



65



1956

JOINT INSTITUTE  
FOR NUCLEAR  
RESEARCH

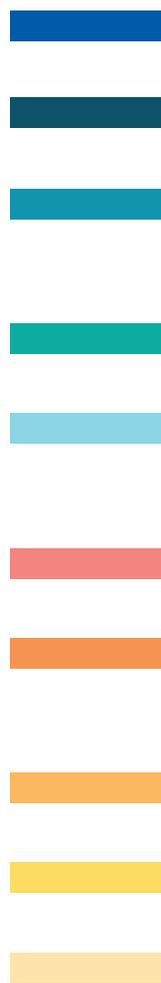


Dubna

**СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПЛАН  
ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ ОИЯИ  
НА ПЕРИОД ДО 2030 ГОДА И ДАЛЕЕ**

Объединенный институт ядерных исследований

**СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПЛАН  
ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ ОИЯИ  
НА ПЕРИОД ДО 2030 ГОДА И ДАЛЕЕ**



Дубна  
2021

## **Международная рабочая группа**

В. Матвеев (председатель)

Б. Шарков, Н. Русакович (заместители председателя)

В. Аксёнов, В. Бедняков, Л. Чифарелли, А. Дубничкова, С. Галес, Х. Гутброд, М. Иткис, М. Ежабек, Р. Джолос, Д. Казаков, В. Кекелидзе, В. Кореньков, Е. Красавин, Р. Ледницки, М. Левитович, Д. Л. Надь, Ю. Оганесян, Э. Рабинович, В. Рубаков, А. Сорин, М. Спиро, Х. Штокер, Г. Трубников, И. Церруя, Г. Зиновьев

## **Участники, члены тематических рабочих подгрупп**

### **Ядерная физика низких и промежуточных энергий**

А. Карпов, С. Сидорчук, С. Дмитриев, А. Ерёмин, В. Утёнков, Н. Аксёнов, А. Родин, Ю. Пенионжкевич, А. Фомичёв, Л. Григоренко, В. Рачков, Е. Элиав, В. Шабаев, В. Першина

### **Релятивистская физика тяжелых ионов и спиновая физика**

А. Бачетта, А. Коваленко, А. Сорин, Г. Зиновьев, Х. Штокер, И. Церруя, Л. Чифарелли, О. Теряев, Р. Ледницки, Р. Ценов, С. Шматов, В. Кекелидзе, Д. Пешехонов, А. Бутенко, Ю. Потребеников

### **Физика частиц, нейтрино и астрофизика**

В. Бедняков, Д. Наумов, Н. Русакович, Л. Чифарелли, М. Ежабек, Э. Рабинович, Х. Штокер, М. Спиро, А. Арбузов, В. Рубаков

### **Нейтронные исследования конденсированных сред и нейтронная физика**

В. Аксёнов, А. Иоффе, В. Швецов, Д. Худоба, Дж. Карпентер, Д. Л. Надь, А. Харрисон, Н. Кучерка, Т. Кулевой, Ф. Мезеи, П. Микула, В. Несвижевский, Л. Роста, А. Сидоркин, И. Третьяков

### **Теоретическая физика**

Д. Казаков, О. Теряев, С. Неделько, А. Андреев, Н. Антоненко, Р. Джолос, Е. Колганова, С. Кривонос, В. Осипов

### **Радиобиология и астробиология**

Е. Красавин, М. Островский, А. Розанов, Г. Ширков, А. Бугай, И. Кошлань, Г. Тимошенко, Е. Насонова, Р. Арутюнян, М. Валигурски, А. Газиев, А. Григорьев, Р. Хувер, Е. Ди Мауро

### **Информационные технологии**

В. Кореньков, Я. Бёрд, А. Климентов, В. Ли, П. Христов, О. Смирнова, Т. Стриж, Г. Адам, В. Гердт, П. Зрелов, А. Долбилов, Д. Подгайный, Н. Войтишин

## **Экспертно-аналитическая рабочая группа ОИЯИ**

Г. Трубников (председатель)

Р. Джолос, Б. Шарков (заместители председателя)

А. Верхеев, Н. Войтишин, А. Жемчугов, Д. Каманин, А. Карпов, Е. Колганова, Л. Колупаева, О. Куликов, Н. Кучерка, С. Неделько, Д. Пешехонов, Т. Стриж, А. Хведелидзе, И. Сулейманов

## СОДЕРЖАНИЕ



ОИЯИ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА 4



ПРЕДИСЛОВИЕ 6



ДОЛГОСРОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ПЛАН 8



ОИЯИ: ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ.  
ИНСТИТУТ — ЭТО ЛЮДИ 27



НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ 30



УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ОИЯИ КАК МЕЖДУНАРОДНОЙ  
МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ 32



КАДРОВАЯ ПОЛИТИКА 35



СОЦИАЛЬНАЯ СРЕДА: ПРИТЯГАТЕЛЬНОСТЬ,  
ВЗАИМНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ, ОТКРЫТОСТЬ 37



ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ АДМИНИСТРАТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ 39



ПОКАЗАТЕЛИ И МОНИТОРИНГ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ 41



## ОИЯИ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

Объединенный институт ядерных исследований образован в 1956 году с целью объединения усилий государств, вошедших в его состав, для исследования фундаментальных свойств материи. Создание ОИЯИ отвечало послевоенному стремлению государств перейти к мирному созиданию и организационно объединить ученых многих стран для реализации программ научных исследований такого масштаба и сложности, которые недостижимы на национальном уровне. ОИЯИ, будучи международной межправительственной организацией, с момента своего основания был призван играть интегрирующую роль как непосредственно в научных исследованиях, так и в подготовке кадров высокой квалификации, воплощая идею «Наука сближает народы».

В Институте создан уникальный набор экспериментальных физических установок мирового уровня: сверхпроводящий релятивистский ускоритель ядер и тяжелых ионов Нуклотрон, циклотроны тяжелых ионов У-400 и У-400М с рекордными параметрами пучков для проведения экспериментов по синтезу сверхтяжелых элементов и экзотических ядер, уникальный высокопоточный нейтронный импульсный реактор ИБР-2. Экспериментальная научная программа ОИЯИ опирается на блестящую школу теоретической физики, огромный опыт в применении методики физического эксперимента и самые современные достижения в области информационных технологий, включая грид, облачные и суперкомпьютерные технологии. Осуществлен ряд проектов, направленных на развитие научной инфраструктуры государств-членов ОИЯИ, сооружение новых установок и разработку науч-

ных программ для них. Интеллектуальный и материальный вклад ОИЯИ в крупнейшие международные проекты в ЦЕРН, США, Германии, Японии, Италии, Китае, Франции стал одним из ключевых в достижении мировых результатов этих коллабораций, обогативших копилку знаний всего человечества. В ОИЯИ выросло несколько поколений высококвалифицированных ученых и специалистов из многих стран, в первую очередь государств-членов ОИЯИ, плодотворно работающих в ведущих научных организациях и университетах по всему миру.

Сегодня ОИЯИ входит в тройку крупнейших по численности персонала международных межправительственных организаций и находится на шестом месте по объему финансирования. Институт активно развивается. Сооружается установка класса мегасайенс – уникальный коллайдер релятивистских тяжелых ионов NICA; введена в строй Фабрика сверхтяжелых элементов как основа проекта DRIBs-III; быстрыми темпами создается крупнейший в Северном полушарии глубоководный нейтринный телескоп на озере Байкал – ключевой элемент глобальной системы мониторинга космических нейтрино; развивается комплекс спектрометров на реакторе ИБР-2; разрабатывается проект нового нейтронного источника с параметрами, превосходящими мировые импульсные источники нейтронов; непрерывно расширяет свои мощности один из самых крупных и производительных на территории России и Восточной Европы гетерогенный информационно-вычислительный комплекс.

Экспериментальная база ОИЯИ позволяет проводить не только передовые фундаментальные, но и прикладные исследова-

ния в области физики конденсированного состояния, радиобиологии, радиационной и космической медицины, материаловедения, физики низких температур, геофизики и геологии, палеонтологии и археологии, инженерной диагностики, направленные на изучение строения и свойств наносистем и новых материалов, биологических объектов, на разработку и создание новых электронных, био- и информационных технологий.

В течение последнего десятилетия обновление и развитие экспериментальной базы являлось приоритетной задачей деятельности Института, что отражено в семилетних планах развития ОИЯИ на 2010–2016 и 2017–2023 годы. Стратегический план долгосрочного развития Объединенного института ядерных исследований на период до 2030 года и далее (далее – Стратегия развития, Стратегический план), наряду с совершенствованием научно-исследовательской инфраструктуры и формированием передовой мультидисциплинарной научной программы, направлен на комплексное развитие интеллектуального потенциала и укрепление Института как международной межправительственной научной организации.

Миссия ОИЯИ в условиях глобализации науки состоит в достижении международ-

ного лидерства государств-членов ОИЯИ в профильных для Института сферах науки и технологий через интеграцию их интеллектуальных, финансовых, материальных ресурсов. Развитие Института опирается на национальные научные школы и культурные традиции с целью получения научных результатов, как правило, недостижимых в рамках национальных институтов и других форм международного научного сотрудничества, а также для подготовки кадров высочайшей квалификации для государств-членов и партнеров ОИЯИ.

Решение этого спектра задач достигается через развитие постоянно действующей платформы международного обмена знаниями и технологиями, осуществление множества проектов различного масштаба и характера одновременно, обеспечение баланса интересов государств-членов в выборе тематики и форм сотрудничества, а также преемственности и тематической гибкости научной программы в стратегической перспективе. Содействие превращению результатов творческого труда ученых и специалистов в инновации, распространение в обществе информации о достижениях современной науки и их влиянии на социально-экономическое развитие человечества – важные составляющие для достижения Институту поставленных задач.

Комитет полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ



## ПРЕДИСЛОВИЕ



Объединенный институт ядерных исследований представляет Стратегический план долгосрочного развития Института на период до 2030 года и далее. ОИЯИ позиционирует себя как часть глобальной семьи уникальных лабораторий мира. Членство в этом сообществе обязывает Институт обеспечивать высочайшее качество научной повестки, видение далеких перспектив, мудрое планирование, обязывает ценить сотрудничество и – самое главное – людей, которые занимаются наукой. В связи с этим в 2017 году была начата концептуальная работа над долгосрочным научным планом как ядром Стратегического плана долгосрочного развития: создана международная рабочая группа, включающая всемирно признанных экспертов. Предложения этой группы и семи рабочих подгрупп определили направления современной науки, которыми в будущем будет заниматься ОИЯИ: ядерная физика низких энергий, релятивистская физика тяжелых ионов и спиновая физика, физика частиц и высоких энергий, физика нейтрино и астрофизика, физика конденсированных

сред и нейтронная физика, радиобиология и астробиология, ядерная медицина, теоретическая физика, информационные технологии и высокопроизводительные вычисления. Перед экспертами стояла амбициозная и ответственная задача – обозначить наиболее привлекательные на сегодняшний день и в перспективе направления физики.

Работа над реализацией этого документа уже начата: в 2020 году Ученый совет ОИЯИ и Комитет полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ одобрили концепцию Стратегического плана и поручили дирекции продолжить стратегическое планирование в направлении разработки следующего семилетнего плана развития ОИЯИ.

Стратегия ОИЯИ в целом направлена на укрепление сотрудничества в нашей общей, международной научной семье. Будет установлена тесная взаимосвязь как с национальными исследовательскими стратегиями и приоритетами стран-участниц ОИЯИ, так и с Европейской стратегией по ядерной физике, Европейской и Всемирной стратегиями в области физики частиц, а также с глобальными стратегиями по астрофизике, биофизике, нейтронным исследованиям и Инициативой по большим данным.

Стратегический план затрагивает не только «чистую науку», но и важные вопросы научного сотрудничества, человеческие ресурсы, социальную среду, цифровизацию и администрирование, инновационную политику, систему мониторинга и индикаторов, т. е. те существенные аспекты, которые определяют развитие современной международной межправительственной научной



организации. Все это стало предметом активных обсуждений экспертно-аналитической рабочей группы ОИЯИ в 2020 году.

От имени дирекции ОИЯИ я хотел бы поблагодарить коллег из стран-участниц ОИЯИ и всего мира, участвовавших в составлении и утверждении этого документа.

