

Проект

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

Дубна 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗВИТИЕ КРУПНОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОИЯИ.....	9
ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ФИЗИКА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ.....	15
ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА.....	19
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД.....	23
РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКАХ О ЖИЗНИ.....	25
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.....	27
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	30
ФИЗИКА И ТЕХНИКА УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ.....	34
РАЗВИТИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....	36
ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.....	39
УКРЕПЛЕНИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА.....	42
ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	46
РАЗВИТИЕ ОИЯИ КАК МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ.....	47
ЦИФРОВИЗАЦИЯ АДМИНИСТРАТИВНО-УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	49
ФИНАНСОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ.....	50
МОНИТОРИНГ РЕАЛИЗАЦИИ СЕМИЛЕТНЕГО ПЛАНА И ДОЛГОСРОЧНОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ОИЯИ.....	55

ПРЕДИСЛОВИЕ

ВВЕДЕНИЕ

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 ИТ-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.

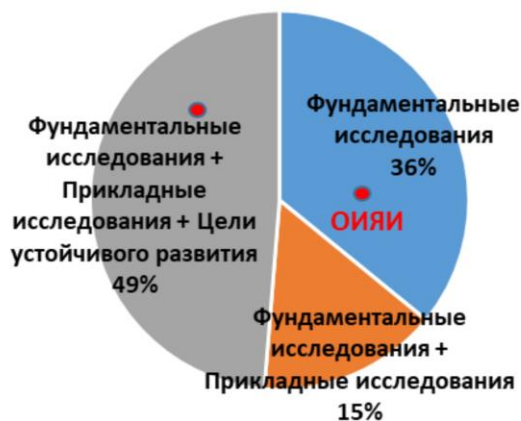
Объединенный институт ядерных исследований с момента образования формировался как многодисциплинарный международный научно-исследовательский центр, интегрирующий усилия ученых из многих государств в нескольких базовых областях фундаментальной науки, а также в прикладных исследованиях. В течение последнего десятилетия активно развивалась научная инфраструктура, велись масштабные и результативные 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 повестке развития 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, если только основные научные задачи проекта это допускают в принципе. 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.

Распределение крупной исследовательской инфраструктуры по областям науки



Распределение исследовательской инфраструктуры по типам исследований



Уровень международности исследовательской инфраструктуры



Рис. 1. Распределение крупных научно-исследовательских инфраструктурных проектов по областям науки, миссии и уровню международности. Выборка включает 40 крупнейших научно-исследовательских инфраструктур фундаментальной науки по широкому спектру научных областей, удовлетворяющих критериям большой исследовательской инфраструктуры (сложность, масштабность, уникальность, миссия), как действующих и строящихся, так некоторых планируемых

Проект Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024-2030 гг. разработан в соответствии со Стратегическим планом долгосрочного развития ОИЯИ на период до 2030 года и далее¹, утвержденным Комитетом полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ в марте 2021 года, с учетом рекомендаций международной рабочей группы по научной стратегии ОИЯИ, выработанных во второй половине 2021 года. Основная цель настоящего плана – формирование долгосрочной научной программы исследований, обеспеченной оптимальным образом кадровыми, 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 мега-класса:

- 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;
- будущие объекты в рамках дальнейшего развития комплекса NICA после 2030-2035 годов (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;
- облучательные установки для исследований в области материаловедения и радиационной биологии;
- инновационный центр ядерно-физических исследований;
- динамично развивающуюся ИТ-платформу на базе многофункционального информационно-вычислительного комплекса ОИЯИ (МИВК), 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 в передовых внешних экспериментах по физике релятивистских столкновений тяжелых ионов, физике частиц и физике нейтрино при условии, что потенциал открытий в этих экспериментах будет высок, исследователи ОИЯИ смогут играть ведущую роль, а партнерские научные организации будут проявлять взаимную заинтересованность в укреплении сотрудничества. Предлагаемый план предусматривает продолжение участия в экспериментах в мировых ускорительных центрах и в нейтринных экспериментах. Предпочтение отдается 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.

¹Стратегический план долгосрочного развития ОИЯИ на период до 2030 года и далее. – Дубна: ОИЯИ, 2021. ISBN 978-5-9530-0551-7

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 на LHC (ATLAS, CMS, ALICE), 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 проекта NICA-SPD, а также в рамках участия ОИЯИ в наиболее важных международных коллаборациях (COMPASS/AMBER, BESIII, 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 нейтрино, 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, nuGEN (GEMMA-III), EURICA, 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 непертурбативной 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 максимальной 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 по исследованиям в области спиновой физики.

