромагнитов ускорителей и индуктивных накопителей энергии;

– создание в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ускорительного комплекса ДЦ-140 для исследований в области радиационного материаловедения, испытаний на радиационную стойкость электронных компонентов, совершенствования технологии производства трековых мембран и др. (срок реализации: 2024 г.);

– создание в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова современного радиохимического комплекса, включающего радиохимическую лабораторию 1-го класса, с целью разработки новых радиоизотопов для ядерной медицины в фотоядерных реакциях на промышленном электронном ускорителе (срок реализации: 2028–2030 гг.);

– создание центра исследований и разработок в области радиационной терапии: исследования по протонной флэш-терапии, разработка новых подходов к планированию лечения, технологии «карандашного» пучка, создание в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Джемелова сверхпроводящего протонного циклотрона (230 МэВ) как пилотной установки для будущего медицинского центра (срок реализации: 2024 г.);

– радиационная биология: расширение исследовательской инфраструктуры Лаборатории радиационной биологии, развитие омикс-технологий, нейрорадиобиологические исследования, разработка подходов для повышения эффективности лучевой терапии на основе радиомодификаторов (фармацевтические препараты, трансгенные системы), поиск новых способов адресной доставки (молекулярные векторы) радиомодификаторов и радионуклидов в опухолевые клетки.

Программа Инновационного центра будет включать также среднесрочные межлабораторные проекты, подразумевающие расширение программы экспериментальных исследований и нацеленные на развитие Инновационного центра в качестве места для освоения новых технологий и полигона для передовых научных исследований (Open Research Space @ DUBNA), в том числе по таким направлениям, как науки о жизни, медицинские технологии, технологии экологически чистой безуглеродной энергетики, Большие данные и квантовый компьютеринг. Важной частью повестки Инновационного центра станет развитие прикладного сегмента пользовательской программы на базе исследовательского реактора ИБР-2М, а также уже реализуемых в ОИЯИ направлений в области технологий искусственного интеллекта и квантового компьютеринга на базе Лаборатории информационных технологий им. М. Г. Мещерякова и Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, НИОКР по линейным сверхпроводящим ускорителям непрерывного действия, микропиксельных детекторов семейства Medipix, новых лавинных фотодетекторов, лазерной метрологии, лазерных инклинометров и др.

Реализация инновационных проектов на базе исследовательской инфраструктуры Инновационного центра должна стать существенным дополнительным стимулом для расширения интереса и вовлеченности стран-участниц и ассоциированных членов в программу исследований ОИЯИ. Приоритетным направлением развития Инновационного центра должно стать предоставление возможности молодым специалистам и студентам из стран-участниц для выполнения передовых инновационных исследований.

Интеграция в глобальную инновационную систему

Одной из важных задач семилетнего периода является эффективная интеграция ОИЯИ в глобальную инновационную систему и в глобальную научно-информационную систему. В этом направлении Институтом планируется осуществление деятельности по следующим главным задачам.

1. Развитие партнерства в области инноваций с организациями стран-участниц ОИЯИ и других государств.

2. Формирование лидирующих позиций ОИЯИ в экспертных научно-инновационных сообществах и комитетах интеграционных межгосударственных объединений.

3. Проведение выездных мероприятий в государствах-членах ОИЯИ с целью продвижения инновационных возможностей Института и формирования коммуникационных каналов в сфере инноваций.

4. Организация стажировок в ОИЯИ и инновационных центрах на территории Российской Федерации для студентов и молодых сотрудников исследовательских, образовательных и инновационных организаций из стран-участниц Института.

5. Участие в международных выставках, конференциях, форумах инновационного характера.

6. Расширение взаимодействия с компаниями-резидентами особой экономической зоны технико-внедренческого типа «Дубна», другими институтами развития в стране местопребывания, а также запуск механизмов привлечения индустриальных партнеров в ОИЯИ с целью создания системы отработки запросов бизнеса на выполнение заказных НИОКР на базе компетенций и исследовательской инфраструктуры Института.

7. Реализация преимуществ современных финансовых механизмов на основе государственно-частного партнерства, прежде всего через создание закрытых паевых инвестиционных фондов (ЗПИФ), для развития специализированной и социальной инфраструктуры ОИЯИ и городов с высоким научно-техническим потенциалом, а также «альтернативных инвестиционных фондов интеллектуальной собственности» и иных инструментов инновационной деятельности в интересах стран-участниц Института.

Конкретные мероприятия и сроки выполнения задач данного раздела программы на 2024–2030 гг. будут ежегодно уточняться в планах инновационной деятельности ОИЯИ.

Реализация политики в области интеллектуальной собственности, организационное и информационное обеспечение инновационной деятельности ОИЯИ

Особое внимание будет уделено последовательной реализации политики ОИЯИ в области интеллектуальной собственности. Совершенствование взаимодействия подразделений и служб Института на всех этапах жизненного цикла результатов интеллектуальной деятельности (РИД) призвано обеспечить их своевременное выявление, охрану, учет, а также эффективное использование.

Будут проработаны меры дополнительного стимулирования деятельности работников ОИЯИ по созданию РИД, имеющих значительный потенциал с точки зрения использования в деятельности Института и трансфера технологий. С целью дополнительной поддержки развития наиболее перспективных инновационных направлений рассматривается вопрос учреждения гранта дирекции, конкурса инновационных проектов, фонда развития инноваций ОИЯИ.

Будет совершенствоваться взаимодействие существующих и создаваемых субъектов инновационной деятельности в лабораториях и на уровне Института, в том числе отделов и групп инновационного развития.

Ввиду важности широкого освещения инновационной деятельности ОИЯИ одними из первоочередных задач должны стать:

– создание, профессиональное наполнение и продвижение сайта по инновационным исследованиям ОИЯИ;

- внедрение лучших практик продвижения инноваций, сотрудничество и использование опыта групп трансфера технологий других организаций;
- PR инновационной деятельности ОИЯИ, включая подготовку и размещение научно-популярных статей, дайджестов о перспективных разработках Института, выстраивание имиджа ОИЯИ через освещение инновационных разработок ОИЯИ в центральных и региональных СМИ;
- участие в международных выставках, конференциях, инновационных форумах;
- участие в выездных мероприятиях ОИЯИ в странах-участницах с целью представления инновационного потенциала Института.



Для успешной реализации научной программы Института и осуществления его миссии по подготовке высококвалифицированных исследователей, инженеров и техников для государств-членов в ОИЯИ ведется тщательно сбалансированная как по научным направлениям, так и по профессиональным компетенциям научно-образовательная деятельность. В планируемый период эта деятельность будет продолжена в сочетании с рядом мер кадровой политики Института, направленных на укрепление интеллектуального потенциала персонала без значительного увеличения численности штата Института. Формирование многочисленного ассоциированного персонала, находящегося в «динамическом равновесии» со штатным персоналом, кооперация с базовыми кафедрами университетов-партнеров, дубненским филиалом МГУ, МИФИ, МФТИ, СПбГУ, К(П)ФУ и государственным университетом «Дубна» в качестве опорных университетов, научно-образовательная программа УНЦ ОИЯИ, популяризация науки и научной деятельности ОИЯИ и проактивная социальная и кадровая политика Института – важные взаимосвязанные элементы планируемой работы.

Научно-образовательная деятельность

Институт имеет большой опыт и потенциал в сфере подготовки высококвалифицированных специалистов для государств-членов ОИЯИ. Организация научно-образовательной деятельности и подготовки кадров – основная задача Учебно-научного центра ОИЯИ. Для решения этих задач в течение ближайших семи лет УНЦ во взаимодействии с лабораториями Института будет вести работу по следующим направлениям.