Теперь перед нами стоит новый вызов – совместными усилиями стремиться к этим амбициозным ориентирам. Надеемся на вашу всестороннюю поддержку.

Директор ОИЯИ  
Г. В. Трубников



## ДОЛГОСРОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ПЛАН

### ВВЕДЕНИЕ

Стратегия дальнейшего развития ОИЯИ (до 2030 года и далее) как международной межправительственной научно-исследовательской организации базируется на закреплённой в Уставе ОИЯИ основной цели – объединении усилий, научного и материального потенциала государств-членов Института для изучения фундаментальных свойств материи.

Цель этого долгосрочного плана – показать привлекательность ОИЯИ для государств-членов Института (правительств стран-участниц, ученых, инженеров, техников и студентов), а также для международного сообщества ученых в ближайшем будущем. Эта стратегия направлена на укрепление уникального статуса ОИЯИ как одной из немногих крупных международных межправительственных организаций, где фундаментальные исследования успешно проводятся на высшем мировом уровне в беспрецедентно широком спектре важных научных направлений в течение последних 65 лет.

Стратегия долгосрочного развития является результатом интенсивных дискуссий ученых ОИЯИ с всемирно признанными научными экспертами.

Стратегический план долгосрочного развития ОИЯИ демонстрирует твердую решимость Института оставаться в авангарде науки в обозначенных областях фундаментальных исследований. Он по-прежнему будет неотъемлемой частью Европейской стратегии по ядерной физике, Европейской и Всемирной стратегий в области физики

частиц, а также глобальных стратегий по астрофизике, биофизике и нейтронным исследованиям.

На основе проведенной работы сформирован план, в который в качестве стратегически важных включены как уже действующие инфраструктурные объекты, так и строящиеся и планируемые, а именно:

- Фабрика сверхтяжелых элементов;
- флагманский проект NICA с программой исследований на фиксированной мишени и в режиме коллайдера для столкновений релятивистских тяжелых ионов;
- комплекс NICA для спиновой физики на поляризованных пучках;
- глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD;
- новый импульсный источник нейтронов DNS-IV на базе высокоинтенсивного импульсного нейтронного реактора ИБР-3 с активной зоной из Np-237;
- облучательные установки для материаловедения и радиобиологии;
- новый коллайдер редких изотопов RICEF;
- новый центр инновационных исследований в области ядерных технологий, включая радиобиологию и лучевую терапию;
- постоянно совершенствуемая инфраструктура высокопроизводительных вычислений – суперкомпьютер и динамично развивающаяся IT-платформа, отвечающие стремительному прогрессу в мире информационных технологий.

ОИЯИ имеет многолетний опыт успешного участия в передовых экспериментах в области релятивистской физики тяжелых ионов, физики элементарных частиц

и нейтринной физики в лабораториях многих стран. Стратегия предусматривает продолжение участия Института в нейтринных экспериментах, а также в экспериментах в ускорительных центрах мира (ЦЕРН, BNL, DESY, FAIR, GSI), где созданы уникальные условия для проведения исследований в области релятивистской физики тяжелых ионов

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Успешное будущее ОИЯИ основывается на уникальных традициях Института и выборе направлений научных исследований на переднем крае фундаментальной науки в духе международного взаимодействия и конкуренции, а также на открытости для структурных и методических изменений в междисциплинарном сотрудничестве.

За последние десятилетия в лабораториях ОИЯИ накоплен огромный опыт и знания. Хотя сотрудничество между ними всегда было очень важным фактором для развития новых научных направлений и проектов в Институте, обмен опытом и знаниями между лабораториями должен быть усилен за счет укрепления междисциплинарного взаимодействия и скорректирован в соответствии с вызовами современной науки.

Успешная реализация амбициозной долгосрочной программы требует координации кадровых и материальных ресурсов. В условиях жесткой конкуренции в сфере науки и технологий необходимы новые цифровые и информационные подходы, создание центров по разработке передовых детекторов и новейших ускорительных технологий. Необходимо создать новые центры компетенции ОИЯИ по датчикам/детекторам и микроэлектронике, а также центр компетенции по ускорителям, охватывающий целый ряд областей, востребованных в ОИЯИ: широкий спектр ионных и электронных пучков в диапазоне энергий от кэВ до ГэВ, разные типы ускорителей – от циклотронов, линейных ускорителей, синхротронов до новых установок, использующих современные

и спиновой физики. При этом ключевым фактором будет взаимная выгода от обмена данными, новыми научными технологиями и теоретическими разработками. Участие ОИЯИ в каждом случае должно давать весомый вклад, зависеть от научного потенциала экспериментов, а также ведущей роли ученых из ОИЯИ в коллаборации.

ускорительные технологии и материалы в сочетании с современными цифровыми и информационными подходами. Новые центры будут консолидировать накопленный лабораториями разнообразный опыт, что позволит ОИЯИ эффективнее решать задачи научной программы исследований.

Благодаря созданию центров компетенции по детекторам и микроэлектронике, а также по современным ускорительным технологиям ОИЯИ будет развиваться как один из ведущих исследовательских центров мира.

Стратегия долгосрочного развития ОИЯИ, изложенная в этом документе, демонстрирует привлекательность Института в различных аспектах: наука высочайшего уровня, образование, инновации, атмосфера взаимовыгодного научного творчества, комфортные и безопасные условия жизни. Государства-члены ОИЯИ должны видеть явные преимущества и выгоды от интеграции своих финансовых и человеческих ресурсов в ОИЯИ для участия в совместной исследовательской деятельности, которую они не могли бы выполнить самостоятельно.

ОИЯИ работает на переднем крае нескольких областей науки, признанных во всем мире в качестве очень важных и сложных стратегических направлений исследований.

Большинство исследований будет проводиться в экспериментах на базе ОИЯИ, но участие в международных коллаборациях за пределами Института составляет важную часть программы исследований. Стратеги-

чески важными направлениями исследований в ОИЯИ будут:

- ядерная физика низких энергий;
- релятивистская ядерная и спиновая физика;
- физика частиц и высоких энергий;
- нейтринная физика и астрофизика;
- физика конденсированных сред и нейтронная ядерная физика;

- радиобиология, астробиология и радиационная медицина;
- теоретическая и математическая физика, космология;
- информационные технологии и высокопроизводительные вычисления.

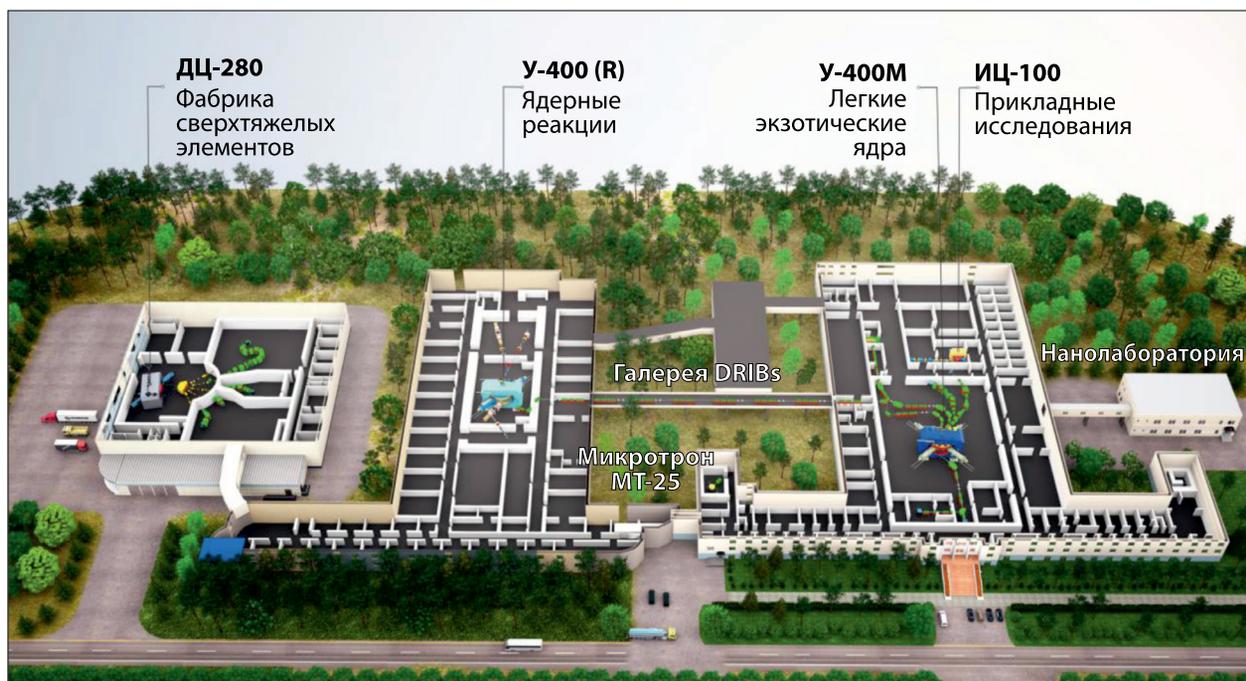
## ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

С момента образования ведущим направлением научных исследований Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова (ЛЯР) ОИЯИ является синтез новых элементов Периодической системы Д. И. Менделеева, изучение их свойств методами ядерной спектроскопии ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -спектроскопии) и с помощью химического анализа, а также всестороннего исследования различных ядерных реакций, ведущих к образованию новых, еще неизвестных ядер.

Продолжение этих исследований станет основной частью программы ЛЯР на следующее десятилетие: поиск границ существования ядерной материи путем со-

средоточения внимания на границах острова стабильности сверхтяжелых элементов (СТЭ) – области карты нуклидов, где могут быть обнаружены долгоживущие изотопы. Для этого построена Фабрика СТЭ на базе ускорителя тяжелых ионов ДЦ-280 – лидера среди ускорителей такого типа в мире. Существенное повышение (более чем в 10 раз) эффективности экспериментов необходимо для синтеза еще более тяжелых элементов 119 и 120, а также для изучения ядерных и химических свойств уже известных элементов.

Измерение масс СТЭ в ЛЯР планируется с использованием нового сепаратора, крио-



План ускорительного комплекса ЛЯР

генной газовой ионной ловушки и время-пролетного масс-спектрометра.

Предусмотрено строительство специализированного комплекса зданий с радиохимическими лабораториями 1-го класса для изготовления и регенерации высокорadioактивных мишеней, что завершит создание Фабрики СТЭ.

Еще одним научным направлением в области СТЭ станет изучение реакций мно-

гонуклонных передач при столкновениях актинидов с энергией вблизи барьера, перспективных для синтеза новых нейтронно-избыточных изотопов тяжелых и сверхтяжелых элементов вплоть до линии бета-стабильности. На модернизированном ускорительном комплексе У-400Р будут созданы необходимые условия для углубленного изучения этих и других низкоэнергетических ядерных реакций с тяжелыми ионами.

## ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА НА ПУЧКАХ РЕДКИХ ИЗОТОПОВ

Цель исследований на пучках редких изотопов (RIB) – получить полное представление о карте нуклидов от стабильных изотопов до границ существования ядерной структуры.

В рамках долгосрочной стратегии ОИЯИ рассматривает еще одну амбициозную программу в области ядерной физики, которая активно прорабатывается мировым сообществом в течение последних трех десятилетий. Эксперименты на пучках редких изотопов, далеких от границы стабильности, будут дополнять исследования сверхтяжелых элементов, проводимые в ЛЯР, и позволят ОИЯИ оставаться в авангарде ядерной физики и обеспечивать современный уровень исследований в этой области для государств-членов ОИЯИ и международного сообщества.

ЛЯР ОИЯИ обеспечит продолжение экспериментальных исследований в области легких экзотических ядер, находящихся на границах ядерной стабильности, включая изучение ядерного гало, нейтронной шубы, кластерных состояний, экзотических мультинейтронных распадов (двухнуклонных виртуальных состояний,  $2n$ - и  $4n$ -радиоактивности), двухпротонной радиоактивности, поиск новых магических чисел, спектроскопию экзотических ядер и реакции с галоядрами. Эта экспериментальная программа будет реализована в основном на фрагмент-сепараторе ACCULINNA-2 ускорительного комплекса У-400М.