Основным направлением научных исследований ОИЯИ **в области современной ядерной физики** является синтез новых элементов Периодической таблицы 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 по исследованию 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. Данные о структурах ядер, полученные в результате реакций с нейтронами, энергетические зависимости сечений нейтронных реакций все еще требуются или нуждаются в дальнейшем уточнении. Изучение сечений взаимодействия нейтронов с ядрами для нужд ядерной энергетики имеет непреходящее значение.

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, 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 нового 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 текущего 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 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.

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 сопровождения 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.

РАЗВИТИЕ КРУПНОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОИЯИ

Главной целью проекта NICA является развитие и эксплуатация ускорительного комплекса, позволяющего проводить исследования со встречными высоко интенсивными 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.

Для эффективного использования возможностей комплекса NICA будут введены в эксплуатацию экспериментальные установки: установка **BM@N** для выведенных пучков и установки **MPD** и **SPD** для коллайдера.

Технологический запуск комплекса и регистрация первых соударений ионов на встречных пучках коллайдера установкой MPD-I должны состояться во второй половине 2023 года. Предусмотрены следующие этапы сдачи в эксплуатацию и разработки элементов комплекса NICA.

1. Сдача в эксплуатацию базовых элементов ускорительного комплекса NICA: базовая конфигурация коллайдера – 2024 г.; развитие коллайдера до проектной конфигурации -2024-2026 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 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 и сдача в эксплуатацию 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 2023 г. и полной конфигурации в 2024-2026 гг.

5. Создание и введение в эксплуатацию начальной конфигурации детектора SPD – 2027 г.

Таблица 1. График работ по созданию и эксплуатации комплекса NICA

	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			

Таблица 2. Ускорительный комплекс NICA

(тыс. долларов США)

Виды расходов	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Расходы на персонал (ст. 1-3)								
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию (ст. 5, 6, 9, 10, 18, 19)	36 000,0	31 700,0	32 000,0	29 300,0	29 200,0	28 900,0	24 200,0	211 300,0
Расходы на эксплуатацию и обслуживание (ст. 5, 6, 7, 8, 10, 14)	10 910,0	12 102,0	13 911,0	19 215,0	20 720,0	20 717,0	5 149,3	102 724,3
Расходы на международное сотрудничество (ст. 4)								
Сервисные расходы (ст. 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17)								
ВСЕГО								

Фабрика сверхтяжелых элементов, базирующаяся на специализированном циклотроне DC-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 расширят 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 годов 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 соленоида, развитие химической установки. Также планируется проектирование ловушки Пеннинга и развитие методов лазерной спектроскопии.

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 год. 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 МэВ·А;
- 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 компонент.

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, радиозэкологических и медицинских применений.

Таблица 3. Циклотронный комплекс DRIBs-III

(тыс. долларов США)

Виды расходов	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Расходы на персонал (ст. 1-3)								
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию (ст. 5, 6, 9, 10, 18, 19)								88 800,0
Расходы на эксплуатацию и обслуживание (ст. 5, 6, 7, 8, 10, 14)								19 800,0
Расходы на международное сотрудничество (ст. 4)								
Сервисные расходы (ст. 11, 12,13,14,15, 16, 17)								
ВСЕГО								

Реактор ИБР-2 является базовой установкой ОИЯИ для нейтронных исследований в области физики конденсированных сред, единственной подобной установкой в странах-участниках 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 реактора ИБР-2;
- проверку сборки, настройку и испытание резервного подвижного отражателя МР-3Р на испытательном стенде ЛНФ;
- обновление технологического оборудования реактора с истекающими сроками службы.

Таблица 4. ИБР-2 и комплекс спектрометров

(тыс. долларов США)

Виды расходов	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Расходы на персонал (ст. 1-3)								
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию (ст. 5, 6, 9, 10, 18, 19)								24 526,0
Расходы на эксплуатацию и обслуживание (ст. 5, 6, 7, 8, 10, 14)								20 031
Расходы на международное сотрудничество (ст. 4)								
Сервисные расходы (ст. 11, 12,13,14,15, 16, 17)								
ВСЕГО								

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, демонстрирующего возможность использования пиковой мощности источника для генерации УХН высокой плотности;
- завершение работ по созданию новой малоугловой/нейтронографической установки;
- последовательная модернизация инфраструктуры всех действующих на ИБР-2 инструментов: строительство зеркальных нейтронных источников, 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.