Первым и главным приоритетом деятельности УНЦ остается прием студентов и аспирантов из государств-членов ОИЯИ, приезжающих в лаборатории Института для подготовки своих квалификационных работ: бакалаврских, магистерских и кандидатских диссертаций. УНЦ помогает студентам найти научных руководителей и оказывает поддержку в организации их приезда и пребывания в ОИЯИ. УНЦ координирует работу базовых кафедр университетов-партнеров в Институте, участвует в сетевых образовательных программах, в частности, организует специальные курсы лекций и практики в соответствии с учебными планами партнерских образовательных организаций. Эффективная работа в этом направлении будет вестись во взаимодействии со школами, университетами и исследовательскими центрами государств-членов ОИЯИ.

В ОИЯИ работают шесть диссертационных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций. УНЦ будет вести работу по привлечению аспирантов и молодых ученых из партнерских научных и образовательных учреждений к защите кандидатских диссертаций в диссертационных советах Института.

Важной задачей УНЦ будет организация образовательных программ для студентов. Они включают в себя как краткосрочные (международные студенческие практики), так и долгосрочные программы для студентов и аспирантов – это очная студенческая программа START и онлайн-тренинг INTEREST для участников со всего мира. Цель этих мероприятий – познакомить студентов с Институтом, дать возможность принять участие в повседневной работе исследовательских групп в лабораториях ОИЯИ, погрузиться в научную жизнь Института, наладить контакты с другими студентами и аспирантами, скорректировать свои научные интересы, найти в ОИЯИ научного руководителя для выполнения квалификационных работ.

С целью интенсификации образовательных программ в области подготовки инженерно-технических специалистов для ОИЯИ и государств-членов на действующих и создаваемых современных физических установках УНЦ был разработан инженерный практикум, ключевой особенностью которого является работа с реальным оборудованием. В частности, были созданы практикумы по электронике, основам ядерной физики и детекторам элементарных частиц, СВЧ и вакуумной технике, автоматизации физических установок. Эта работа будет продолжена, будут разрабатываться новые курсы, своевременно будет обновляться приборная база. Также важной задачей является разработка практических учебных курсов на выделенных каналах линейного ускорителя электронов ЛЯП. Это позволит студентам и молодым ученым углубить уже имеющиеся и получить новые знания и навыки, приобрести личный практический опыт использования современного оборудования и технологий.

Программы по популяризации науки, предназначенные для школьников, студентов и учителей из государств-членов, являются важной частью деятельности Учебно-научного центра по повышению интереса к естественно-научным предметам. В настоящее время в арсенале УНЦ имеются следующие средства работы со школьниками: онлайн- и офлайн-лекции сотрудников Института, экскурсии на базовые установки ОИЯИ, виртуальные лаборатории по экспериментальной ядерной физике. УНЦ курирует работу городского межшкольного физико-математического факультатива, участвует в проектной деятельности учащихся Физико-математического лицея им. академика В. Г. Кадышевского. УНЦ организует участие Института в городских, региональных, федеральных научно-популярных мероприятиях. Ежегодно УНЦ проводит международную научную школу для учителей физики из государств-членов ОИЯИ. Также центр участвует в работе карьерных форумов университетов с целью привлечения студентов к деятельности в Институте. Проведение разнообразных мероприятий, направленных на то, чтобы облегчить понимание современной физики, а также популярно рассказать об основных научных достижениях ОИЯИ, привлечь заинтересованных студентов, останется одной из приоритетных задач УНЦ в предстоящий период работы.

Введение в строй линейного ускорителя ЛЯП позволит Учебно-научному центру расширить работу со школами и организовать международный конкурс среди старшеклассников по отбору предложений для решения научных задач. Команда-победитель получит уникальную возможность провести свой эксперимент на реальной установке ОИЯИ.

Будет продолжено стратегическое сотрудничество с филиалом МГУ им. М. В. Ломоносова, который был открыт в Дубне в 2021 г. Планируется поэтапное формирование в филиале следующих кафедр: кафедры физики элементарных частиц, кафедры фундаментальной ядерной физики, кафедры фундаментальной математики и математической физики, кафедры теоретической физики фундаментальных взаимодействий, кафедры сетевых и суперкомпьютерных технологий и моделирования, кафедры радиобиологии и биомедицины. Общая численность студентов и аспирантов филиала, обучающихся в Дубне, может составлять от 80 до 160 человек.

Важное значение для ОИЯИ имеет развитие государственного университета «Дубна» как научно-исследовательского технологического университета, осуществляющего подготовку инженеров-исследователей высшей квалификации для участия в проектах класса «мегасайенс». Благодаря глубокой интеграции ОИЯИ в международные исследовательские проекты при подготовке кадров могут быть использованы возможности университетов и научных центров других стран (в первую очередь государств-членов ОИЯИ) путем реализации сетевых образовательных программ и стажировки/практики.

Для работников Института и сторонних организаций УНЦ проводит обучение по дополнительным профессиональным программам и программам профессионального обучения. Также для работников ОИЯИ в УНЦ организованы курсы английского языка и русского языка как иностранного.

Кадровая и социальная политика

Кадровая политика будет сфокусирована на обеспечении Института персоналом, способным по своим профессиональным качествам успешно выполнять программу научных исследований, эксплуатировать и развивать инфраструктуру Института. Статус международной межправительственной организации задает высокую планку требований в мировой конкуренции за человеческий капитал. Для достижения поставленной цели будет проводиться систематическая работа по привлечению на работу в ОИЯИ как талантливых молодых, так и высококвалифицированных ученых и специалистов из стран-участниц, а также по формированию ассоциированного персонала из аспирантов, ученых и специалистов сотрудничающих с ОИЯИ организаций. Интересная творческая работа, достойное вознаграждение и комфортная среда – три основных слагаемых социальной и профессиональной удовлетворенности персонала, которым следует уделять повышенное внимание, получать обратную связь путем проведения опросов, взаимодействия с руководителями национальных групп, гибко настраивая существующие и создавая новые инструменты кадровой работы.

В новом семилетнем периоде фокус развития Института смещается с создания масштабных объектов исследовательской инфраструктуры на разработку и выполнение программ научных исследований с использованием этих установок. На смену персоналу, который участвовал в проектировании новых базовых установок, строительстве, монтаже, наладке оборудования, должен прийти персонал, который обеспечит надежную и безопасную эксплуатацию этих сложнейших уникальных комплексов, выполнение обширных программ экспериментальных исследований. Потребуется инженерно-технические работники, специалисты иного функционального профиля. Увеличится количество научных сотрудников, которые займутся сбором, обработкой, анализом, интерпретацией результатов экспериментов, выполнением научной программы. Планируются создание условий для повышения квалификации, обучения и переобучения кадров, меры по внедрению и совершенствованию института наставничества. Необходима постоянная работа по обеспечению подготовки, профессиональному развитию персонала с применением лучших новейших методик и организационных форм в этой области.