При поддержке ведущих ученых мира ОИЯИ предложил разработать и построить мощный коллайдер редких изотопов RICF для решения широкого спектра задач современной ядерной физики по интенсивным вторичным пучкам (синтез и производство новых изотопов, определение их масс, времени жизни и мод распада, ядерные реакции и спектроскопия).

Концепция RICF сочетает в себе производство изотопов методом фрагментации и сепарации «in-flight» (первичные пучки вплоть до урана с энергией  $\sim 100$  МэВ/нуклон), последующую остановку пучка с помощью газовой ловушки, повторное ускорение с помощью комбинации линейного ускорителя и синхротрона, накопительные кольца, использование постускоренных пучков редких изотопов для исследования реакций. Основное внимание в проекте уделяется физике накопительных колец с конечной целью экспериментального исследования рассеяния электронов на пучках редких изотопов в коллайдерной моде. Реализация этой передовой программы может потребовать пересмотра существующей структуры ОИЯИ и создания новой лаборатории или межлабораторного центра.

Усиленный Фабрикой СТЭ в ЛЯР, а затем комплексом RICF, ОИЯИ станет уникальной организацией в мире, дополняющей лучшие установки ведущих ядерно-физических центров – FAIR/GSI в Германии, RIKEN в Японии, FRIB в США и GANIL/SPIRAL 2 во Франции.

## РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ФИЗИКА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ПРОЕКТЕ NICA

С самого начала исследований в области релятивистской ядерной физики в начале 1970-х годов в ОИЯИ проводились эксперименты на синхрофазотроне, позже – на Нуклотроне, Институт стал важным участником программы по изучению тяжелых ионов на SPS в ЦЕРН, сначала в экспериментах WA98 и NA49/NA61, а затем в ALICE.

Эта деятельность послужила мотивацией для мегасайенс-проекта NICA и стратегии развития, представленной ниже. Основными задачами являются:

а) своевременное завершение строительства комплекса NICA, ввод в эксплуатацию и его бесперебойная работа;

б) завершение создания детекторов BM@N и MPD, успешный сбор данных в ближайшие десятилетия;

в) модернизация стартовой версии детектора MPD после нескольких лет его работы в соответствии с возможным увеличением светимости NICA и добавление детекторов в области больших быстроев, как это планировалось в исходной компоновке MPD;

г) исследование возможности будущего расширения NICA для ускорения электронов, интенсивных пучков протонов, а также радиоактивных тяжелых ядер, открывающего новый физический потенциал через столкновения  $e-p$  и  $e-A$ .

Для разработки детекторов BM@N и MPD созданы соответствующие международные коллаборации.



## УЧАСТИЕ ОИЯИ ВО ВНЕШНИХ ПЕРЕДОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Стратегическое значение имеет участие ОИЯИ в передовых экспериментах за пределами Института как на существующих установках (LHC, SPS, RHIC), так и на строящихся объектах, например, на международной установке FAIR в Германии, а также в разработке проектов, например, будущего электрон-ионного коллайдера (EIC) в США. При этом ключевым фактором является вза-

имная выгода от обмена данными, новыми научными технологиями и теоретическими разработками. Стратегия ОИЯИ по совместным исследованиям в других ускорительных центрах определяется научным потенциалом эксперимента и его ценностью для ОИЯИ, FAIR и ЦЕРН в рамках глобальных стратегий ЕС.

## СПИНОВАЯ ФИЗИКА НА КОЛЛАЙДЕРЕ NICA

Спиновая физика являлась одним из ключевых направлений исследований еще на синхрофазотроне, затем на Нуклотроне. И сегодня изучение вклада глюонов в структуру нуклона имеет фундаментальное значение для понимания внутренней структуры нуклона в целом. Структура неполяризованного нуклона хорошо известна, в то время как наши знания о распределении поляризованных партонов ограничены.

Поляризованные пучки протонов и дейтронов будут доступны на ускорительном комплексе NICA, и эксперименты с ними будут возможны во второй точке встречи пучков коллайдера. Ожидается, что светимость будет находиться в диапазоне  $10^{30}$ – $10^{32}$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>. Достижение такой высокой светимости столкновений поляризованных протонов и дейтронов на коллайдере NICA позволит исследовать самые разные спино-

вые и поляризационно-зависимые эффекты в адрон-адронных столкновениях.

Основной целью предлагаемого эксперимента SPD является изучение поляризованной глюонной структуры протона и дейтрона при образовании чармония, открытого чарма и прямых фотонов. На начальном этапе детектор спиновой физики SPD должен фокусироваться на различных неполяризованных и спинзависимых эффектах во взаимодействиях протонов, дейтронов и легких ядер.

Международная коллаборация SPD представила концептуальный проект эксперимента SPD на коллайдере NICA. Для завершения подготовки технического проекта к концу 2021 года обсуждаются и моделируются различные технические варианты. Планируется, что детектор SPD будет готов к сбору данных после запуска коллайдера NICA.

## ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ НА LHC И ЗА ЕГО ПРЕДЕЛАМИ

ОИЯИ глубоко вовлечен в международное сообщество по физике элементарных частиц, внес важный вклад в развитие аппаратной части научно-технической инфраструктуры внутри и за пределами ОИЯИ, а также активно участвует в получении научных результатов посредством анализа данных. Общая стратегическая позиция ОИЯИ в программе по физике элементарных частиц направлена на глубокую интеграцию в Европейскую и Всемирную стратегии изучения физики элементарных частиц и должна гарантировать важную роль ОИЯИ в этой области науки.

Стратегия ОИЯИ основана на балансе между своими собственными и внешними международными экспериментами. И те, и другие должны быть научно обоснованными, четко определенными, расширять границы нашего понимания физических законов, управляющих Вселенной. Исследователи из всех стран-участниц ОИЯИ должны иметь

возможность участвовать в инициации новых исследований и использовать потенциал уникальной инфраструктуры ОИЯИ.

Основные направления исследований на средне- и долгосрочный периоды связаны:

- с прецизионным исследованием сильно взаимодействующих состояний, включая протонную структуру, фазы КХД, такие как кварк-глюонная плазма, новые адронные состояния, в том числе экзотические многокварковые состояния;
- с изучением физики электрослабого взаимодействия и физики ароматов;
- с дальнейшим продвижением в понимании эволюции Вселенной в экспериментах на коллайдерах, включая поиск темной материи;
- с астрофизическими и космологическими наблюдениями и исследованиями гравитационных волн, многоканальной астрономией и темным сектором в неускорительных экспериментах;

- с экспериментальным и теоретическим определением модели, выходящей за рамки Стандартной модели (BSM);
- с развитием ускорительной науки и технологий.

Многие, если не все, из этих направлений взаимосвязаны и предполагают синергетический эффект.

## ИССЛЕДОВАНИЯ НА БАЗЕ УСКОРИТЕЛЕЙ И ПЕРЕДОВЫЕ УСКОРИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОИЯИ, более 25 лет являющийся членом коллабораций ALICE, ATLAS и CMS на LHC в ЦЕРН, остается одним из основных участников, вкладывающих большие средства в эти проекты. Главными открытиями в этих экспериментах стали наблюдение образования бозона Хиггса и его распадов, а также кварк-глюонной плазмы при очень высоких температурах. С 2023 по 2026 год LHC будет модернизирован до LHC высокой светимости (HL-LHC). Ожидается, что его интегральная светимость к 2038 году будет в 20 раз больше, чем все накопленные к настоящему времени статистические данные, что даст простор для дальнейших исследований и открытий.

ОИЯИ планирует и далее инвестировать в ATLAS: в модернизацию плоских резистивных камер мюонной системы, модернизацию электроники жидкоаргонового калориметра, адронного тайл-калориметра, системы TDAQ и производство высокогранулярного временного детектора (HGTD). В CMS инвестиции будут направлены на модернизацию торцевой мюонной системы, основанной на прецизионных катодно-стриповых камерах (CSCs), и создание высокогранулярных адронных калориметров (HGCALs).

В долгосрочной перспективе, после модернизации LHC до LHC высокой светимости, ОИЯИ призван играть ведущую роль в физическом анализе, а именно в преци-

зионных измерениях в рамках SM, поиске физики за рамками SM (BSM), включая суперсимметрию и экзотику, в исследованиях структуры адронов.

Ученые ОИЯИ участвуют в изучении различных сценариев дальнейшего расширения границ энергии и светимости в эпоху после HL-LHC и, когда потребуется, будут обладать необходимым опытом, чтобы играть ведущую роль в этих исследованиях.

Что касается физики более низких энергий, Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Дзелепова (ЛЯП) участвует в экспериментах COMET, BES-III, PANDA на FAIR, Mu2e. Лаборатория физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина (ЛФВЭ) в основном занимается экспериментами BM@N, MPD и SPD на Нуклотроне и коллайдере NICA, а также задействована в экспериментах COMPASS-2, NA61, NA62, NA64 на SPS в ЦЕРН, STAR на RHIC и в экспериментах HADES, CBM и PANDA на FAIR.

Безусловно, участие ОИЯИ в этих выездных экспериментах – как на существующих, так и на создаваемых установках – будет оцениваться с точки зрения научной пользы и потенциала открытий, а также с учетом приоритетов ОИЯИ. Как уже говорилось ранее, ключевым фактором должна быть взаимная выгода от обмена данными, новыми научными технологиями и теоретическими разработками.

## ФИЗИКА НЕЙТРИНО И АСТРОФИЗИКА

Физика нейтрино играет ключевую роль в понимании законов, управляющих Вселенной. Значение нейтринной физики неуклон-

но растет с тех пор, как она вступила в эру прецизионных измерений.

В ОИЯИ, благодаря исследованиям, проводимым Б. Понтекорво с 1950-х годов, существует сильная и влиятельная нейтринная школа. ОИЯИ возглавляет крупнейшую в мире нейтринную программу, охватывающую все источники нейтрино, сильные теоретические исследования и анализ данных.

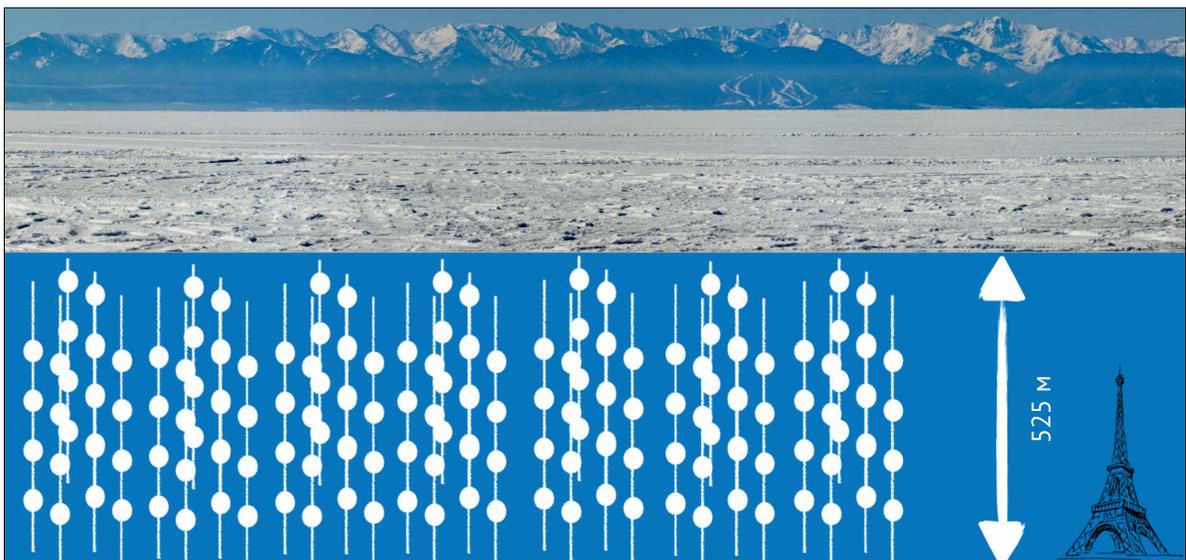
Совместно с Институтом ядерных исследований РАН (Москва) ОИЯИ играет ведущую роль в строительстве, сборе данных, реконструкции, калибровке и анализе данных нейтринного телескопа Baikal-GVD (гигатонного объемного детектора) с целью достижения эффективного объема глубоководного детектора  $0,4 \text{ км}^3$  к 2021 году и  $1,0 \text{ км}^3$  к 2027 году. Сегодня Baikal-GVD – самый большой нейтринный телескоп в Северном полушарии с детектором объемом  $0,35 \text{ км}^3$ .