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. Новый источник нейтронов - реактор НЕПТУН

(тыс. долл. США)

Виды расходов	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Расходы на персонал (ст. 1-3)								
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию (ст. 5, 6, 9, 10, 18, 19)								20 000,0
Расходы на эксплуатацию и обслуживание (ст. 5, 6, 7, 8, 10, 14)								
Расходы на международное сотрудничество (ст. 4)								
Сервисные расходы (ст. 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17)								
ВСЕГО								

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

Планируется выйти на режим работы ускорителя в 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.

Лаборатория структурных исследований SOLCRYS

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, будут развиваться на базе Национального центра синхротронного излучения SOLARIS Ягеллонского университета в Кракове, где ОИЯИ участвует в создании новой Лаборатории структурных исследований SOLCRYS. Планируется создание трех измерительных станций:

- для макромолекулярной рентгеновской кристаллографии (оборудованной высокоточным гониометром для измерений кристаллографической структуры белков);
- для малоуглового рентгеновского рассеяния на биообразцах (пучок $\sim 11 \times 13 \text{ мкм}^2$, поток $\sim 8,6 \cdot 10^{11}$ фотонов/с; разрешение $\sim 70 \text{ эВ}$);
- для порошковой дифракции при экстремальных условиях (пучок $\sim 31 \times 15 \text{ мкм}^2$, поток $\sim 4,1 \cdot 10^{12}$ фотонов/с; разрешение $\sim 70,8 \text{ эВ}$).

Программа строительства лаборатории SOLCRYS включает:

- 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 SOLCRYS.

Нейтринный телескоп гигантского объема (Baikal-GVD) на озере Байкал представляет собой результат исследовательских разработок и натуральных 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, которая будет обладать уникальными детектирующими характеристиками и иметь эффективный рабочий объем масштаба кубического километра.

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 $0,5 \text{ км}^3$.

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, в которую помещены оптические сенсоры, регистрирующие черенковское излучение от вторичных частиц, возникающих в результате взаимодействий высокоэнергичных 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 одного кубического километра.

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 ближайшее время 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 T-нейтрино сверхвысоких энергий, поскольку топология таких событий отличается заметным увеличением широты конуса разлета продуктов взаимодействия T-нейтрино с ядрами.

Таблица 6. Нейтринный телескоп Baikal-GVD

(тыс. долл. США)

Виды расходов	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Расходы на персонал (ст. 1-3)								
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию (ст. 5, 6, 9, 10, 18, 19)								30 000,0
Расходы на эксплуатацию и обслуживание (ст. 5, 6, 7, 8, 10, 14)								5 600,0
Расходы на международное сотрудничество (ст. 4)								
Сервисные расходы (ст. 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17)								
ВСЕГО								

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ФИЗИКА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

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 нового 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 открытие новых фундаментальных законов природы.

2. Исследования в области физики тяжелых ионов высоких энергий (границы энергии и интенсивности), направленные на установление уникальных 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 новый 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 будет 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) и в эксперименте CBM на установке FAIR (GSI). 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) — 2024–2030 гг.

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 сильно взаимодействующей 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 ультра-периферических ядро-ядерных столкновениях и по программе фемтоскопии в эксперименте ALICE (LHC), участие в модернизации фотонного детектора установки ALICE — 2014–2030 гг.

7. Выполнение обязательств по сборке и сдаче в эксплуатацию установки CBM (SIS100) – 2024–2027 гг., набор и анализ данных, участие в модернизации установки — 2027–2030 гг.

Изучение спиновой структуры нуклона и других поляризационных явлений в нуклон-нуклонных и нуклон-ядерных взаимодействиях, а также в малонуклонных системах будет проводиться 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 экспериментов DSS и ALPOM-2 с поляризованными пучками нуклотрона. Разработка и выполнение новых экспериментов, создаваемых для изучения спиновой структуры нуклона и других поляризационных явлений (как в нуклон-нуклонных и нуклон-ядерных взаимодействиях, так и в малонуклонных системах) с пучками нуклотрона, — 2024–2030 гг.

3. Введение в эксплуатацию начальной конфигурации детектора SPD на коллайдере NICA — 2027 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 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 слабозаимодействующих частиц темной материи в ЦЕРН на ускорителе SPS. ОИЯИ также 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).