Помимо качественных и незначительных количественных изменений в основном штате Института, ожидается многократный количественный рост (до 1000 человек к 2030 г.) ассоциированного персонала – сотрудников научных или научно-образовательных организаций, студентов и аспирантов вузов, направленных этими организациями в ОИЯИ на длительные (3 месяца и более) сроки для работы в совместных проектах, в том числе в рамках коллабораций и пользовательских программ. Для нормативного регулирования деятельности по развитию института ассоциированных членов персонала в 2021 г. было утверждено Положение об ассоциированном персонале. Задача предстоящего периода – совершенствование этого многоцелевого инструмента кадровой политики в целях обеспечения высокого уровня интенсивности исследований на установках Института, осуществления миссии ОИЯИ как международной межправительственной организации по созданию условий для совместных исследований научными организациями государств-членов ОИЯИ, оптимизации системы подготовки кадров в интересах стран-участниц и партнеров Института.

Успешная реализация Семилетнего плана развития невозможна без притока молодых кадров, обеспечения преемственности поколений, передачи накопленных знаний и богатых традиций научных школ Института. Привлечение и интеграция молодежи стран-участниц и партнеров в коллективы, ее профессиональное развитие, содействие карьерному росту – одна из основных задач кадровой политики. Предполагается развитие существующих и внедрение новых социальных программ, направленных на улучшение качества жизни и условий труда молодых сотрудников. Планируется дальнейшее применение и расширение системы

грантов и премий для молодых ученых и специалистов, поддержка молодых научных сотрудников без ученой степени через механизм персональных надбавок к окладу. С целью создания современных комфортных условий проживания будут выделяться средства для наращивания фонда служебного жилья и улучшения его качества, для компенсации платы за арендуемое жилье.

Дальнейшее развитие получит стипендиальная Программа для молодых ученых в рамках специального международного конкурса при поддержке стран-участниц ОИЯИ.

Забота о ветеранах, многолетним трудом которых создавался современный облик ОИЯИ, его авторитет в мировом научном сообществе, – одна из важных задач кадровой политики. На основании соответствующих решений сессий КПП в Институте утверждено и действует с июля 2022 г. Положение о социальной поддержке лиц, прекративших трудовые отношения с ОИЯИ. Разработанная программа соцподдержки стимулирует выход на пенсию персонала преклонного возраста с большим стажем работы в Институте, что высвобождает рабочие места для более молодых сотрудников, вместе с тем сохраняет ветеранам возможность участвовать в научных и культурных мероприятиях коллектива и вносить тем самым посильный вклад в профессиональное становление молодежи. Мера направлена на формирование структуры и модели воспроизводства персонала, оптимальной для успешной реализации программы исследований и инфраструктурных проектов в рамках Семилетнего плана.

В предыдущий семилетний период создан существенный задел в области оплаты труда. С 2021 г. по решению КПП сформирован и ежегодно планируется в бюджете Института фонд стимулирования высококвалифицированного персонала. Средства фонда направляются на поддержку кадров, занятых в основных проектах Института, на специальные программы по развитию и привлечению молодых талантливых специалистов и ученых, единовременные выплаты за успешные защиты диссертаций, стимулирующие надбавки, премирование коллективов за особые достижения в реализации крупномасштабных проектов Института. Благодаря мерам по совершенствованию системы оплаты труда среднемесячная заработная плата научных сотрудников, основной категории персонала, достигла 200% от среднемесячной заработной платы в регионе местопребывания Института, что является необходимым условием конкурентоспособности в стране местопребывания. Однако в борьбе за таланты на мировой арене необходим конкурентный в международном масштабе уровень заработной платы. Эту задачу предстоит решать, уделяя постоянное внимание изучению международного опыта, изменениям в законодательстве государства местопребывания, использованию лучших практик и наработок.

С целью сохранения реального содержания заработной платы при росте потребительских цен планируется распространить опыт проведения ежегодной индексации окладной (тарифной) части оплаты труда на новый семилетний период.

Таблица 9. Прогноз изменения кадрового состава (кол-во чел.)

	2022	2024	2030
Штат Института,			
в том числе:	4060	4090	4230
научные сотрудники	1190	1200	1240
инженеры	1020	1030	1070
руководители, специалисты и служащие	1100	1110	1160
рабочие	750	750	760
Ассоциированный персонал	150	400	1000
ИТОГО:	4210	4490	5230



Успешная реализация программы научных исследований, представленной в Стратегии развития ОИЯИ, требует модернизации научно-организационной деятельности Института как ключевого фактора, влияющего на все аспекты функционирования ОИЯИ, включая кадровую и финансовую политику, административно-хозяйственную деятельность, международное сотрудничество и т. д. Документом, определяющим организационный базис для результативной научной деятельности в ОИЯИ, является ежегодно обновляемый Проблемно-тематический план (ПТП) научно-исследовательских работ и международного сотрудничества. Проблемно-тематический план должен быть сбалансирован и обеспечен финансовыми и кадровыми ресурсами, имеющимися в распоряжении Института. Регулярный научный и ресурсный анализ реализации ПТП должен быть обеспечен организацией независимой экспертизы и эффективной синхронизацией работы научно-технических советов в Институте, международных программно-консультативных и иных специализированных научных комитетов, комиссий по анализу реализации проектов, Ученого совета ОИЯИ.

Расширение программы исследований Института, возросшая динамика появления новых научных направлений, усиление конкуренции за лидерство в формировании общемировой повестки научных исследований, а также значительное повышение международной мобильности кадров требуют коррекции структуры ПТП и процедур, связанных с его наполнением и реализацией.



Рис. 37. Планируемое обновление структуры Проблемно-тематического плана научных исследований и международного сотрудничества ОИЯИ



В силу статуса международной межправительственной организации международность присуща всей деятельности ОИЯИ. Здесь под термином «международное сотрудничество ОИЯИ» подразумевается деятельность Института по организации и координации всего комплекса внешних связей и взаимодействия всех участников многостороннего сотрудничества, реализуемого в рамках ОИЯИ, в целях:

- обеспечения устойчивого развития Института как международной межправительственной организации за счет поддержания ее организационной основы – сообщества государств-членов, ассоциированных стран, национальных партнеров из прочих стран, международных организаций, а также ее расширения за счет привлечения новых партнеров;
- содействия реализации главной уставной задачи ОИЯИ – организации и реализации многосторонних научных исследований, а также создания предпосылок для появления новых проектов и направлений научного взаимодействия;
- содействия обеспечению благоприятных нормативно-правовых и финансово-экономических условий для участия научных организаций партнерской сети ОИЯИ в реализации программы научных исследований ОИЯИ;
- содействия мобильности научных и инженерно-технических кадров, создания в ОИЯИ благоприятных социально-экономических условий для работы ученых и специалистов из разных стран;
- укрепления международного авторитета ОИЯИ и популяризации его научных достижений.

В течение 2024–2030 гг. будет решаться комплекс среднесрочных задач практической реализации международного сотрудничества ОИЯИ, специфицированных по статусу стран в партнерской сети ОИЯИ, уровню научно-технологического развития, географическому расположению, а также используемым в развитии сотрудничества ресурсам и инструментам.

В частности, по статусу стран в партнерской сети эти задачи конкретизируются следующим образом:

- **государства-члены**: придерживаться индивидуального подхода к стратегическому планированию взаимоотношений с каждым государством-членом, создавать координационные комитеты по сотрудничеству с участием полномочных представителей правительств и заинтересованных национальных экспертов, а также представителей ОИЯИ;
- **государства – ассоциированные члены**: продолжить работу по организации вступления этих государств в ОИЯИ в качестве полноправных членов, привлекать новые страны в ОИЯИ в качестве ассоциированных государств;
- **государства-партнеры**: продолжить работу по институализации сотрудничества с научными и научно-образовательными организациями этих стран (Китай и Мексика по состоянию на 2023 г.) посредством механизма объединенных координационных комитетов и экспертных рабочих групп, направленную на подготовку повышения статуса этих государств в ОИЯИ до ассоциированного и/или полного членства;
- продолжить работу по углублению существующего сотрудничества с отдельными научными организациями и по вовлечению в орбиту научного сотрудничества ОИЯИ на уровне правительств новых заинтересованных партнеров, в том числе из регионов Латинской

Америки (Аргентина, Бразилия, Чили), Азии (Индия, Пакистан, Южная Корея, Турция, страны АСЕАН), Африки.