ОИЯИ намерен и дальше укреплять свои лидирующие позиции, существенно наращивая усилия по анализу данных для по-

лучения научных результатов высочайшего уровня при наблюдении астрофизических нейтрино сверхвысоких энергий и в связанных с этим исследованиях.

Основной целью JUNO, эксперимента по реакторным антинейтрино, является определение иерархии масс нейтрино с доверительным уровнем вероятности 3–4 стандартных отклонения. ОИЯИ является крупным участником эксперимента JUNO, внесшим значительный научный и материальный вклад.

Следующий прорыв в определении иерархии масс нейтрино и CP-нарушения в лептонном секторе можно ожидать на основе глобального анализа нейтринных данных и прецизионных измерений в экспериментах с длинной базой на ускорителях. ОИЯИ, успешно участвуя в эксперименте NOvA, намерен присоединиться к эксперименту DUNE в США.



Baikal-GVD (гигатонный объемный детектор)

## МНОГОКАНАЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ И ОБНАРУЖЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

В настоящее время считается, что явления, происходящие во Вселенной, следует изучать путем одновременного наблюдения за разными сигналами. Полученная информация может расширить представление об эволюции Вселенной.

Упомянутый выше проект Baikal-GVD является одним из краеугольных камней этого подхода. Установка TAIGA – набор гамма- и мюонных телескопов, размещенных в Сибири, в Тункинской долине, к югу от озера Байкал, может рассматриваться как

дополнительный инструмент с точки зрения многоканальной астрономии. Вместе Baikal-GVD и TAIGA могут обеспечить уникальное многоканальное наблюдение за Вселенной, интегрированное в глобальную астрофизическую сеть.

Открытие гравитационных волн — одно из самых замечательных открытий в истории, распахнувшее новое окно для наблюдения за Вселенной. Ученые ОИЯИ предлагают продолжить это направление исследований, которое требует развития новых знаний во

многих областях, от общей теории относительности до прецизионной лазерной интерферометрии. Важно отметить, что ОИЯИ уже сделал первый шаг в этом направлении, установив изобретенный в ЛЯП новый лазерный инклинометр на детекторе VIRGO. В среднесрочной перспективе ОИЯИ будет готовиться к компетентному сотрудничеству в работе на существующих детекторах гравитационных волн, таких как LIGO или VIRGO, и/или детекторе третьего поколения Einstein.

## НЕЙТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД И НЕЙТРОННАЯ ФИЗИКА

ОИЯИ имеет значительный опыт и давние традиции в исследованиях в области конденсированного состояния вещества и нейтронной физики с использованием нейтронов исследовательских реакторов Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка (ЛНФ). ОИЯИ намерен и впредь оставаться на переднем крае науки в этой области, создав наиболее перспективный и совершенный нейтронный источник.

В современной науке нейтроны используются для изучения фундаментальных взаимодействий и симметрий, структуры и свойств атомных ядер, но в настоящее время наиболее широко — в физике конденсированного состояния вещества, молекулярной биологии, структурной химии, материаловедении, в системах неразрушающего контроля объемных материалов и промышленных изделий. Кроме того, нейтроны сверхнизких энергий также являются весьма перспективным инструментом для исследований в области физики элементарных частиц и изучения фундаментальных взаимодействий.

Если принять во внимание современные тенденции и динамику развития нейтронных установок, после 2030 года будут доступны для исследований только пять нейтронных источников, в том числе три действующих в настоящее время (ISIS (Дидкот, Велико-

британия), SINQ (PSI, Виллиген, Швейцария), FRM II (TU, Мюнхен, Германия)) и два новых источника (ESS (Лунд, Швеция) и стационарный реактор ПИК (ПИЯФ НИЦ КИ, Гатчина, Россия)), оба находящиеся в стадии строительства с началом эксплуатации, запланированным на 2023–2024 годы.

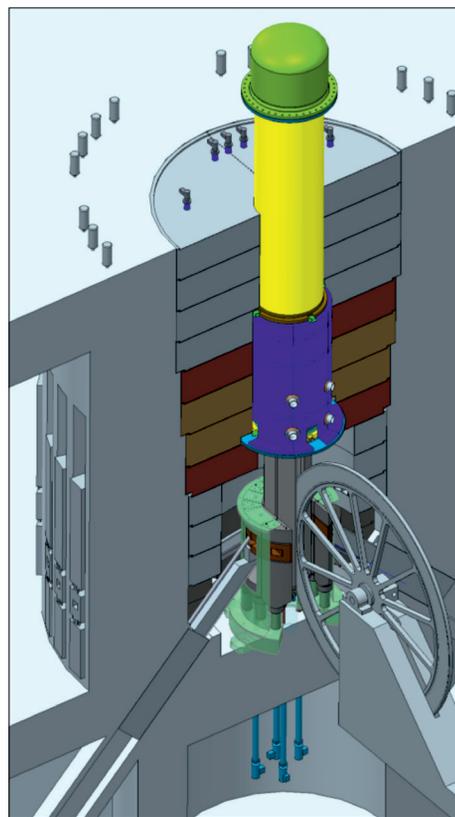
Таким образом, потребность в высокопоточном источнике нейтронов нового поколения обусловлена растущим интересом к нейтронным исследованиям на фоне неуклонно сокращающегося числа нейтронных источников в мире, о чем свидетельствует анализ специально созданной в ESRF рабочей группы по разработке стратегии в области физики и техники. Такой новый источник в значительной степени компенсирует потери «пучкового» времени в других европейских центрах и привлечет пользователей, которые в настоящее время проводят эксперименты на реакторе в ILL и на среднеточечных реакторах в Германии, Франции и Венгрии.

ОИЯИ выступил с предложением создать на своей площадке новый перспективный источник нейтронов ДИН-IV (Дубненский источник нейтронов 4-го поколения). В сочетании с новейшими замедлителями, нейтронноводами и нейтронными установками ДИН-IV обещает стать одним из лучших

источников нейтронов в мире и откроет беспрецедентные возможности для ученых из стран-участниц ОИЯИ и всего мира для исследований в области физики конденсированных сред, фундаментальной физики, химии, новых материалов и наук о жизни.

ДИН-IV обеспечит получение более коротких нейтронных импульсов, сохраняя такую же плотность потока, как и у Европейского испарительного источника ESS, который будет введен в эксплуатацию в 2024 году. Он действительно будет не хуже ESS для экспериментов с низким разрешением и значительно превзойдет его в отношении экспериментов с высоким разрешением.

По результатам анализа различных концепций нового источника в качестве рабочей для ДИН-IV был выбран импульсный нейтронный реактор ИБР-3 с активной зоной из  $^{237}\text{Np}$  (предполагаемое начало эксплуатации 2036–2037 годы).



Схематическое изображение ИБР-3

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

На протяжении всей истории ОИЯИ исследования в области теоретической физики были одним из столпов научной программы ОИЯИ, что способствовало многим выдающимся достижениям. Лаборатория теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова (ЛТФ) — один из крупнейших в мире научно-исследовательских центров, специализирующихся на теоретических исследованиях в области фундаментальной физики. ЛТФ обладает опытом работы в широком спектре направлений, связанных с теорией фундаментальных взаимодействий, теорией ядра, физикой конденсированных сред и современной математической физикой. Исследования в ЛТФ ведутся в тесном сотрудничестве с учеными из многих ведущих мировых научно-исследовательских центров и в соответствии с экспериментальной программой ОИЯИ.

Научно-организационная политика лаборатории опирается на междисциплинарные теоретические исследования на основе передовой математики, поддержку экспериментальной программы ОИЯИ, укрепление научного потенциала посредством взаимодействия исследований и образования. Эти принципы, а также формирование международных научных групп, занимающихся углубленным изучением возникающих «горячих» тем, будут в центре внимания долгосрочного развития теоретической физики в ОИЯИ.

ЛТФ и ОИЯИ будут сохранять привлекательность для международного научного сообщества, организуя серию тематических семинаров, конференций и школ для молодых ученых. Особое внимание будет уделено активному участию ЛТФ в образовательных программах ОИЯИ, а также ее

прямому сотрудничеству с университетами стран-участниц ОИЯИ. Уникальной особенностью Дубненской международной школы теоретической физики (DIAS-TH) является ее последовательная интеграция в научную

жизнь ЛТФ и ОИЯИ, что обеспечивает регулярное и естественное участие ведущих ученых в образовательной и учебной деятельности.

## **ТЕОРИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ**

Теория фундаментальных взаимодействий элементарных частиц, основанная главным образом на квантовой теории поля, играет центральную роль в описании свойств материи на микроскопическом уровне. В частности, она составляет прочную основу для количественного анализа как ускорительных, так и неускорительных экспериментов с лептонами, адронами и тяжелыми ионами. Долгосрочная программа исследований ОИЯИ в этой области теоретической физики будет включать широкий спектр наиболее значимых тем – от прецизионной проверки Стандартной модели и критических явлений в адронной материи до проблем темной материи и темной энергии.

Основное внимание будет уделяться феноменологии Стандартной модели, по-

иску признаков новой физики за пределами Стандартной модели, физике нейтрино, структуре адронов и спиновой физике, физике тяжелых ароматов и адронной спектроскопии, критическим явлениям в горячей и/или плотной вращающейся адронной материи в присутствии сильных электромагнитных полей, проблеме темной материи и астрофизическим аспектам физики элементарных частиц. Теоретические исследования в области физики элементарных частиц и релятивистской ядерной физики будут сосредоточены на поддержке физических программ крупных международных коллабораций с участием ОИЯИ (LHC, RHIC, FAIR и др.), а также программ на базовых установках ОИЯИ, в первую очередь проектов NICA/MPD и NICA/SPD.

## **ТЕОРИЯ ЯДРА**

Центральные вопросы ядерной физики таковы. Как силы между нуклонами образуют связанные ядра? Как ядерная карта возникает из глубинных взаимодействий? Как возникает сложность связанных ядерных структур и структур континуума из взаимодействия между нуклонами? Какую роль может играть внутренняя кварковая структура нуклонов и их цветовые степени свободы в динамике ядерных реакций? Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо разработать единый теоретический подход к рассмотрению мало- и многочастичных систем, включая последовательное описание ядерных реакций. Такой подход будет играть важную роль в объяснении экспериментальных данных и в руководстве экспериментальными программами по ядерной структуре экзотических ядер, ядерной динамике и ядерной

астрофизике. В то же время теория ядра будет применяться в различных междисциплинарных исследованиях в области физики элементарных частиц, атомной и статистической физики.

Исследование свойств экзотических и сверхтяжелых ядер является целью экспериментальных проектов DRIBs-III и «Фабрика сверхтяжелых элементов» в ОИЯИ, а также проектов в Европе, США, Китае и Японии. Параллельно с этими экспериментами будут разработаны микроскопические самосогласованные ядерные модели, включающие в себя негармонические и фрагментационные эффекты за пределами приближения среднего поля. Модели должны оценивать скорости различных ядерных реакций для астрофизических целей. Ядерные реакции в звездной среде также будут изучаться

строгими методами теории малочастичных систем. В контексте междисциплинарных исследований методы теории малых тел

будут развиваться применительно к ультрахолодным атомам и молекулам в ограниченной геометрии лазерных ловушек.

## ТЕОРИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Программа исследований будет основана как на систематическом развитии общих методов статистической физики, так и на исследованиях в области физики конденсированных сред, тесно связанных с практическими проблемами в области нанотехнологий, для создания новых материалов и электронных устройств.