Ожидаемые результаты:

– получение новых экспериментальных результатов в рамках программы, направленной на проверку предсказаний Стандартной модели (SM) и поиск физики за пределами SM 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 — 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. Дзелепова ОИЯИ участвует в решении проблемы иерархии масс нейтрино с 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-MAJORANA (G&M) 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 исследование ряда фундаментальных задач:

– регистрацию и исследование нейтрино от астрофизических объектов в южной полусфере 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);

– поиск сигналов от аннигиляции слабо взаимодействующих 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.

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

В 2024–2030 гг. дальнейшее развитие получают 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 будет проводиться углублённое изучение ядерно-физических свойств изотопов сверхтяжелых элементов с $Z = 103 \div 118$, 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.

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

Реакции многонуклонных передач (МНП) в околобарьерных столкновениях актинидов 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 28 ГГц будет иметь важное значение для обеспечения этих исследований. Планируемое экспериментальное изучение реакций МНТ должно сопровождаться активным развитием соответствующих теоретических подходов.

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 экспериментов спектроскопии ядер становится доступной область изотопов сверхтяжелых элементов в районе 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 солениоде. Кроме того, будет продолжено развитие устройств транспортировки и сепарации продуктов ядерных реакций, в первую очередь сверхпроводящего солениода, 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 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, в следующей семилетке 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 ядерной 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 ядерной 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 100А 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 100А МэВ.

Третье 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 0,8–28А 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.

В ближайшее десятилетие экспериментальная программа на радиоактивных пучках будет реализована в основном на фрагмент-сепараторе АКУЛИНА-2 циклотронного комплекса У-400М, прошедшего глубокую модернизацию в 2020–2022 гг. Сепаратор АКУЛИНА-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 стибьбена и др. К 2024 г. ожидается ввод в эксплуатацию новой криогенной газовой мишени (водород, включая изотопы трития, и гелий). 7-летний период включает, в частности, изучение экзотических ядерных систем типа ^{10}He , ^{13}Li , ^{16}Be , ^{7}B , ^{26}S , ^{15}Ne в реакциях 2n-, 2p-передач с тритиевой и ^3He -мишенью. Некоторые из этих ядер уже были предметом исследований на сепараторах АКУЛИНА-1,2, показавших необходимость набора дополнительной статистики и улучшения энергетического разрешения.

Прикладные исследования на пучках тяжелых ионов

В 2023–2030 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 сенсификации облученных ионами полимерных пленок и установок химического травления. Планируется развитие парка оборудования для комплексного сопровождения всех разработок, включающего 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 одной микросекунды (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 (Р-нечетные и Т-нечетные эффекты). Для этих экспериментов обычно требуются пучки нейтронов с высокой степенью поляризации, что более легко достижимо для низкоэнергетических 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 как решения задач ядерной физики, так и для широкого спектра прикладных задач.

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

Всестороннее изучение процесса ядерного деления: измерение массово-энергетических и угловых распределений осколков, быстрых нейтронов и гамма-квантов; измерения 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 Р-нечетных и Т-нечетных эффектов в делении.

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

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

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

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.

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.

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

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.

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.
- 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 актинидных соединений.
- Определение структурных характеристик углеродных наноматериалов, тонких пленок одностенных углеродных нанотрубок на подложках. Исследование роли интерфейса нанотрубка–подложка.

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.

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.

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.

РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКАХ О ЖИЗНИ

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.

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, включающих: 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 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. 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.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

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, а также 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 астрофизическим аспектам 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 /EC-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 поиски 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 её 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.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Развитие компьютерной инфраструктуры

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 необходимо 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 вычислительных мощностей 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 «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) Data Center Interconnect.

Одной из наиболее важных задач является создание корпоративной цифровой платформы ОИЯИ «**Цифровая экосистема ОИЯИ**», интегрирующей существующие и перспективные сервисы поддержки научной, административной и социальной деятельности, а также сопровождения инженерной и IT-инфраструктур Института. Платформа должна предоставлять надежный и безопасный доступ к данным различного типа, возникающим в процессе работы Института, – от открытых до конфиденциальных. Платформа должна обеспечивать возможность всестороннего анализа информации с применением современных технологий Больших данных и искусственного интеллекта.

Стратегия развития Больших данных в ОИЯИ напрямую связана с созданием «Цифровой экосистемы ОИЯИ» и 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 ИТ-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.