Будет продолжена **регионализация международной деятельности ОИЯИ**, т. е. создание на базе государств-членов ОИЯИ и ассоциированных членов региональных сетевых структур, объединяющих страны, заинтересованные в развитии научных связей с Институтом. В этом контексте необходимо интенсифицировать регулярную, целенаправленную работу с государствами-членами и ассоциированными членами, на базе которых планируется создание упомянутых кластеров. В частности, с Кубой – для кластера Латинской Америки, с Вьетнамом – для Юго-Восточной Азии, с ЮАР – для Южной Африки, с Египтом – для Ближнего Востока и Северной Африки.

Для обеспечения имеющихся и планируемых задач ресурсами работа профильных служб Института в сфере МНТС, а также соответствующих функциональных групп в подразделениях должна быть эффективно организована: четкое планирование, диверсификация, комплементарность, оптимальная штатная структура и вовлеченность представителей стран-участниц, опора на научно-образовательное сотрудничество и приоритеты Проблемно-тематического плана ОИЯИ.

В период 2024–2030 гг. наиболее эффективным для укрепления институциональных связей Института с государствами-членами и партнерскими организациями представляется использование следующих имеющихся или создаваемых в настоящее время **инструментов** международного сотрудничества ОИЯИ:

- формирование в ОИЯИ профессиональных сообществ национальных представителей для координации сотрудничества государств-членов в области образования и инноваций;
- развитие сети информационных центров ОИЯИ;
- проведение ежегодных тренингов в рамках целевой информационной программы для научно-административных работников партнерских организаций (тренинги JEMS) на основе открытого приглашения и/или по специальным заявкам отдельных стран;
- продолжение практики проведения Дней ОИЯИ в государствах-членах и ассоциированных членах, в среднем один раз в пять лет, а также дней стран в ОИЯИ;
- реализация специальных программ стажировок (до 30 позиций в год) в ОИЯИ для молодых ученых из стран целевых для ОИЯИ регионов Латинской Америки, Африки и Азии, а также по программе стажировок ЮНЕСКО. Стартовое количество стажировок в 2024 г. планируется на уровне 15 позиций, и полного объема программа достигнет в 2027 г.



Приоритет стратегии коммуникаций ОИЯИ – развитие в целевых сегментах информационного пространства благоприятных условий для реализации Стратегического плана долгосрочного развития ОИЯИ на период до 2030 года и далее.

Реализация коммуникационной стратегии призвана обеспечить эффективный охват и прагматичное взаимодействие с ключевыми аудиториями: профильным научным сообществом; лицами, принимающими решения; студентами, учителями, школьниками; широкой общественностью государств-членов и стран-партнеров; местным сообществом; сотрудниками Института, людьми из орбиты ОИЯИ.

Формирование системы базисных тезисов коммуникационной стратегии, построение и проактивное использование системы каналов адресной коммуникации на основе анализа профиля целевой аудитории в информационном пространстве, оценки рисков и результатов коммуникации обеспечит решение следующих задач в разрезе сегментов целевой аудитории.

Профильное научное сообщество:

- Развитие ОИЯИ как уникальной среды для сотрудничества ученых из разных стран и обмена научными знаниями.

Лица, принимающие решения:

- Целевое информационное сопровождение лиц, принимающих решения.
- Информационная поддержка привлечения новых стран-партнеров, развития сотрудничества с индустриальными партнерами.

Студенты, учителя, школьники:

- Сопровождение развития партнерской сети целевых университетов и школ, пополнение кадрового резерва Института из стран-партнеров, укрепление сообщества «послов» ОИЯИ.

- Популяризация науки, повышение репутационной значимости профессии исследователя.

Широкая общественность государств-партнеров:

- Повышение уровня осведомленности о значимости научных результатов Института, о преимуществах участия страны в ОИЯИ для ее общества и экономики.

- Повышение уровня лояльности целевой аудитории.

Местное сообщество (город, регион):

- Продвижение тезиса «Дубна – территория международной науки».
- Демонстрация созидательного вклада интернационального коллектива ОИЯИ в развитие города, значимости международного характера ОИЯИ, роли Института как градообразующего предприятия, привлекательного работодателя и научно-технологического партнера.

Сотрудники Института, люди из орбиты ОИЯИ:

- Укрепление и трансляция ценностей и высокой корпоративной культуры ОИЯИ.
- Содействие повышению удовлетворенности сотрудников, их мотивированности.
- Интенсификация горизонтальных связей между подразделениями и коммуникаций в орбите ОИЯИ.

- Развитие института наставничества и сообщества «послов» ОИЯИ.

Имплементация стратегии коммуникаций предполагает координацию деятельности профильных подразделений ОИЯИ, а также информационных центров ОИЯИ, последовательное формирование единых методических подходов и эффективной структуры организации работы в области коммуникаций, а также реализацию мероприятий по следующим направлениям:

- связи с общественностью и научные коммуникации (создание цифровой платформы коммуникаций с выстроенной иерархией интернет-ресурсов, пресс-туры для СМИ, информационная кампания инициативы «Do Science @ Dubna», научно-выставочный комплекс «ОИЯИ: Наука и Просвещение», научный туризм в ОИЯИ, выставочная площадка «Наука и Искусство»);

- формирование и развитие системы информационной поддержки лиц, принимающих решения, и субъектов, значимых для реализации инициатив ОИЯИ (сопровождение взаимодействия с государственными органами стран-партнеров, актуализация, внедрение и продвижение корпоративной идентичности Института, развитие инструментов адресной подготовки информации, создание электронной платформы протокольных служб);

- развитие инструментария научной дипломатии, инициирование новых проектов в сфере научной дипломатии и популяризации науки.



Социальная инфраструктура Института выполняет задачу обеспечения сотрудников услугами проживания, общественного питания, включая лечебно-профилактическое питание, занятий физкультурой и спортом, организации санаторно-курортного лечения и культурного досуга. Имеющиеся в ОИЯИ объекты социальной инфраструктуры в целом обеспечивают текущие потребности персонала Института всеми видами вышеуказанных услуг. Вместе с тем многие из этих объектов требуют модернизации и расширения текущего, а в некоторых случаях и капитального, ремонта. Научная программа ОИЯИ на 2024–2030 гг. и вытекающая из нее кадровая политика требуют непрерывного улучшения социально-экономических условий работы и жизни сотрудников ОИЯИ и членов их семей, которое не может быть обеспечено без реализации комплекса мер по совершенствованию социальной инфраструктуры Института во взаимодействии с профильными организациями и ведомствами г. Дубны, Московской области и Российской Федерации как страны местопребывания ОИЯИ.

В течение ближайших нескольких лет акцент в работе ОИЯИ сместится на выполнение масштабных программ научных исследований с использованием созданных в предыдущий период объектов исследовательской инфраструктуры. Для привлечения необходимых для выполнения этой задачи высококвалифицированных ученых и специалистов из стран-участниц требуется осуществить комплекс мер:

- расширение жилого фонда;
- ремонт и модернизация ряда объектов социальной инфраструктуры;
- создание новых объектов.