Модели в физике конденсированных сред будут изучаться с помощью методов равновесной и неравновесной статистической механики с целью выявления общих свойств многочастичных систем, основанных на идеях самоподобия и универсальности. Наряду с этим теоретические исследования будут сосредоточены на анализе систем с сильными электронными корреляциями, таких как соединения переходных металлов, высокотемпературные сверхпроводники, соединения с колоссальным маг-

нитосопротивлением (манганиты), системы с тяжелыми фермионами, низкоразмерные квантовые магнетики с сильной спин-орбитальной связью, топологические изоляторы и т. д. Теоретические исследования ЛТФ будут направлены на поддержку экспериментальных исследований конкретных материалов, проводимых в ЛНФ. Исследования в области наноструктур и наномасштабных явлений будут проводиться для определения физических характеристик наноматериалов, перспективных для различных применений в современных нанотехнологиях. Особый интерес представляют и также будут исследоваться проблема квантового переноса в углеродных и других структурах молекулярного масштаба, а также резонансные и туннельные явления в различных гетероструктурах и слоистых сверхпроводниках.

## СОВРЕМЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Теория суперструн – наиболее серьезный кандидат на роль единой теории фундаментальных взаимодействий, включая квантовую гравитацию, станет одной из основных тем исследований, проводимых в области математической физики в ЛТФ. Для этого потребуется широкий спектр точных классических и квантовых решений теории суперструн, применение современных математических методов для решения фундаментальных проблем суперсимметричных

калибровочных теорий, разработка микроскопического описания физики черных дыр и космологических моделей ранней Вселенной. Для применения и развития новых идей, генерируемых теорией струн, чрезвычайно важно использовать математические методы теории интегрируемых систем, квантовых групп и некоммутативной геометрии, суперполевые методы, в том числе метод гармонических суперпространств.

## ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Реализация намеченной программы исследований в области теоретической физики, связанной в первую очередь с решеточной КХД и в целом с теорией адронной материи в экстремальных условиях, многопетлевыми расчетами в Стандартной мо-

дели, астрофизическим и космологическим моделированием, будет стимулировать наращивание высокопроизводительной вычислительной инфраструктуры ОИЯИ до самого высокого уровня.

## РАДИОБИОЛОГИЯ И АСТРОБИОЛОГИЯ

Тяжелые заряженные частицы являются отличным инструментом для решения фундаментальных проблем современной радиационной биологии и генетики. В отличие от фотонного излучения, когда энергия равномерно распределяется по объему ядра облучаемой клетки, при прохождении тяжелых заряженных частиц через вещество энергия распределяется вдоль трека частицы. Это приводит к формированию сложных кластерных повреждений ДНК и определяет высокую биологическую эффективность частиц. Поэтому ионы с высоким зарядом и энергией, входящие в состав галактических космических лучей (ГКЛ), представляют большую угрозу для здоровья астронавтов во время пилотируемых полетов в дальний космос. Кроме того, адронные пучки – протонов и ионов углерода – имеют преимущество в радиационной терапии онкологических заболеваний, особенно глубоко залегающих опухолей, вследствие возрастающего энерговыделения в конце пробега частицы (пик Брэгга). Терапия опухолей заряженными частицами и обеспечение безопасности межпланетных пилотируемых полетов становятся все более актуальными областями современных радиобиологических исследований.

Радиобиологические эксперименты, запланированные на ускорителях ОИЯИ, будут направлены на изучение механизмов действия пучков заряженных частиц на молекулярном, клеточном, тканевом и организменном уровнях биологической организации. Особое внимание будет уделено прикладным инновационным исследованиям, в том числе новым способам повышения биологической эффективности лучевой терапии пучками заряженных частиц и анализу повреждений центральной нервной системы экспериментальных животных с целью оценки радиационных рисков для экипажей во время межпланетных полетов.

Лаборатория радиационной биологии (ЛРБ), член недавно образованной Между-

народной биофизической коллаборации, сотрудничает со многими научными учреждениями стран-участниц ОИЯИ и других стран.

Большим преимуществом проведения исследований в ЛРБ является наличие в институте многочисленных источников излучения, в том числе пучков тяжелых ионов различной энергии. Базовые установки ОИЯИ предоставляют прекрасную возможность моделирования биологического действия космической радиации. ЛРБ предложила новую методику моделирования на Нуклотроне полей излучения с непрерывными энергетическими спектрами частиц, генерируемых ГКЛ внутри космических аппаратов в глубоком космосе.

Еще одним важным преимуществом является отличная возможность проведения крупномасштабных экспериментов по облучению животных в сотрудничестве с ведущими специалистами в этой области – прежде всего с Институтом медико-биологических проблем РАН. В ЛРБ ведутся уникальные эксперименты на приматах по оценке радиационных рисков нарушений ЦНС (центральной нервной системы) и канцерогенеза. Предусмотрено применение современных омикс-технологий (геномики, транскриптомики, протеомики, метаболомики) для анализа радиационно-индуцированных нарушений ЦНС.

В ЛРБ ведется разработка различных подходов к повышению радиочувствительности опухолей путем вмешательства в действие биохимических регуляторных сетей клетки. С этой целью будет осуществляться применение фармацевтических препаратов, трансгенных систем и методов их адресной доставки. В ЛРБ разработан и недавно запатентован новый метод усиления биологической эффективности ионизирующих излучений с низким значением линейной передачи энергии путем трансформации нелетальных повреждений ДНК в летальные. Метод был испытан *in vitro* и *in vivo*, что делает его

очень перспективным для радиационной медицины.

ЛРБ разрабатывает иерархию математических моделей для моделирования радиационно-индуцированных патологий на различных уровнях организации и временных масштабах. Помимо традиционных методов Монте-Карло, подход ЛРБ включает в себя вычислительные методы из различных областей знаний (молекулярная динамика и моделирование нейронных сетей мозга). ЛРБ и NASA было инициировано и продолжается моделирование радиационных повреждений структур ЦНС.

Астробиология изучает жизнь в самом широком смысле: ее происхождение, эволюцию и присутствие во Вселенной. Чтобы ответить на вопрос об экзогенном происхождении жизни, ранние стадии перехода «от

неживого к живому» можно воспроизвести в наземных экспериментах с использованием пучков адронов в качестве источника энергии. Совместно с итальянскими университетами в рамках исследований гипотезы панспермии впервые был осуществлен синтез пребиотических соединений в системе «формаид + катализаторы» при действии пучков адронов.

Ключом к успешному выполнению Стратегического плана является возможность проведения радиобиологических исследований на Нуклотроне (ЛФВЭ). Будет создан специальный канал со сканирующим карандашным пучком, надлежащей оптикой и мониторингом, специализированной зоной для облучения молекулярных образцов и клеточных культур, а также грызунов и приматов.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Миссия Лаборатории информационных технологий (ЛИТ) складывается из двух взаимосвязанных элементов:

- разрабатывать и внедрять эффективные методы, алгоритмы и программное обеспечение для моделирования физических систем, математической обработки и анализа экспериментальных данных с целью успешной реализации учеными ОИЯИ и его государств-членов научной программы;
- обеспечивать как соответствие IT-инфраструктуры самым современным требованиям в отношении масштабируемости, производительности и энергоэффективности, так и высокий уровень экспертных знаний IT-специалистов.

IT-инфраструктура ОИЯИ развивается в тесной связи с ЦЕРН и другими центрами ядерной физики и физики высоких энергий. ОИЯИ является неотъемлемой и значимой компонентой всемирной сети грид – Worldwide LHC Computing Grid (WLCG), представляющей собой географически распределенную вычислительную среду для

обработки и хранения данных экспериментов на LHC и поддерживающей множество других экспериментов и проектов, в том числе за пределами физики частиц. Она способна управлять сотнями петабайт данных, обеспечивая доступ всего сообщества к вычислительным ресурсам и системам хранения данных на основе интеграции национальных и международных инфраструктур.

В настоящее время концепция грид находится в развитии, трансформируясь в сложную, гетерогенную вычислительную систему, объединяющую вычислительные ресурсы различных концепций: HTC (High Throughput Computing), HPC (High Performance Computing), волонтерские вычисления, коммерческие и некоммерческие облачные вычисления.

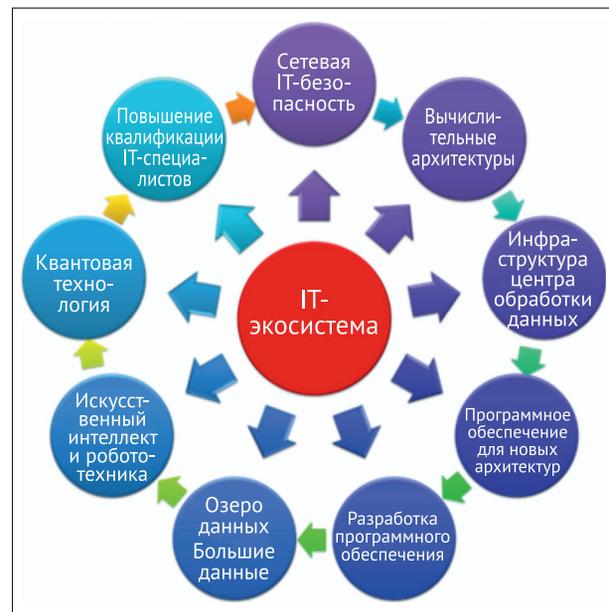
Научно-исследовательская программа ОИЯИ на ближайшие десятилетия направлена на проведение в рамках международного сотрудничества амбициозных и крупномасштабных экспериментов на базовых установках Института. Программа связана с реализацией мегапроекта NICA, строи-

тельством новых объектов научной инфраструктуры, нейтринной программой ОИЯИ, модернизацией экспериментальных установок LHC, исследованиями в области физики конденсированных сред и ядерной физики. Осуществление указанных выше проектов требует значительных инвестиций в системы, обеспечивающие обработку и хранение возрастающих объемов данных. В связи с этим важнейшими для ЛИТ задачами являются дальнейшее развитие и расширение функциональных возможностей Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК) ОИЯИ, повышение эффективности его работы, обеспечение пользователей комплекса новыми сервисами и IT-решениями.

Вычислительная инфраструктура ОИЯИ состоит из множества связанных компонентов и IT-технологий для решения задач ОИЯИ – от теоретических исследований до обработки, хранения и анализа экспериментальных данных. МИВК ОИЯИ является ключевым элементом этой инфраструктуры и играет определяющую роль в научных исследованиях, требующих современных вычислительных мощностей и систем хранения данных. Он включает в себя:

- IT-экосистему проекта NICA;
- центр Tier-1 эксперимента CMS в ОИЯИ, центр Tier-2/ЦИВК, обеспечивающие поддержку экспериментов на LHC, FAIR и других крупномасштабных экспериментов, а также поддержку научных программ и пользователей лабораторий ОИЯИ и его государств-членов;
- интегрированную облачную среду стран-участниц ОИЯИ для поддержки проектов и экспериментов, реализуемых в ОИЯИ или с участием ОИЯИ (NICA, BES-III, NOvA, Daya Bay, JUNO и др.);
- платформу HybriLIT с суперкомпьютером «Говорун» в качестве основного ресурса высокопроизводительных вычислений, который представляет собой гиперконвергентную систему, построенную на 100%-м жидкостном охлаждении в режиме «горячей воды» и имеющую энергоэффективность менее 1,06.

Помимо проведения массивно-параллельных вычислений, связанных, прежде всего, с исследовательской программой по теоретической физике, суперкомпьютер «Говорун» используется для моделирования системы вычислений для экспериментов комплекса NICA.



IT-экосистема

ЛИТ планирует создать IT-экосистему, т.е. динамично развивающуюся цифровую платформу, которая реагирует на быстро развивающиеся информационные технологии. Перспективными направлениями современных IT-технологий являются искусственный интеллект и робототехника, машинное обучение, квантовые технологии и аналитика больших данных. Развитие научной IT-экосистемы будет зависеть от новейших технологий сбора, обработки и анализа данных. Эта система должна быть гибкой и открытой для новых вычислительных методов, таких как квантовые, когнитивные вычисления, методы машинного обучения и интеллектуального анализа данных, а также для разработок новых алгоритмов.