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

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

Ожидаемые результаты:

1. Модернизация инженерной инфраструктуры МИВК ОИЯИ (реконструкция в соответствии с современными требованиями машинного зала 4-го этажа ЛИТ).
2. Модернизация и развитие оффлайн 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 ЛНС.
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 HybridIT, 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 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

Математическая поддержка исследований, проводимых в ОИЯИ

Важным направлением деятельности является обеспечение математической, алгоритмической и программной поддержки экспериментальных и теоретических исследований, проводимых в ОИЯИ. Целью 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 интеллектуального 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.
8. Создание аналитической системы нового поколения на основе эффективных методов и алгоритмов формализации, извлечения знаний и обработки Больших данных.
 9. Создание платформы «Цифровая экосистема ОИЯИ».
 10. Разработка интеллектуальных информационных систем для научных исследований и приложений.
 11. Развитие квантовых ИТ-технологий обработки данных с доступом к NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) компьютерам/квантовым компьютерам с надежной защитой от ошибок.
 12. Разработка масштабируемых алгоритмов и программного обеспечения для обработки многопараметрических, многомерных, иерархических наборов данных эксабайтного объема.

Таблица 8. МИВК

(тыс. долларов США)

Виды расходов	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Расходы на персонал (ст. 1-3)								
Материальные расходы на создание, развитие, модернизацию (ст. 5, 6, 9, 10, 18, 19)								40 000,0
Расходы на эксплуатацию и обслуживание (ст. 5, 6, 7, 8, 10, 14)								14 757,4
Расходы на международное сотрудничество (ст. 4)								
Сервисные расходы (ст. 11,12,13,14,15,16,17))								
ВСЕГО								

ФИЗИКА И ТЕХНИКА УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Амбициозная и в определённом 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 ускорительно-коллайдерный 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).

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 комплексов: LHC, XFEL, FAIR, RHIC, GANIL, INFN, J-PARC, ILC, CLIC, IMP CAS, HIAF и др. Очевидно, что без проактивного развития frontier 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 годы. 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, $\text{damp} > 4$ Тл/с), высокоточные кабели и обмотки (увеличение критической плотности 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 высокоэнергетических 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 годы.

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.

РАЗВИТИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

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.

1. Энергетика

1.1. 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 году;

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

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 введены в работу по постоянной схеме 3-й и 4-й силовые трансформаторы, что дает 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 позволяет 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 годы.

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.

1.2. 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 годы с финансированием из бюджета Института и сторонних источников.

1.3. 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 году в насосно-фильтровальной станции заменен выработавший свой ресурс смеситель 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 годы с финансированием из бюджета Института и сторонних источников.

2. Средства связи и телекоммуникации

Для надежной работы телефонной связи и сети передачи данных предусматривается 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 году 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 год стоит задача создания геоинформационной системы ОИЯИ, включающей актуальную информацию всех наружных сетей и цифровых двойников объектов инфраструктуры Института.

2. Политика безопасности

3.1. 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 опасности), включающая платежи за негативное воздействие на окружающую среду.

3.2. 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.

3.3. 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).

3.4. 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 Института 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.».

4. Капитальное строительство

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

ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

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.

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 коллабораций 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 DC-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 I класса, с целью разработки новых радиоизотопов для ядерной медицины в фотоядерных реакциях на промышленном электронном ускорителе (срок реализации: 2024–2026 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. Джелепова 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 текущего 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 студентов и молодых сотрудников исследовательских, образовательных и инновационных организаций из стран-участниц Института.
5. Участие в международных выставках, конференциях, форумах инновационного характера.
6. С целью создания системы отработки запросов бизнеса на выполнение заказных НИОКР на базе компетенций и исследовательской инфраструктуры Института планируется расширение взаимодействия с компаниями-резидентами особой экономической зоны технико-внедренческого типа «Дубна», другими институтами развития в стране местопребывания, а также запуск механизмов привлечения промышленных партнеров в ОИЯИ.

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, а также экспертного совета ОИЯИ по инновациям.

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.

УКРЕПЛЕНИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА

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 Института 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. В частности, 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 имени 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.

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 году) 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 году 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, её 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 комиссий со странами-участницами 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 года 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 года 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.)

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

ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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.