Бюджетные возможности ОИЯИ и приоритетность выполнения научной программы развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. делают целесообразным привлечение внешних ресурсов в форме государственно-частного партнерства (далее – PPP, Public-Private Partnership), допускающего участие международной межправительственной организации ОИЯИ, и подобные финансово-экономические механизмы привлечения частного бизнеса и/или институтов развития стран-участниц ОИЯИ для создания и/или развития крупных объектов социальной инфраструктуры.

Комфортная среда обитания – одно из основных слагаемых социальной удовлетворенности персонала, и для ее создания необходимо предусмотреть соответствующие ресурсы в финансовом плане Семилетней программы развития ОИЯИ на следующие направления.

1. Расширение жилого фонда (квартиры, общежития, гостиницы)

1.1. Приобретение (или строительство) 50 квартир ежегодно в служебный фонд Института для обновления эксплуатируемых квартир и проведения текущей работы по формированию структуры и качества персонала, оптимальных для успешной реализации программы исследований и инфраструктурных проектов в рамках Семилетнего плана.

1.2. Перепрофилирование дома отдыха «Ратмино» в комплекс апартаментов для временного проживания ученых и специалистов с соответствующим развитием сопутствующей инфраструктуры (по принципу кампуса). Потребность в таком комплексе обоснована планами существенного количественного роста (до 1000 человек к 2030 г.) ассоциированного персонала – сотрудников научных или научно-образовательных организаций-партнеров ОИЯИ,

направляемых этими организациями на три и более месяцев для выполнения работ по совместным с ОИЯИ проектам.

2. Модернизация ряда объектов социальной инфраструктуры с целью доведения их до современных требований

Объекты общественного питания:

2.1. Капитальный ремонт и замена технологического оборудования столовой на площадке ЛФВЭ, а также ресторана «Дубна», что позволит увеличить возможности и повысить качество обслуживания персонала, численность которого возрастет за счет приезжающих для проведения экспериментов на коллайдере NICA.

2.2. С учетом специфики круглосуточной работы исследователей в новой семилетке целесообразно проведение мероприятий по расширению сферы буфетного обслуживания и развитию сети кафетериев.

Объекты спорткомплекса ОИЯИ и объекты культуры:

2.3. Проведение капитальных ремонтов зданий, сооружений и технологического оборудования плавательного бассейна «Архимед», стадиона «Наука», Дома физкультуры, Дома культуры «Мир», Универсальной библиотеки им. Д. И. Блохинцева, теннисных кортов, яхт-клуба ОИЯИ с целью приведения их состояния в соответствие современным требованиям, увеличения привлекательности объектов, расширения круга посетителей и развития клубной деятельности.

Объекты отдыха и санаторно-курортного лечения:

2.4. Реализация мероприятий в рамках стратегии развития пансионата «Дубна» в г. Алуште (Республика Крым), направленных на создание условий для продления его работы в межсезонье, проведения научных конференций и развития услуг медицинской направленности.

2.5. Расширение и обновление инфраструктуры баз отдыха «Волга» и «Липня».

3. Инициирование создания на территории г. Дубны объектов социальной инфраструктуры муниципальной или частной собственности

3.1. Экспоцентр – музей науки и технологий. Создание современного музея науки и технологий с целью популяризации науки и ОИЯИ. Реализация через механизмы PPP.

3.2. Детский оздоровительный лагерь научно-технической направленности. Инициирование создания детского оздоровительного лагеря научно-технической направленности вблизи города с целью расширения возможностей детей сотрудников ОИЯИ и жителей города по организации летнего отдыха. Реализация через частно-государственный проект или полностью силами частных инвесторов. ОИЯИ будет способствовать созданию такого детского лагеря.

3.3. Детский сад с двуязычным образованием. Инициирование создания детского сада с двуязычным образованием с целью предоставления возможности нерусскоязычным детям получать дошкольное образование. Реализация через PPP-проект или полностью силами частных инвесторов. Включение в инфраструктуру Института не планируется.

3.4. Городская среда. Повышение качества городской среды. Насыщение городской среды популяризирующими науку объектами, а также арт-объектами научно-технологической направленности с целью поддержания среды наукограда. Реализация силами администрации г. Дубны через вхождение в государственные программы развития городской среды.



Таблица 10. Структура доходов бюджета

	(млн долл. США)							
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Взносы государств-членов	206,9	218,2	230,1	245,7	261,6	274,7	288,4	1725,6
Выплата задолженности государств-членов по уплате взносов	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7
Средства, получаемые по соглашениям о научно-техническом сотрудничестве	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	7,7
Прочие доходы	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	42,0
ВСЕГО	214,1	225,4	237,3	252,9	268,8	281,9	295,6	1776,0

Доходы бюджета ОИЯИ главным образом формируются за счет взносов государств-членов. Объем взносов государств-членов запланирован с учетом ежегодного роста суммы взносов на 5%. Это позволит ОИЯИ продолжать развитие своей экспериментальной базы, осуществлять широкий спектр перспективных научных исследований, развивать инженерно-техническую инфраструктуру и привлекать высококвалифицированных ученых и специалистов.

Доходы бюджета также включают в себя выплату реструктуризированной задолженности государств-членов по уплате взносов, поступление средств по соглашениям о научно-техническом сотрудничестве с государствами, не являющимися членами ОИЯИ, и прочие доходы.

Таблица 11. Структура расходов бюджета

	(млн долл. США)							
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Персонал	96,8	100,6	102,7	106,3	109,9	113,7	117,7	747,7
Материальные расходы на научную деятельность	91,5	93,9	89,3	89,9	92,3	94,0	75,6	626,5
<i>Проекты и активности</i>	82,2	77,9	70,7	65,1	65,6	67,2	64,2	492,9
<i>Обслуживание и обеспечение эксплуатации установок (в т. ч. электроэнергия)</i>	9,3	16,0	18,6	24,8	26,7	26,8	11,4	133,6
Материальные расходы на инфраструктуру	32,0	39,0	43,1	40,9	37,1	37,0	36,9	266,0
<i>Модернизация инженерной и социальной инфраструктуры</i>	11,8	13,7	17,3	13,8	8,8	8,8	8,3	82,5
<i>Ремонт зданий и сооружений</i>	8,5	10,8	10,8	11,3	11,8	11,3	11,3	75,8
<i>Энергия и вода</i>	4,4	5,8	6,2	6,9	7,6	7,9	8,3	47,1
<i>Административные расходы</i>	7,3	8,7	8,8	8,9	8,9	9,0	9,0	60,6
Международное сотрудничество	8,1	8,3	8,5	9,1	9,5	9,7	10,0	63,2
Сервисные расходы	11,8	12,0	12,6	13,2	13,9	14,5	15,3	93,3
ИТОГО	240,2	253,8	256,2	259,4	262,7	268,9	255,5	1796,7
Резерв для совместных проектов со странами-неучастницами	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	7,7
Резерв для грантов ПП, программ сотрудничества	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	14,0
Резерв для грантов дирекции ОИЯИ	10,4	10,9	11,5	12,3	13,1	13,7	14,4	86,3
ВСЕГО	253,7	267,8	270,8	274,8	278,9	285,7	273,0	1904,7
САЛЬДО								
Сальдо годовое	-39,6	-42,4	-33,5	-21,9	-10,1	-3,8	22,6	
Сальдо накопленным итогом	-39,6	-82,0	-115,5	-137,4	-147,5	-151,3	-128,7	

Итогом реализации Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. стало завершение первого этапа по созданию новых и модернизации существующих экспериментальных

физических установок ОИЯИ для осуществления перспективных научных программ исследований. Запущена в эксплуатацию цепочка ускорителей инжекторного комплекса коллайдера NICA, включающая источники ионов, линейный ускоритель и два синхротрона, а основные системы коллайдера подготовлены к проведению цикла технологических испытаний, модернизирован циклотронный комплекс DRIBs-III, создан глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD с эффективным объемом 0,6 км³, модернизирован нейтронный импульсный реактор ИБР-2 с комплексом спектрометров, модернизирован Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс.