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

Таким образом, ЛИТ ОИЯИ будет и далее предоставлять высококачественные сервисы и поддержку ученым, участвующим в проектах ОИЯИ, как на территории Дубны, так и за ее пределами, продолжая разви-

## ДЕТЕКТОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОИЯИ получил международное признание в области развития детекторных технологий. Однако следует и далее укреплять этот опыт для достижения новейших высокотехнологичных стандартов и дальнейшего расширения границ. Поэтому в современной электронике, робототехнике и точной механике необходимо накопить значительный объем знаний и опыт. Научно-исследовательские разработки газовых или твердотельных детекторов на реакторах, циклотронах, синхротронах, коллайдерах и в крупных установках детекторов космических лучей значительно выиграют от создания центра разработки передовых детекторов. В ОИЯИ появится возможность разработки СНР и новых детекторов. С помощью существующих в ОИЯИ установок

## ИННОВАЦИИ

Стратегической целью инновационного развития ОИЯИ на период до 2030 года является превращение Института в ведущий центр передачи государствам-членам ОИЯИ знаний в области ядерной физики и ускорительных технологий.

Реализация планов инновационной деятельности предполагает концентрацию усилий по следующим основным направлениям.

1. Прикладные инновационные исследования на ускорительном комплексе NICA. Основная задача – завершить создание трех специализированных исследовательских каналов пучка с конечными станциями для облучения объектов радиобиологии (400–800 МэВ/нуклон), для испытаний радиационной твердости электронных компонентов (3 и 150–350 МэВ/нуклон) и для ис-

вать телекоммуникационные технологии, хранилища данных, вычислительные системы, алгоритмы и программное обеспечение, технологии обработки и анализа данных, а также информационную безопасность.

для облучения становится возможным удовлетворить потребность в разработке детекторов жесткого излучения и электронных систем всех размеров. Чтобы стать ведущим в области современных цифровых и информационных методов, этот центр должен быть тесно связан с ЛИТ.

Важное значение имеет тесное сотрудничество ОИЯИ с детекторными лабораториями GSI и ЦЕРН. Руководство Института предпримет все меры, необходимые для того, чтобы привлечь в ОИЯИ экспертов мирового уровня в области перспективных направлений детекторных технологий, микроэлектроники, проектирования ASIC-чипов и обеспечить оснащение детекторных лабораторий ОИЯИ самым современным оборудованием и приборами.

следований трансмутации ядерных отходов и сбора ядерных данных (1–4, 5 ГэВ/нуклон).

2. Создание межлабораторного международного инновационного центра ядерно-физических исследований, основными задачами которого станут разработка технологий и методов в области ядерной и радиационной медицины, радиационного материаловедения, соответствующих информационных технологий, а также повышение квалификации специалистов из государств-членов ОИЯИ в области радиационной биологии и медицинской физики.

В рамках программы инновационного центра в 2021–2026 годах будет построено и введено в эксплуатацию несколько новых объектов:

– циклотрон ДЦ-140 для разработки технологий радиационного материаловедения

- и прикладных исследований на пучках тяжелых ионов, испытаний электронных компонентов, исследований и производства трековых пористых мембран;
- сверхпроводящий р-циклотрон на энергию 230 МэВ в качестве пилотного элемента будущего медицинского центра для лечения пациентов, продвижения новых методов адронно-лучевой терапии, например, планирования лечения, флэш-терапии и метода карандашного луча;
- родотронный микротронный ускоритель с энергией 40 МэВ вместе с радиохимической лабораторией 1-го класса для разработки методов получения радиоизотопов ( $^{225}\text{Ac}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  и др.) в фотоядерных реакциях для ядерной медицины.

3. Инициатива по радиационной биологии: радиационная нейробиология и клиническая радиобиология. Предполагается широкое применение омикс-технологий (геномики, протеомики, метаболомики) и биоинформатики для выявления механизмов нейродегенеративных заболеваний. Инновационные исследования в области клинической радиобиологии будут основываться на разработке подходов к повышению радиочувствительности опухоли путем вмешательства в действие генетической регуляторной сети клетки с использованием фармацевтических препаратов и трансгенных систем. Будут усовершенствованы методы адресной доставки (молекулярные векторы) радиосенсибилизаторов

и радиофармпрепаратов. Будут использоваться прорывные технологии лечения онкологических заболеваний. Планируется продолжить фундаментальные и поисковые исследования в области космической радиационной биологии и геномных технологий.

Помимо вышеперечисленного, активно развиваются такие направления, как искусственный интеллект и квантовые технологии в ЛИТ и ЛФВЭ, сверхпроводящий накопитель энергии до 3 МДж, НИОКР в области сверхпроводящих линейных ускорителей, микропиксельные лавинные фотодиоды, уникальные детекторы *medipix* для томографов, лазерный инклинометр и др. В этом контексте необходимы среднесрочные межлабораторные проекты по созданию научно-исследовательских центров, представляющих интерес для государств-членов, и при их активном участии – LifeScience, EcoEnergy, BigData и «Квантовые технологии». Но и это не исчерпывает сферы инновационных интересов ОИЯИ. Будут активно развиваться безуглеродные исследования и технологии. Конечно, ОИЯИ будет находиться в орбите исследований, связанных с водородной энергетикой: низкие температуры, хранение, транспортировка, использование сжиженных газов. Будет расширяться программа экспериментальных исследований, что позволит ОИЯИ стать местом освоения новых технологий и полигоном для проведения прорывных научных исследований (Open Research Space @ DUBNA).

## КАДРОВЫЕ РЕСУРСЫ, ОБРАЗОВАНИЕ И УЧЕБНЫЕ ПРОГРАММЫ

Для воспитания новых поколений высококвалифицированных исследователей, инженеров и техников необходима четкая образовательная программа ОИЯИ, которая должна постоянно корректироваться. Она должна опираться на образовательные и учебные программы на местах, но также активно взаимодействовать с университетами и учебными центрами государств-членов ОИЯИ. Только в тесном сотрудничестве

с этими учреждениями можно гарантировать устойчивое развитие ОИЯИ и успешную реализацию описанных выше проектов. Большое значение имеет создание в Дубне высшей инженерной школы на базе государственного университета «Дубна». Проверенные и/или новые методы обучения и подбора персонала включают в себя:

- руководство практическими, бакалаврскими, магистерскими и диссертацион-

ными работами студентов технических факультетов вузов государств-членов ОИЯИ;

- экскурсии на различные объекты ОИЯИ и лекции о деятельности каждой лаборатории ОИЯИ для студентов;
- планирование различных дополнительных школ для студентов местных вузов в рамках научных конференций, организуемых ОИЯИ.

Большое значение придается образовательной и учебной программе по подготовке новых поколений высококвалифицированных исследователей, техников и инженеров, отлично обученных для решения задач будущего. Первоочередная задача – обеспечить конкурентоспособность по вопросам

зарплаты и льгот в России и за рубежом по сравнению с отраслями промышленности.

Кроме того, ОИЯИ планирует разработать мощную, инновационную и яркую информационно-пропагандистскую программу, отвечающую мировым стандартам этой новой области коммуникации. Аутич-сервис, предоставляющий точную и привлекательную информацию широкой аудитории, является сегодня неизбежным. Кроме того, для осуществления многочисленных международных проектов ОИЯИ и его национальных и международных партнеров особые усилия будут направлены на постоянное улучшение комфортной для пользователей среды на территории ОИЯИ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стратегический план долгосрочного развития ОИЯИ отражает твердую решимость Института оставаться на переднем крае науки в избранных областях фундаментальных исследований. Для этого уже имеется или будет создано несколько новых объектов, таких как:

- Фабрика сверхтяжелых элементов;
- инфраструктура для исследований на фиксированной мишени и в режиме коллайдера для столкновений тяжелых ионов на комплексе NICA;
- инфраструктура 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;

- новый импульсный источник нейтронов на базе высокоинтенсивного импульсного нейтронного реактора ИБР-3 с Np-237 в активной зоне;
- облучательные установки для исследований в области материаловедения и радиационной биологии;
- новая установка – коллайдер редких изотопов;
- инновационный центр ядерно-физических исследований;
- динамично развивающаяся IT-платформа на базе суперкомпьютера, отвечающая требованиям стремительно развивающегося мира информационных технологий.

Кроме того, будет продолжено участие ОИЯИ в передовых внешних экспериментах, в экспериментах по физике релятивистских столкновений тяжелых ионов, физике частиц и физике нейтрино при условии, что потенциал открытий в этих экспериментах будет высок и исследователи ОИЯИ смогут играть ведущую роль. Предлагаемый план предусматривает продолжение участия в экспериментах в мировых ускорительных центрах (ЦЕРН, BNL, DESY, FAIR, GSI, GANIL)

и в нейтринных экспериментах, признающих взаимную выгоду от обмена данными, новыми научными технологиями и теоретическими разработками. Особое 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, что принесет большую пользу всем институтам-партнерам.

Также Институт примет все необходимые меры для укрепления своей экспертной

базы в области новейших технологий микроэлектроники, проектирования ASIC-чипов и детекторных исследований, а также исследований материалов и ускорительных технологий.

Расширенные образовательные и учебные программы обеспечат устойчивость опыта и ноу-хау ОИЯИ, необходимых для решения научно-технических задач настоящего Стратегического плана.



План реализации стратегически важных проектов ОИЯИ



## ОИЯИ: ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ. ИНСТИТУТ — ЭТО ЛЮДИ

Деятельность Института в современной глобальной исследовательской повестке — это получение новых знаний фундаментального характера, развитие технологий и инноваций во имя устойчивого развития человечества. Приумножение человеческого капитала, формирование высококвалифицированных кадров с яркими творческими способностями, эффективная система наращивания и наиболее полного использования интеллектуального потенциала в интересах государств-членов является основным приоритетом научно-технологической политики ОИЯИ ближайшего будущего.

Теоретическая физика, ядерная физика, физика элементарных частиц и астрофизика, физика конденсированного состояния вещества, радиобиология, информационные технологии — традиционные направления, в которых Институт находится в числе мировых лидеров. Сохранение этой позиции за счет концентрации основных материальных и интеллектуальных ресурсов на создании и развитии в Институте современных уникальных экспериментальных установок позволит получать фундаментальные результаты мирового уровня. Главные базовые установки ОИЯИ — комплекс NICA, Фабрика СТЭ и радиоактивные пучки, телескоп Baikal-GVD как часть глобальной нейтринной сети, высокоинтенсивный нейтронный источник нового поколения, гиперконвергентный вычислительный кластер. Организация эффективной работы на базе такой крупномасштабной и мультидисциплинар-

ной инфраструктуры — важнейшая задача деятельности Института, решение которой необходимо для роста его привлекательности и конкурентоспособности как в государствах-членах, так и в мировом научном пространстве в целом.

Современный быстро меняющийся мировой научно-технологический и экономический уклад порождает новые вызовы. Существующий глобальный тренд — развитие исследований в сфере наук о жизни, цифровых технологий и чистой энергетики требует расширения среднесрочной программы деятельности ОИЯИ в новых для Института направлениях.

Институт должен энергично включаться в актуальную мировую исследовательскую повестку с учетом ожиданий и запросов государств-членов ОИЯИ, в том числе участвовать в создании научной инфраструктуры на территории этих стран в сотрудничестве с национальными институтами. Программа исследований в традиционных для Института направлениях фундаментальной науки, включая высокорискованные исследования, по запросу государств-членов, будет дополнена прикладными и инновационными проектами, что укрепит и гармонизирует архитектуру научной программы Института.

Эффективная работа в этом направлении возможна при условии постоянного мониторинга и анализа тенденций при формировании приоритетов государств-членов в научно-технологической сфере и благода-

ря оптимальному для Института сочетанию в прикладных и инновационных исследованиях двух комплементарных подходов — поисковых исследований и ориентированных на большие вызовы исследований.

ОИЯИ должен обеспечивать высокий уровень доступности для научных партнеров, безопасности и культуры эксплуатации научно-исследовательской инфраструктуры.

Такая научная политика позиционирует Институт как международную платформу открытой науки не только для освоения прорывных технологий, необходимых для осуществления современных фундаментальных исследований, но и для создания новых технологий, требующих серьезного обеспечения со стороны фундаментальной науки. Кроме того, видится важной роль Института в качестве центра методического обеспечения организации международных коллабораций и мегасайенс-проектов.