РАЗВИТИЕ ОИЯИ КАК МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

В силу статуса международной межправительственной организации международность присуща всей деятельности ОИЯИ. В настоящем документе 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;
- **прочие страны:** продолжить работу по углублению существующего сотрудничества с отдельными научными организациями и по вовлечению в орбиту научного сотрудничества ОИЯИ новых заинтересованных партнеров, в том числе из регионов Латинской Америки (Аргентина, Бразилия, Мексика, Чили), Азии (Китай, 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 – Ближнего Востока и Северной Африки.

Программа мероприятий развития ОИЯИ как ММНО

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 специальных тематических областях: индустриальная кооперация, промышленный возврат и инновации (Industrial Liaison Officer), образование (Education Liaison Officer);
- 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 году планируется на уровне 15 позиций, и полного объема программа достигнет в 2027 году.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ АДМИНИСТРАТИВНО-УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Главной задачей Департамента развития цифровых сервисов (ДРЦС) в рамках Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2024–2030 гг. является создание общеинститутской информационной инфраструктуры для административно-управленческих процессов. Работа будет вестись в тесном **взаимодействии между ДРЦС и ЛИТ** со следующим распределением сфер ответственности:

- ДРЦС развивает информационные сервисы, направленные на цифровую трансформацию административной деятельности Института, а также создание платформы для объединения цифровых сервисов, связанных с административными процессами. Ключевым проектом в среднесрочной перспективе является проект по внедрению комплексной информационной системы 1С:ERP;

- сферой ответственности ЛИТ будет создание единой точки доступа, т. е. информационной системы, через которую будет осуществляться регламентируемый доступ ко всем цифровым сервисам Института, в том числе к платформе цифровых административных сервисов. Также специалистами ЛИТ будет создаваться часть общей цифровой платформы, направленная на поддержку научных и аналитических сервисов.

ЛИТ и ДРЦС будут совместно разрабатывать правила и механизмы обмена данными между административными, научными и другими сервисами.

ФИНАНСОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Таблица 10. Структура бюджета на 2024–2030 годы
(рост суммы взносов 4% в год)

(в млн долл. США)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
Сальдо входящее								
ДОХОДЫ								
Взносы государств-членов ОИЯИ	229,5	238,7	248,3	258,2	268,5	279,3	290,4	1 812,9
Выплата задолженности государств-членов ОИЯИ 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	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	17,5
Прочие доходы	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	45,5
ВСЕГО	238,6	247,8	257,4	267,3	277,6	288,4	299,5	1 876,6
РАСХОДЫ								
Персонал (ст.1,2,3), в т.ч.	101,5	102,2	105,6	109,0	112,7	116,4	120,3	767,7
Научные исследования (проекты, темы, активности) в т.ч.								
<i>научные проекты</i>								
.....								
Инфраструктурные расходы								
Международное сотрудничество (ст.4), в т.ч.	5,5	5,8	6,0	6,5	6,8	7,2	7,5	45,3
Научные исследования								
Инфраструктурные расходы								
Материальные расходы на научные исследования и развитие объектов инфраструктуры (ст.5,6,9,10,18,19), в т.ч.								595,9
Научные исследования (проекты, темы и активности), в т.ч.								483,2
<i>научные проекты</i>								
.....								
.....								
.....								
<i>другие научные проекты (в т.ч. внешние)</i>								
Инфраструктурные расходы, в т.ч.								112,7
<i>Крупные инженерные проекты</i>								

(в млн долл. США)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ВСЕГО
<i>Проекты по развитию комфортной социальной среды</i>								
<i>Общественные административно-хозяйственные расходы</i>								14,0
Расходы на эксплуатацию и обслуживание базовых установок, зданий и сооружений (ст.5,6,8,9,10,14), в т.ч.								274,9
Базовые установки, в т.ч.								147,7
<i>Электроэнергия</i>								50,9
Здания и сооружения								127,2
<i>Ремонт</i>	10,5	11,0	11,0	11,5	12,0	11,5	11,5	79,0
<i>Электроэнергия, тепловая энергия, водоснабжение</i>								48,2
Сервисные расходы (11,12,14,15,16,17), в т.ч.	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	91,0
Научные исследования (проекты, темы, активности)								
Инфраструктурные расходы								
ИТОГО								1 774,8
Резерв средств, получаемых по соглашениям о научно-техническом сотрудничестве	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	17,5
Резерв для грантов ИП и программ сотрудничества	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	35,0
Резерв для грантов дирекции	11,5	11,9	12,4	12,9	13,4	14,0	14,5	90,6
ВСЕГО								1 917,9
САЛЬДО								
Сальдо годовое								
Сальдо накопленным итогом								