Для того, чтобы ОИЯИ продолжал оставаться одним из ведущих мировых центров, осуществляющим многодисциплинарные фундаментальные, а также прикладные исследования, необходимо дальнейшее совершенствование экспериментальных установок и реализация новых перспективных проектов.

В соответствии с предварительными расчетами для обеспечения расходов на персонал на семилетний период потребуется не менее 747,7 млн долларов США. Эта сумма предусматривает ежегодное увеличение фонда заработной платы для компенсации инфляции (в рублевом эквиваленте). Стратегической целью является оптимальный баланс в ежегодном бюджете Института между расходами на развитие Института, на эксплуатацию базовых установок и расходами на персонал. Оптимальный уровень для расходов на персонал не должен превышать 40–50 % от общего объема годового бюджета.

Материальные расходы на научные темы (научные проекты и активности) запланированы в соответствии с потребностями научной программы ОИЯИ. Для дальнейшего развития экспериментальных установок и реализации основных научных проектов на семилетний период 2024–2030 гг. потребуется 492,9 млн долларов США. Наибольшие расходы приходятся на первые годы Семилетнего плана, что связано с необходимостью завершения базовой конфигурации ускорительного комплекса NICA и модернизации циклотронного комплекса DRIBs-III.

В 2024–2030 гг. существенно увеличатся расходы на обслуживание и обеспечение эксплуатации экспериментальных установок. Увеличатся как материальные затраты, так и потребление электроэнергии. Для обеспечения материальных затрат по эксплуатации и обслуживанию экспериментальных установок, включая электроэнергию, необходимо 133,6 млн долларов США.

В инфраструктурных материальных расходах на 2024–2030 гг. запланированы средства для модернизации инженерной и социальной инфраструктуры, что необходимо для обеспечения бесперебойной работы экспериментальных установок, эксплуатации зданий и сооружений ОИЯИ, а также развития комфортной социальной среды для работников Института. За счет этих средств предусматриваются завершение реконструкции электроподстанций ОИЯИ, реконструкция инженерных сетей, реализация проектов по развитию социальной инфраструктуры.

Расходы на ремонт зданий и сооружений запланированы с небольшим увеличением на 2024–2030 гг. Это связано с подготовкой имеющихся у лабораторий зданий и помещений для потребностей в реализации научных проектов, а также с необходимостью поддержания в эксплуатационном состоянии зданий и сооружений Института.

Инфраструктурные расходы на энергию и воду связаны с обеспечением зданий и сооружений Института электроэнергией, теплоснабжением, водоснабжением и водоотведением. Они запланированы с увеличением в 2024–2030 гг. в связи с ростом тарифов, а также с вводом в эксплуатацию новых зданий и сооружений.

Материальные расходы на административно-хозяйственную деятельность запланированы на текущем уровне и практически не увеличены.

Расходы на международное сотрудничество запланированы в объеме 63,2 млн долларов США, которые, в основном, составляют расходы на проведение конференций, совещаний, программно-консультативных комитетов, командирование, уплату взносов в международные организации и коллаборации.

Сервисные расходы запланированы исходя из текущего уровня расходов и предусматривают ежегодное увеличение в связи с инфляцией. Эти расходы будут направлены на научно-информационное обеспечение, инженерно-техническое обеспечение, безопасность труда, транспортные расходы, социальные расходы и т. д.

В соответствии с Уставом ОИЯИ средства Института формируются из нескольких источников. Основным источником формирования бюджета Института, который обеспечивает развитие ОИЯИ, являются взносы государств-членов. Принципы расчета шкалы взносов государств-членов ОИЯИ одобрены Комитетом полномочных представителей в ноябре 2015 г. Базовым принципом определения размера взноса является расчет по шкале ВВП. Структура расходов бюджета должна обеспечивать эффективное его развитие и полноценное вовлечение каждого государства-члена в жизнедеятельность ОИЯИ. Для этого взнос каждого государства-члена должен обеспечивать:

- фонд оплаты труда персонала, направленного полномочным представителем правительства страны-участницы в ОИЯИ; добровольное страхование в стране-участнице (пенсионное и медицинское); компенсацию социальных расходов сотрудникам государства-члена в стране местонахождения ОИЯИ;

- развитие научной, инженерной и социальной инфраструктуры ОИЯИ на самом высоком конкурентном уровне, а также возможности для вовлечения новых стран-партнеров;

- гранты и программы полномочных представителей правительств стран-участниц на поддержку совместных с ОИЯИ научных, научно-образовательных проектов и международного научно-технического сотрудничества в интересах страны-участницы.

Экстраполяция объема годового бюджета ОИЯИ, достигнутого к 2023 г., на период 2024–2030 гг. не сможет в полном объеме обеспечить потребности Института на этот период. Для этого необходимо увеличение суммы взносов государств-членов в 2024–2030 гг. не менее 5 % ежегодно, начиная с 2024 г.

Таблица 12. Детализация материальных расходов на научную деятельность

(тыс. долл. США)

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Научные проекты и активности	82 240,3	77 896,8	70 694,8	65 085,6	65 597,2	67 172,4	64 180,9	492 868,0
Развитие ускорительного комплекса NICA	36 399,9	31 700,0	32 000,0	29 300,0	29 200,0	28 900,0	24 200,0	211 699,9
Развитие циклотронного комплекса DRIBs-III. Синтез и свойства сверхтяжелых элементов, структура ядер на границах нуклонной стабильности	18 687,0	17 082,4	10 320,6	9 462,6	9 908,9	13 059,8	13 615,8	92 137,1
Развитие глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD	5 948,7	6 000,0	5 000,0	5 000,0	5 000,0	5 000,0	5 000,0	36 948,7
Развитие Многофункционального информационно-вычислительного комплекса	5 410,0	5 341,5	5 432,5	5 568,3	5 707,5	5 850,2	6 900,0	40 210,0
Развитие исследовательской ядерной установки ИБР-2 и спектрометров	3 936,9	3 962,0	3 644,0	3 400,0	3 442,0	3 494,0	3 484,0	25 362,9
Разработка импульсного быстрого реактора «Нептун»	2 230,6	3 887,0	4 032,0	2 457,0	2 312,0	2 457,0	2 557,0	19 932,6
Внешние и внутренние проекты ЛФВЭ	1 550,3	2 100,0	2 400,0	2 400,0	2 400,0	800,0	800,0	12 450,3
Внешние и внутренние проекты ЛЯП	3 352,4	3 605,1	3 693,5	3 699,8	3 751,9	3 758,5	3 760,5	25 621,7
Развитие медицинского циклотрона МСЦ-230	688,1	471,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	2 659,1