Генерация новых знаний и технологий, междисциплинарность и эффективная реакция науки на современные запросы общества для организации, претендующей в ближайшие десятилетия на мировое лидерство и роль модератора повестки, невозможны без стратегической ставки на совершенствование системы развития кадровых ресурсов. Основным приоритетом Стратегии развития ОИЯИ наряду с получением новых знаний должно стать формирование научно-инженерной и научно-административной элиты для ОИЯИ и исследовательской сферы в государствах-членах. В Дубне с участием ОИЯИ необходимо развивать систему подготовки талантливых школьников, студентов и аспирантов на базе индивидуальных образовательных траекторий, а также создавать соответствующую привлекательную интернациональную социальную среду. В Институте должна функционировать гармонизированная система адаптации различных образовательных программ, открытая для университетов государств-членов ОИЯИ. Одним из ключевых показателей результативности к 2030 году должно стать

появление в формате очного и дистанционного присутствия в орбите ОИЯИ 1500–2000 новых высококвалифицированных исследователей — таким будет вклад ОИЯИ в формирование международного интеллектуального человеческого капитала.

Особое место в деятельности Института занимает участие ОИЯИ в международных проектах высочайшего мирового уровня, реализуемых на базе других научных центров. При этом для достижения превалирования «внутренних» проектов над «внешними» будет проводиться строгая и конкурентная оценка участия ОИЯИ во «внешних» проектах на основе объективных критериев, таких как значение успешной реализации проекта для мировой науки, роль ОИЯИ в предложении идеи и в постановке эксперимента (*born in Dubna*), обретение новых компетенций и технологий, необходимых для подготовки и выполнения проектов в ОИЯИ, участие партнеров на взаимовыгодных условиях в реализации проектов ОИЯИ.

Для успешной организации работы над стратегическими задачами необходима регулярная оценка эффективности и потенциала ОИЯИ посредством квалифицированного анализа профессиональным сообществом Института и экспертизы специально создаваемыми, в том числе международными, комитетами. Данную работу целесообразно проводить с учетом передового международного опыта, отраженного в таких стратегических инициативах, как *European Strategy for Particle Physics*, *European Strategy for Nuclear Physics & NuPECC Long Range Plan*, *Particle Physics Community Planning Exercise (Snowmass)*, и основывать на анализе ключевых элементов деятельности. Критерии оценки: наличие исследовательских программ и проектов, не имеющих аналогов в мире либо имеющих аналоги в лидирующих мировых центрах при условии их глубокой комплементарности; участие сотрудников Института в экспериментах мирового уровня вне ОИЯИ с позициями «*reference authors*» и существенным вкладом в научную программу; участие ОИЯИ в коллабора-

циях мирового уровня без определяющего инвестирования ресурсов, но с высокой долей авторов публикаций и докладов, представляемых от имени этих коллабораций сотрудниками Института; возможность развития базовых установок Института и так называемых «зеркальных» лабораторий в государствах-членах; конкурентоспособность и привлекательность системы оплаты труда; динамика профессионального роста исследователя в ОИЯИ; привлекательность социальной среды в ОИЯИ и в Дубне.

Устойчивое развитие Института невозможно без расширения географии государств-членов и совершенствования правовой модели международной межправительственной организации в контексте мировых геополитических процессов, нового технологического уклада и зарождающейся международной системы разделения

«труда» в сфере науки и технологий. ОИЯИ играет важную роль на мировой арене в качестве крупного звена координации и развития научных исследований, и роль эта должна возрастать. С другой стороны, Институт является действенным инструментом расширения международной партнерской сети государств-членов в широком диапазоне научных направлений по всему миру. Амбициозная исследовательская повестка, конкурентная уникальная ниша, международный статус и месторасположение позволяют Институту создавать соответствующую модель, будучи интегрированным в мировой научный ландшафт, и являться наряду с такими центрами, как ЦЕРН, одним из глобальных полюсов притяжения интеллекта в международном научно-исследовательском пространстве.



## НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Успешная реализация программы научных исследований, представленной в Стратегии развития ОИЯИ, требует модернизации научно-организационной деятельности Института как ключевого фактора, задающего в конечном итоге все остальные принципы 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, а также 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 реализаци-

ей. В основе ПТП должны лежать понятия «тема», «проект» и «коллаборация»:

- тема: научное направление, крупный инфраструктурный проект, создание и эксплуатация базовой установки; возможно открытие темы на неопределенно долгий срок при условии обязательной отчетности и анализа реализации;
- проект: научная, научно-техническая и иная деятельность ОИЯИ, имеющая определенные временные рамки и ресурсы (кадровые, материальные, финансовые);
- коллаборация: научная деятельность, выполняемая консорциумом нескольких научно-исследовательских центров, вносящих значительный вклад в материальное, финансовое и кадровое обеспечение этой деятельности.

Принцип регулярного анализа результативности работы руководителей темы/проекта/коллаборации и актуализации административной структуры сопровождения научных тем и направлений является необходимым инструментом, в том числе их интеллектуального расширения. Институт должен демонстрировать способность к диверсификации и инклюзии, когда речь идет о международных стандартах научно-организационной деятельности.

Организация научной деятельности ОИЯИ нацелена на эффективное решение задач, стоящих перед Институтом, и включает в себя:

- определение перспективных проектов, в том числе высокорискованных, оценку их научной значимости;
- планирование необходимых финансовых, материальных, кадровых и иных ресурсов;

- анализ качества научных результатов, полученных в проектах, а также капитализации затрат и вклада в увеличение основных средств, публикационную активность, вовлеченность в проект студентов, аспирантов и молодых ученых (инженеров), получение участниками проекта ученых степеней и званий, международного признания;
- контроль выполнения и своевременное завершение проектов;
- стимулирование профессионального и карьерного роста научных и инженерно-технических работников, научно-административного персонала ОИЯИ, развитие научных школ и института наставничества, обеспечение плавной смены поколений при эффективном и бережном учете накопленных компетенций и опыта.

В основе организации научной деятельности Института лежат следующие принципы:

- переход к гибкой системе администрирования научной деятельности с учетом кадровых, финансовых и инфраструктурных ресурсов на основе понятий «тема», «проект» (включая межлабораторные) и «коллаборация»;
- усиление роли проекта как базового элемента ПТП; увеличение самостоятельности проектов в кадровом отношении и финансировании исследований при одновременном повышении ответственности руководителей проектов за результат;
- создание административно-управленческих инструментов для осуществления

деятельности международных коллабораций на базе ОИЯИ;

- совершенствование системы международной экспертизы проектов и их результатов с целью повышения ее независимости и объективности;
- координация научной деятельности Института с долгосрочными планами развития науки, технологий и высшего образования в государствах-членах Института;
- синхронизация программ сотрудничества полномочных представителей государств-членов с ПТП ОИЯИ и Семилетним планом развития Института, консолидация средств на основных приоритетах и задачах;
- максимальное использование потенциала имеющихся базовых установок, их интеграция в общемировую исследовательскую инфраструктуру, участие в создании и использовании исследовательских установок на территориях государств-членов ОИЯИ;
- предоставление государствам-членам доступа к информационным и вычислительным мощностям Института, а также к полученным на установках ОИЯИ экспериментальным данным и разработанным в Институте технологиям;
- необходимость развития в ОИЯИ направления инновационных и междисциплинарных разработок, а также организация их внедрения в государствах-членах.



## УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ОИЯИ КАК МЕЖДУНАРОДНОЙ МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Современный этап развития международного научно-технического сотрудничества (МНТС) связан с двумя комплементарными процессами. Происходит быстрый переход мирового научно-технологического комплекса в качественно новое состояние, характеризующееся формированием глобальной институциональной и материальной инфраструктуры исследований и разработок, международных научно-технологических коллабораций, а также качественным усилением роли цифровых и информационных технологий. Повышение расходов на исследования и разработки, рост их сложности, усиление междисциплинарности и мультидисциплинарности, ориентация мировой научно-технологической повестки на решение задач, связанных с возникающими вызовами, приводят к необходимости усиления кооперации участников глобальных научно-технологических процессов. Активизация МНТС обусловлена также ростом мобильности научных кадров, повышением глобальной доступности результатов исследований и разработок, появлением новых сетевых форм и партнерств в сфере научно-технологического и инновационного взаимодействия.

Этот общий рост масштабов и изменение качества МНТС происходят на фоне быстрого формирования новых глобальных и региональных центров социально-экономического и научно-технологического развития, что повышает уровень конкуренции между

различными центрами за интеллектуальный капитал и оказывает глубокое влияние на характер международного сотрудничества в сфере науки и технологий.

В этих условиях ОИЯИ будет играть проактивную интегрирующую роль в глобальном научно-технологическом сотрудничестве в качестве одной из крупнейших в мире международных межправительственных научных организаций по масштабам ведущихся исследований, аккумулированному интеллектуальному капиталу и финансовым ресурсам.

Успешное исполнение данной роли связано с решением задачи укрепления ОИЯИ как международной межправительственной организации.

Устойчивость ОИЯИ определяется следующими взаимозависимыми и взаимодополняемыми направлениями деятельности Института как международной межправительственной научной организации:

- обеспечение стабильной международно-правовой базы организации и ее организационной основы — сообщества государств-членов и ассоциированных стран, а также других партнеров в орбите ОИЯИ;
- обеспечение мировых стандартов организации высокорезультативных передовых научных исследований в интересах государств-членов ОИЯИ, реализуемых Институтом в соответствии с его Уста-

вом и фундаментальными принципами международного научно-технического сотрудничества, в том числе такими, как равноправие, добровольность, открытость, ответственность, взаимовыгодность и деполитизированность, гуманизм и приверженность мирным целям.

Укрепление сообщества государств-членов должно определяться целенаправленной научно-технической, кадровой, научно-организационной и социальной политикой Института, полноценный международный характер которой должен быть обеспечен посредством взаимодействия с государствами-членами Института для соблюдения их интересов в научно-технической сфере по профильным для Института научным направлениям, своевременной актуализации и систематизации нормативно-правовой базы деятельности Института, современной организации кадровой работы в соответствии с международными стандартами, внедрения передовых международных административно-управленческих стандартов, обеспечения равных для граждан всех государств-членов максимально комфортных рабочих и социальной среды. Работа должна быть основана на индивидуальном подходе к взаимоотношениям Института с каждым государством-членом, учитывающем специфику национальных приоритетов и возможности каждого государства-члена в области научных исследований. Взаимодействие с государствами-членами также должно быть направлено на интенсификацию вовлеченности их представителей в непосредственное управление ОИЯИ, в процесс определения его научной политики и стратегических перспектив развития.

В общем комплексе взаимосвязей с государствами-членами ОИЯИ отдельное внимание необходимо уделять взаимодействию с Российской Федерацией как страной местопребывания ОИЯИ и ее федеральными структурами.

Стратегически важным для Института является оформление взаимовыгодно-

го формата ассоциированного членства стран-партнеров как гибкого инструмента их вхождения в ОИЯИ, включая создание предпосылок к переходу ассоциированных стран в статус полноправных государств-членов.

Для оптимальной диверсификации форматов взаимодействия Института со странами-партнерами предлагается разработать и внедрить использование статуса наблюдателя как в отношении стран, так и международных организаций и объединений.

Кроме того, обеспечение стабильного развития Института как международной межправительственной организации будет осуществляться и по таким направлениям, как:

- привлечение научных организаций технологически развитых стран к участию в научных коллаборациях ОИЯИ, формализация их отношений с ОИЯИ в рамках соглашений правительственного уровня о полноправном партнерстве в крупных научно-инфраструктурных проектах ОИЯИ, присоединении к международным программам ОИЯИ по подготовке кадров, а впоследствии об ассоциации соответствующей страны с ОИЯИ с перспективой полного членства;
- создание предпосылок для появления новых международных научных проектов и направлений научного взаимодействия с организациями государств, не являющихся членами ОИЯИ;
- системное взаимодействие ОИЯИ с межправительственными, неправительственными организациями, межгосударственными объединениями, реализующими научные, экспертно-аналитические, образовательные программы и инициативы и содействующими международному сотрудничеству в области науки и образования; участие в совещательных, консультативных органах этих организаций; подключение к их партнерским сетям; реализация совместных научных программ, планов сотрудничества, мероприятий.

Инструментальную роль в работе по обеспечению устойчивого развития ОИЯИ будут играть такие направления работ, как:

- формирование института представительств ОИЯИ в государствах-членах;
- развитие сети информационных центров ОИЯИ в научных и научно-образовательных организациях государств-членов, ассоциированных государств, других стран;
- популяризация научных достижений ОИЯИ и укрепление его международного авторитета, в том числе целенаправленная и систематизированная работа по направлению PR, рекламная работа и работа со СМИ.