Итогом реализации Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017-2023 годы должно стать завершение первого этапа по созданию новых и модернизации существующих экспериментальных физических установок ОИЯИ для осуществления новых перспективных научных программ исследований на переднем крае современной физики. К 2024 году будет создана базовая конфигурация ускорительного комплекса NICA, модернизирован циклотронный комплекс DRIBs-III, создан глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD величиной 0,5 км³, модернизирован нейтронный импульсный реактор ИБР-2 с комплексом спектрометров, модернизирован многофункциональный информационно-вычислительный комплекс.

Однако для того, чтобы ОИЯИ продолжал оставаться одним из ведущих мировых центров, осуществляющих фундаментальные исследования в области ядерной физики, необходимо дальнейшее совершенствование экспериментальных установок и реализация новых перспективных проектов.

В соответствии с текущим Семилетним планом ежегодный рост бюджета ОИЯИ составляет 2,5% ежегодно. При сохранении этой динамики на следующий семилетний период 2024–2030 гг. бюджет

ОИЯИ будет постепенно увеличиваться с 230 млн долларов США в 2024 году до 270 млн долларов США в 2030 году. Суммарный объем бюджета составит **1,76 млрд долларов США**. Объем материальных расходов в этом случае составит суммарно **537 млн долларов США**. Эти расчеты учитывают ежегодную индексацию фонда заработной платы на 4% для компенсации инфляции (в рублевом эквиваленте), а также сохранение инфраструктурных расходов на текущем уровне. Такой объем средств не сможет в полной мере обеспечить потребности ОИЯИ и приведет к недофинансированию отдельных этапов работ по основным научным проектам (NICA – SPD, DRIBs-III – РХЛ 1-го класса, проектов по развитию информационных систем МИВК, радиобиологических проектов и др.).

В соответствии с предварительными расчетами необходимый объем суммарных материальных расходов на 2024–2030 годы должен составлять не менее **693 млн долларов США**. Для дальнейшего развития экспериментальных установок и реализации основных научных проектов на следующий семилетний период 2024–2030 гг. потребуется **483 млн долларов США**. Ожидается, что в следующем семилетнем периоде существенно вырастут расходы на эксплуатацию и обслуживание экспериментальных установок. Увеличатся как материальные затраты, так и потребление электроэнергии. Для обеспечения материальных затрат по эксплуатации и обслуживанию экспериментальных установок необходимо **97 млн долларов США**. Помимо этого, материальные расходы для развития инженерно-технической инфраструктуры и обеспечения административно-хозяйственной деятельности потребуют около **113 млн долларов США**.

Кроме того, суммарные расходы на электроэнергию за семь лет ожидаются в размере **76 млн долларов США**, что более чем в три раза выше, чем в текущем семилетнем периоде. Это связано с активной работой экспериментальных установок для осуществления научных исследований и экспериментов.

Для обеспечения этих расходов суммарный объем бюджета ОИЯИ на 2024–2030 годы должен составить около **1,92 млрд долларов США**. Для этого необходимо увеличение бюджета ОИЯИ на **4–5% ежегодно**. Это позволит ОИЯИ продолжить развитие своей экспериментальной базы, осуществлять широкий спектр перспективных научных исследований, развивать инженерно-техническую инфраструктуру и привлекать высококвалифицированных ученых и специалистов. *[В представленной выше таблице рост бюджета составляет 4% ежегодно, что не в полной мере обеспечивает потребности Института и приводит к суммарному дефициту за семь лет в размере 52 млн долларов США.]*

Следует отметить, что объем доходной части бюджета на 2024–2030 годы основывается на плановых доходах 2023 года, предусмотренных в текущей семилетней программе.