Радиобиологические проекты ЛРБ	1 500,0	1 600,0	1 600,0	1 400,0	1 400,0	1 300,0	1 200,0	10 000,0
Нейтронная ядерная физика	1 042,1	1 000,0	1 100,0	900,0	950,0	1 000,0	1 080,0	7 072,1
Другие научные проекты ЛЯР (исследования на пучках тяжелых ионов)	520,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	3 520,0
Другие научные проекты ЛНФ (оптические методы исследований)	160,0	173,0	187,0	202,0	218,0	235,0	254,0	1 429,0
Внутренние проекты ЛИТ	185,0	215,3	220,6	226,1	231,8	237,6	243,5	1 559,9
Образовательные проекты УНЦ	629,3	259,5	264,6	269,8	275,1	280,3	286,1	2 264,7
Обслуживание и обеспечение эксплуатации установок (в т. ч. электроэнергия)	9 244,9	15 968,9	18 595,0	24 761,8	26 699,0	26 852,7	11 464,9	133 587,2
Ускорительный комплекс NICA	2 989,6	9 102,0	10 911,0	16 215,0	17 720,0	17 717,0	2 149,3	76 803,9
Исследовательская ядерная установка ИБР-2 и спектрометры	1 610,1	2 197,8	2 817,8	3 137,9	3 137,9	3 137,9	3 137,9	19 177,3
Циклотронный комплекс DRIBs-III	2 426,0	2 322,5	2 431,7	2 873,1	3 204,8	3 255,9	3 308,3	19 822,3
Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс	1 848,0	1 986,2	2 064,1	2 145,4	2 235,9	2 331,5	2 439,0	15 050,1
Источник резонансных нейтронов ИРЕН	371,2	360,4	370,4	390,4	400,4	410,4	430,4	2 733,6
ВСЕГО	91 485,2	93 865,7	89 289,8	89 847,4	92 296,2	94 025,1	75 645,8	626 455,2

Таблица 13. Детализация материальных расходов на инфраструктуру

(тыс. долл. США)

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Модернизация инженерной и социальной инфраструктуры	11 802,5	13 700,0	17 300,0	13 800,0	8 800,0	8 800,0	8 300,0	82 502,5
Проекты по развитию инженерной инфраструктуры	10 492,6	8 600,0	12 200,0	8 700,0	3 700,0	3 700,0	3 200,0	50 592,6
<i>Реконструкция ГПП-1</i>	111,0							111,0
<i>Реконструкция ГПП-2</i>	4 883,5	400,0						5 283,5
<i>Реконструкция тепловых сетей</i>		1 000,0	1 000,0	1 000,0	1 000,0	1 000,0	1 000,0	6 000,0
<i>Реконструкция сетей водоснабжения и канализации</i>		3 000,0	3 500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	8 500,0
<i>Реконструкция систем автоматической пожарной безопасности</i>		700,0	700,0	700,0	700,0	700,0	700,0	4 200,0
<i>Строительство контрольно-пропускного пункта ЛФВЭ</i>		500,0	5 000,0	4 500,0				10 000,0
<i>Другие объекты</i>	5 498,1	3 000,0	2 000,0	2 000,0	1 500,0	1 500,0	1 000,0	16 498,1
Проекты по развитию социальной инфраструктуры	1 309,9	5 100,0	5 100,0	5 100,0	5 100,0	5 100,0	5 100,0	31 909,9
Ремонт зданий и сооружений	8 516,1	10 800,0	10 800,0	11 300,0	11 800,0	11 300,0	11 300,0	75 816,1
Энергия и вода	4 429,0	5 771,6	6 170,6	6 885,9	7 598,8	7 936,8	8 285,3	47 078,0
Административно-хозяйственные расходы	7 301,3	8 744,8	8 795,4	8 882,7	8 920,6	8 961,4	9 010,9	60 617,1
Административно-хозяйственные расходы лабораторий	2 801,3	4 244,8	4 295,4	4 382,7	4 420,6	4 461,4	4 510,9	29 117,1
<i>ЛФВЭ</i>	971,6	2 500,0	2 500,0	2 500,0	2 500,0	2 500,0	2 500,0	15 971,6
<i>ЛЯП</i>	351,8	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	1 551,8
<i>ЛТФ</i>	125,9	138,0	146,0	152,0	158,0	166,0	172,0	1 057,9
<i>ЛНФ</i>	411,1	490,0	500,0	500,0	500,0	510,0	520,0	3 431,1
<i>ЛЯР</i>	401,8	136,7	140,4	194,5	198,9	203,8	209,2	1 485,3
<i>ЛИТ</i>	435,4	694,3	721,9	747,8	774,0	790,5	817,5	4 981,4
<i>ЛРБ</i>	99,8	81,0	82,0	83,0	84,0	84,0	85,0	598,8
<i>УНЦ</i>	3,9	4,8	5,1	5,4	5,7	7,1	7,2	39,2
Общеинститутские административно-хозяйственные расходы	4 500,0	4 500,0	4 500,0	4 500,0	4 500,0	4 500,0	4 500,0	31 500,0
ВСЕГО	32 048,9	39 016,4	43 066,0	40 868,6	37 119,4	36 998,2	36 896,2	266 013,7



Геополитические риски

ОИЯИ является одной из крупнейших международных межправительственных научных организаций, в силу чего состояние мировой экономики и связанные с ним геополитические процессы оказывают на практическую деятельность Института существенное и непосредственное влияние. В настоящее время мировая экономика и политика проходят период дестабилизации, который в конечном итоге может привести к существенным изменениям, а возможно, и к системному переустройству действовавших в течение последних десятилетий практик международного сотрудничества в различных сферах человеческой деятельности, включая научные исследования. Эти геополитические процессы напрямую затрагивают, в большей или меньшей мере, все государства-члены и страны-партнеры ОИЯИ.

Риск возможного ослабления позиций ОИЯИ как международной межправительственной организации связан с тем, что ряд государств и некоторые международные организации перенесли текущее политическое противостояние в сферу международного научно-технического сотрудничества в области фундаментальных исследований, что привело к понижению интенсивности участия ученых этих стран и организаций в исследовательских проектах ОИЯИ, а также затруднило участие ОИЯИ в коллаборационных программах этих стран и организаций.

Такое положение дел в геополитике обуславливает определенные риски для осуществления плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. Стратегия ОИЯИ по минимизации и/или предотвращению негативного влияния геополитической ситуации будет основана на неукоснительном следовании Уставу ОИЯИ, принципам Софийской декларации, одобренной КПП ОИЯИ на ноябрьской сессии 2021 г., заявлении КПП ОИЯИ, принятом на внеочередной сессии в марте 2022 г., на достигнутом в предыдущее десятилетие высоком уровне развития научно-исследовательской инфраструктуры Института и сфокусированности научной программы ОИЯИ на направлениях, представляющих безусловный интерес для мирового научного сообщества в целом и особенно для государств-членов и партнеров ОИЯИ.

При соблюдении принципа взаимности Институт продолжит выполнять все взятые на себя обязательства по МНТС, будет последовательно проводить политику открытого доступа к своей исследовательской инфраструктуре (Open Access) и научным данным (Open Science), неукоснительно следовать международно признанным стандартам научной экспертизы и правового обеспечения интеллектуальной собственности.

Практические меры по предотвращению негативных последствий геополитических рисков описаны в разделе «Развитие ОИЯИ как международной организации». Представленный комплекс мероприятий направлен на создание новых и совершенствование существующих инструментов расширения партнерской сети ОИЯИ и привлечения в Институт новых государств-членов в качестве ассоциированных и полноправных членов.

Вклады Института в международные коллаборации должны быть защищены и являются активами международного межправительственного научного центра в Дубне. Персонал Института, работающий в Дубне и участвующий в международных коллаборациях, является самым ценным ресурсом. Задача дирекции Института – обеспечить оптимальные условия и перспективные международные проекты для эффективной самореализации сотрудни-

ков с аффилиацией ОИЯИ. Особое значение в минимизации вероятности развития негативных сценариев разрешения указанных рисков будет придаваться активному укреплению сотрудничества со странами и международными научными центрами, демонстрирующими взаимоуважение и прагматику в своих подходах к международному научно-техническому сотрудничеству, невосприимчивую к колебаниям геополитической конъюнктуры, и поэтому являющимися надежными партнерами по МНТС.

Финансово-экономические риски

Главным финансовым риском планирования развития ОИЯИ на 2024–2030 гг., связанным с геополитической ситуацией, является сокращение числа государств-членов Института и неуплата взносов государствами, членство которых было приостановлено на неопределенное время, а также неполное и/или несвоевременное выполнение своих международных обязательств государствами-членами ОИЯИ. Такие факторы, в первую очередь, отразятся на сокращении кадрового потенциала ОИЯИ, на снижении ценности его активов и конкурентоспособности, на значительном сдвиге сроков достижения научных результатов, прямо влияющих на глобальный научный авторитет стран-участниц Института.

К финансовым рискам относится высокий прогнозный уровень инфляции в большинстве стран мира, включая государства-члены ОИЯИ, что может повлиять на рост цен в сфере наукоемких товаров и технологий, рост себестоимости производства промышленных товаров, услуг и энергоносителей, необходимых для реализации научных проектов, и тем самым привести к обесцениванию денежных доходов Института.

Немаловажное значение в текущей экономической ситуации в мире имеют риски, связанные с заключением и исполнением контрактов на поставку уникальной несерийной продукции, необходимой для реализации научной программы Института.

Эти факторы главным образом могут оказывать существенное негативное влияние на возможность выполнения в полном объеме программы по развитию и обновлению исследовательской инфраструктуры ОИЯИ, вести к искажению графика и увеличению срока реализации этой программы, недостаточному финансированию крупных проектов инженерно-технической инфраструктуры, а также ограничению объема средств, направленных на создание комфортной социальной среды.

Для минимизации негативного влияния этих факторов, а также в связи с планируемым дефицитом бюджета Семилетнего плана развития будут применяться меры, направленные на совершенствование бюджетных процессов, оптимизацию расходов и приоритизацию направлений финансирования долгосрочной программы развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. Привлечение новых государств с сильной и/или динамично развивающейся экономикой в состав ОИЯИ – важнейшее направление работы по предотвращению развития негативных сценариев реализации финансовых рисков. Привлечение новых поставщиков по закупкам уникальной продукции, с соблюдением необходимых требований к созданию высокотехнологичных научных установок высочайшего уровня, и оптимизация подходов к логистике будут служить смягчению рисков, связанных с выполнением контрактов на поставку высокотехнологичного оборудования. Проактивное внедрение самых современных цифровых технологий, уменьшающих затраты на административные и обеспечивающие процессы, повышающих прозрачность и оперативность работы с данными, новых удобных сервисов, обеспечивающих привлекательность и максимальный комфорт работы в ОИЯИ, уже является приоритетной целью и реализуется.

Риск кадрового дефицита

Описанные геополитические и финансовые риски обуславливают возможность недостаточной обеспеченности научной программы ОИЯИ высококвалифицированными научными и инженерными кадрами. Системные мероприятия, призванные не допустить дефицит кадров или смягчить его остроту в случае возникновения, описаны в разделе «Укрепление кадрового потенциала». Ключевыми мерами реагирования будут целевое привлечение на работу по срочным трудовым договорам специалистов, требующихся для выполнения планируемых работ, проактивное взаимодействие с ведущими университетами разных стран, в первую очередь стран-участниц ОИЯИ, в области подготовки кадров и акцент на значительное увеличение доли ассоциированного персонала по отношению к штатному персоналу ОИЯИ. Несмотря на потенциальные экономические трудности, развитие комфортной рабочей и социальной среды является одним из самых приоритетных направлений работы.



С 2021 г. функционирует портал, представляющий собой систему показателей деятельности Института, который используется для мониторинга деятельности ОИЯИ. Система показателей и мониторинг являются ключевым инструментом для анализа хода решения сформулированных задач и оценки эффективности работы ОИЯИ по основным направлениям деятельности и обеспечения соответствия научной, научно-образовательной и инновационной деятельности Института самым современным международным стандартам, ее востребованности государствами-членами ОИЯИ.

Система показателей состоит из двух групп критериев. Первая группа характеризует уровень способности Института воспринимать, аккумулировать и производить научные знания, развивать научно-исследовательскую инфраструктуру, включая виртуальную, укреплять статус Института как международной межправительственной организации. Вторая группа характеризует текущую результативность в таких основных областях деятельности Института, как получение знаний, создание технологий, развитие научно-исследовательской инфраструктуры, научно-образовательной деятельности по подготовке высококвалифицированных кадров для государств-членов и партнеров ОИЯИ, обмен научно-технической информацией.

В то же время каждая из этих двух групп содержит основные показатели трех основных типов, относящихся к научным исследованиям и научно-исследовательской инфраструктуре, характеристике Института как международной межправительственной организации, кадровому потенциалу и текущему состоянию персонала.

В настоящее время на портале представлены так называемые показатели «верхнего уровня» – это система качественных и количественных показателей, существенно характеризующих Институт в целом. Показатели «верхнего уровня» (интегральные) предстоит дополнить так называемыми показателями «нижнего уровня» – детализированной системой характеристик, параметров и индикаторов внутри каждой группы. Показатели «нижнего уровня» будут давать более подробную информацию по каждому показателю, характеризовать специфику отдельных направлений деятельности, подразделений Института, категорий персонала и т. п.

Ключевой задачей является интеграция портала мониторинга в общеинститутскую цифровую платформу «Цифровая экосистема ОИЯИ».



Предисловие.....	3
Введение.....	5
Развитие крупной научно-исследовательской инфраструктуры ОИЯИ.....	10
Физика элементарных частиц и физика тяжелых ионов высоких энергий.....	24
Ядерная физика.....	31
Физика конденсированных сред.....	38
Радиационные исследования в науках о жизни.....	43
Теоретическая физика.....	46
Информационные технологии.....	49
Физика и техника ускорителей заряженных частиц.....	52
Развитие инженерной инфраструктуры.....	56
Инновационная деятельность.....	60
Укрепление кадрового потенциала.....	64
Организация научной деятельности.....	68
Развитие ОИЯИ как международной научной организации.....	69
Развитие научных коммуникаций.....	71
Развитие социальной инфраструктуры.....	73
Финансовое обеспечение.....	75
Оценка рисков.....	79
Мониторинг реализации Семилетнего плана и Стратегии развития ОИЯИ.....	82

**СЕМИЛЕТНИЙ ПЛАН РАЗВИТИЯ ОИЯИ
НА 2024–2030 ГГ.**

Редакторы: *Е. В. Григорьева, Е. В. Калининкова*
Верстка *И. Г. Андреевой*
Обложка *В. О. Тамоновой*

Подписано в печать 22.12.2023.
Формат 60 × 84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 9,76. Уч.-изд. л. 8,39. Тираж 285 экз. Заказ 60795.

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