Таблица 11. Расходы на научные проекты ОИЯИ в 2024–2030 годах
(материальные расходы + электроэнергия)

(тыс. долл. США)

	Научные проекты	Материальные расходы на развитие и модернизацию	Материальные расходы на эксплуатацию и обслуживание	Расходы на электроэнергию	ВСЕГО
ЛФВЭ	Ускорительный комплекс NICA	211 300,0	49 000,0	32 724,3	293 024,3
	Внешние проекты ЛФВЭ (CMS,ALICE,NA-61,STAR,NA-64, NA-62,DSS)	11 880,0	-	-	11 880,0
	Внутренние проекты ЛФВЭ (BM/HADES, SKAN3, BECQUEREL)	1 320,0	-	-	1 320,0
ЛЯР	Циклотронный комплекс DRIBs-III	88 800,0	10 000,0	9 800,0	108 600,0
	Другие научные проекты ЛЯР (исследования на пучках тяжелых ионов)	3 500,0	-	-	3 500,0
ЛЯП	Глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD	30 000,0	5 600,0	-	35 600,0
	Внешние проекты NOvA/DUNE, JUNO/DayaBay, SuperNEMO, GERDA, GEMMAIII,EDELWEISS,TAIGA	30 000,0	-	-	30 000,0
	Реализация научных проектов на установке Линак и медицинского ускорителя МСЦ-230	-	2 000,0	1 046,3	3 046,3
ЛНФ	Исследовательская ядерная установка ИБР-2 и спектрометры	24 526,0	17 666,0	2 365,0	44 557,0
	Разработка импульсного быстрого реактора НЕПТУН	20 000,0	-	-	20 000,0
	Источник резонансных нейтронов ИРЕН	7 000,0	2 500,0	212,8	9 712,8
	Другие научные проекты ЛНФ (рамановская микроспектроскопия)	1 429,0	-	-	1 429,0
ЛИТ	Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс	40 000,0	10 000,0	4 757,4	54 757,4
	Внутриинститутские проекты ЛИТ (обновление серверов, jinp.ru, СЭД, ADB2, PIN)	1 585,0	-	-	1 585,0
ЛРБ	Радиобиологические проекты ЛРБ	10 000,0	-	-	10 000,0
УНЦ	Образовательные проекты УНЦ	1 890,0	-	-	1 890,0
	ВСЕГО	483 230,0	96 766,0	50 905,8	630 901,8

Таблица 12. Расходы на инфраструктуру ОИЯИ
(материальные расходы + энергия и вода)

(тыс. долл. США)

Подразделение	Материальные расходы на развитие и модернизацию	Расходы на электроэнергию	Расходы на тепловую энергию и водоснабжение	ВСЕГО
Инфраструктура ЛФВЭ	17 500,0	18 444,5	9 655,0	45 599,5
Инфраструктура ЛЯП	1 400,0	1 974,6	4 101,8	7 476,4
Инфраструктура ЛТФ	1 062,0	189,7	403,4	1 655,1
Инфраструктура ЛНФ	3 562,0	730,0	2 000,0	6 292,0
Инфраструктура ЛЯР	0,0	1 400,0	3 112,0	4 512,0
Инфраструктура ЛИТ	4 540,0	782,2	1 680,4	7 002,6
Инфраструктура ЛРБ	580,0	180,0	300,0	1 060,0
Инфраструктура УНЦ	40,0	71,0	93,0	204,0
Общеинститутская Инфраструктура, в т.ч.	84 000,0	800,0	2 300,0	87 100,0
Проекты по развитию крупной инженерной инфраструктуры, в т.ч.	38 000,0			
<i>Реконструкция ГПП-1</i>	2 000,0			
<i>Реконструкция ГПП-2</i>	1 500,0			
<i>Реконструкция тепловых сетей</i>	7 000,0			
<i>Реконструкция сетей водоснабжения и канализации</i>	9 000,0			
<i>Реконструкция систем автоматической пожарной безопасности</i>	5 000,0			
<i>Строительство КПП ЛФВЭ</i>	10 000,0			
<i>Сервисные расходы (лицензии в области АЭ, охрана труда, радиационная безопасность)</i>	3 500,0			
Проекты по развитию комфортной социальной среды, в т.ч.	32 000,0			
<i>Дом отдыха «Ратмино»</i>	14 000,0			
<i>Жилищное строительство «Стела»</i>	5 000,0			
<i>Пансионат «Дубна»</i>	8 000,0			
<i>Спортивные объекты ОИЯИ</i>	5 000,0			
Общеинститутские административно-хозяйственные расходы	14 000,0			
ВСЕГО	112 684,0	24 572,0	23 645,6	160 901,6

МОНИТОРИНГ РЕАЛИЗАЦИИ СЕМИЛЕТНЕГО ПЛАНА И ДОЛГОСРОЧНОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ОИЯИ

С 2021 года 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 общую информационно-цифровую платформу Института.