## КАДРОВАЯ ПОЛИТИКА

Качество и результативность научных и инфраструктурных проектов критическим образом зависят от кадровой политики Института. Формат международной межправительственной научной организации дает Институту гораздо более широкие возможности для формирования персонала в сравнении с национальными научными организациями, одновременно предъявляя более жесткие требования к качеству кадровой политики Института, которая должна обеспечивать его лидерство в международной конкуренции за высококвалифицированные кадры в профильных для ОИЯИ областях научной и научно-технической деятельности.

В целом кадровая политика ОИЯИ нацелена на привлечение высококвалифицированных ученых, инженеров, рабочих для решения научных и инженерных задач Института, развитие существующих и создание новых научных школ, формирование структуры и модели воспроизводства персонала, оптимальной для успешной реализации программы исследований и инфраструктурных проектов.

Достижение этих целей должно обеспечиваться посредством систематизации нормативно-правового регулирования работы с персоналом, реализации комплекса целевых программ привлечения к работе в ОИЯИ ученых и специалистов с высочайшей профессиональной репутацией, совершенствования механизмов быстрого профессионального роста для молодых ученых и специалистов, специализированной подготовки и переподготовки кадров, создания комфортной профессиональной и социальной среды.

Для повышения качества управления персоналом Института работа должна вестись по следующим направлениям:

- совершенствование штатного расписания и порядка замещения должностей для обеспечения сбалансированности численности и структуры персонала по категориям, квалификации, типу контракта, гражданству, возрасту;
- разработка и внедрение методик оценки и отбора кадров с опорой на институт научной и деловой репутации;
- совершенствование системы оплаты труда, обеспечивающей оптимальный баланс в кадровом обеспечении приоритетных направлений работы и стимулирующей формирование в ОИЯИ высококвалифицированной интернациональной научной и профессиональной среды, гарантирующей устойчивость развития кадрового потенциала Института, справедливые условия труда, равенство прав и возможностей работников;
- создание механизма дополнительного негосударственного пенсионного обеспечения сотрудников ОИЯИ для решения наиболее актуальных задач кадрового и социального характера;
- создание в научно-организационной и административно-управленческой системе ОИЯИ благоприятных условий для профессионального и карьерного роста;
- развитие системы присуждения Институтом ученых степеней и званий в связке с правилами замещения научных должностей;
- развитие института ассоциированного персонала как многоцелевого инструмента кадровой политики для обеспечения высокого уровня интенсивности

исследований на базовых установках ОИЯИ (прежде всего в проекте NICA), для выполнения базовой миссии ОИЯИ как международной межправительственной научной организации по созданию условий для совместных исследований научными организациями государств-членов ОИЯИ, для оптимизации системы подготовки кадров за счет переноса связанной с этим инфраструктурной и трудовой нагрузки в организации, участвующие в исследованиях ОИЯИ;

- обеспечение естественной мобильности кадров и, тем самым, создание предпосылок для кадрового укрепления как Института, так и научных и научно-образовательных организаций в государствах-членах ОИЯИ;
- развитие международных программ образования и повышения квалификации для ученых, специалистов и управленческих кадров государств-членов;
- развитие совместных образовательных программ как основы сотрудничества высших учебных заведений с ОИЯИ в подготовке высококвалифицированных кадров, интеграция в системы высшего образования государств-членов ОИЯИ и европейское пространство высшего образования, внедрение и развитие института наставничества;
- использование сети информационных центров ОИЯИ в научных и научно-образовательных организациях для инициирования мобильности кадров и их специализированной подготовки;
- создание системы мониторинга состояния персонала Института и анализа эффективности кадровой политики.



## СОЦИАЛЬНАЯ СРЕДА: ПРИТЯГАТЕЛЬНОСТЬ, ВЗАИМНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ, ОТКРЫТОСТЬ

Открытая, комфортная, привлекательная социальная среда является основополагающим элементом экосистемы международного научного центра в Дубне. «ОИЯИ – наш общий дом на берегу Волги», в котором должны быть созданы благоприятные условия для оптимальной реализации Институтом своей интернациональной миссии, научных и интеграционных задач и поддержания авторитета ОИЯИ как лидирующей международной научной площадки для успешной профессиональной деятельности талантливых мотивированных людей.

К значимым компонентам комфортной социальной среды для персонала Института относятся: достойные и безопасные условия труда, безопасная, экологичная и комфортная городская среда, доступ к самым современным сервисам и организация развивающего досуга, привлекательное социокультурное пространство, современная и прагматично организованная экосистема рабочего пространства, возможности для оптимальной языковой, социальной, социокультурной и профессиональной интеграции.

Дальнейшее развитие интернациональной социальной среды ОИЯИ необходимо выстраивать на принципах осознания высшей ценности человеческого капитала, бережного (рационального) сохранения экологии, развития и приумножения инфраструктуры, а также взаимосвязей Дубны с регионом и столицей страны местопребывания, с зарубежными городами и странами.

Необходимо использовать и развивать все конкурентные преимущества современного ОИЯИ и города Дубны:

- уникальный научный и образовательный потенциал ОИЯИ – это трамплин для успешной международной научной карьеры; идеология Института ориентируется на поддержку и максимальное раскрытие потенциала своих сотрудников;
- экологичность, поликультурность и комфортность Дубны для научной деятельности, проживания персонала и их семей делают ее уникальным местом (не только для России), объединяющим творческий интеллектуальный потенциал единомышленников, увлеченных наукой, где обеспечена шаговая доступность современной культурной, спортивной, социальной и образовательной инфраструктуры и безопасность личного, творческого и социального пространства.

Одним из векторов развития социальной среды в ОИЯИ является укрепление объединяющей культуры «Институт–персонал». Для успешной реализации амбициозных научных задач важно, чтобы сотрудники осознавали преимущества сопричастности к ОИЯИ, свой вклад в его деятельность и успехи. С другой стороны, Институт должен руководствоваться принципами создания максимально благоприятных условий для раскрытия потенциала своего персонала, а также открытости и прозрачности внутренних научно-организационных и административных процессов.

Воплощение слогана «ОИЯИ – наш общий дом на берегу Волги» предполагает фор-

мирование пространства, притягательного для всех представителей государств-членов Института (язык, навигация, социально-бытовые вопросы, свободное ориентирование в административных процедурах и различных процессах деятельности). Важнейшим элементом такого пространства должно стать бережное отношение к окружающей среде, включая энерго- и природосбережение, а также применение разработок ОИЯИ и участие в соответствующих международных инициативах.

Развитие поликультурной социальной среды возможно лишь посредством совместной с органами управления города и Московской области поддержки соответствующих инициатив в образовательной сфере, включая высшее, среднее и дошкольное образование, при активном экспертном и организационном участии ОИЯИ.

Важным, если не ключевым, параметром продуктивной социальной среды является положительный образ Института не только как привлекательного работодателя, но и как международного института развития. Для этого важно формировать бренд Института, отражающий его международный статус, его яркую науку, истории успеха и

устремление в будущее. Определяющее значение для развития такой среды имеет деятельность по популяризации науки, в том числе создание онлайн-лабораторий и стажировок, технологии виртуальной и дополненной реальности для знакомства с исследовательской базой, продвижение программ научного туризма, выстраивание профессионального продуктивного взаимодействия со СМИ всех доступных форматов, поддержка инициатив на пересечении культуры, дипломатии и науки, создание современных выставочных пространств, профориентация и диалог науки и общества, а также все то, что обеспечит общепонятность целей и смысла деятельности Института для его учредителей и гражданского общества государств-членов.

В интересах устойчивого развития социальной среды в широком смысле важна работа с персоналом и выдающимися личностями, находившимися и находящимися в орбите ОИЯИ, в частности, путем создания различных alumni-программ для бывших сотрудников, аспирантов и приглашенной профессуры, членов научных комитетов и советов.



## ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ АДМИНИСТРАТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Деятельность административной системы Института должна быть направлена в первую очередь на обеспечение оптимальных условий работы научных сотрудников и инженеров-исследователей по реализации задач, сформулированных в Проблемно-тематическом плане Института.

Административная система Института должна соответствовать профильным международным стандартам и поддерживать его интернациональную природу. Стратегической задачей развития служб является организация их работы по принципу «службы одного окна» при помощи общего модератора. Ключевыми показателями эффективности работы должны стать минимизация требуемых исходных данных от заявителя, скорость обработки запросов, строгое соблюдение регламента работы, отсутствие барьеров (в том числе языковых) в общении сотрудников с представителями служб и безопасность производственных процессов. Присутствие в административных службах представителей государств-членов способствует внедрению полезных административных приемов и успешной практики, распространенных среди аналогичных структур государств-членов Института.

В современном быстро меняющемся мире возникает необходимость в своевременном реагировании служб и адаптации методов их работы под актуальные задачи. Обмен успешными корпоративными практиками и методиками работы административных служб с аппаратами полномочных представителей и/или профильных министерств/агентств государств-членов,

регулярное повышение квалификации сотрудников по соответствующему профилю способствуют повышению уровня эффективности работы управленческих структур.

Совершенствование административной системы управления для повышения ее эффективности требует рационализации управленческой деятельности с целью построения оптимальной организационной структуры и создания эффективной модели взаимодействия административно-управленческих структур (в том числе функциональных матриц). Этой цели служат обеспечение конкурентной процедуры выборов руководителей административных служб, их ротация и регулярная отчетность на НТС ОИЯИ, а также создание и использование цифровых платформ для управления административными и научно-организационными процессами.

Цифровая трансформация процессов управления подразумевает интеграцию цифровых технологий во все аспекты управленческой деятельности, замену традиционных процессов взаимодействия со службами цифровыми. Использование современных технологий позволяет сократить время принятия управленческих решений за счет стандартизации рутинных процессов согласования, исключения ряда промежуточных этапов, мониторинга и контроля за исполнением решений, а также учитывать мнение и потребности сотрудников Института. Обязательным элементом успешной цифровизации является упразднение дублирующих цифровую информацию бумажных носителей для внутреннего использо-

вания и четкое соблюдение регламента как по времени, так и по степени вовлеченности инициатора. Минимизация количества документов и времени без потери в функциональности – это естественные следствия внедрения цифровых технологий, реализации которых нужно способствовать.

Внедрение цифровых технологий и создание единой информационной системы Института, развитие современных финансовых и юридических сервисов требуют применения передовых технологий компьютеринга, аналитики больших данных (Big

Data), машинного обучения. Такие системы позволят осуществлять гибкое управление и контроль доступа к информации, персонализированное общение сотрудников с административно-управленческими структурами, обратную связь и контроль за соблюдением регламента. Создание и совершенствование системы обратной связи с персоналом является важным механизмом оперативного решения возникающих проблем и одним из инструментов создания комфортной рабочей среды.



## ПОКАЗАТЕЛИ И МОНИТОРИНГ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ

Стратегия задает систему координат и принципы формирования очередного семилетнего плана развития ОИЯИ.

Достижение целей, задач и показателей программы должно давать вклад в основные («верхнего уровня») показатели научной значимости и эффективности как ведущих исследовательских проектов, так и всего Института в целом, укреплять и расширять участие стран, увеличивать заметность и значение Института для общества, стимулировать приток в Институт высококвалифицированных исследователей и специалистов с яркими творческими способностями.

Принципы организации и целевые показатели эффективности административного управления Института должны обеспечивать соответствие научной, образовательной и инновационной деятельности ОИЯИ самым современным международным стандартам.

Система показателей «верхнего уровня», на которые нацелен мониторинг реализации Стратегического плана, состоит из двух групп критериев. Первая группа отражает уровень способности Института воспринимать, аккумулировать и наращивать научные знания, развивать научно-исследовательскую инфраструктуру, включая виртуальную инфраструктуру, укреплять статус межправительственной организации и расширять международную партнерскую сеть Института. Вторая группа характеризует текущую результативность в таких основных областях деятельности Института, как получение знаний, создание технологий, развитие

научно-исследовательской инфраструктуры, подготовка высококвалифицированных кадров для государств-членов и партнеров Института, интенсивный обмен научно-технической информацией, которые востребованы государствами-членами ОИЯИ.

Каждая из этих двух групп критериев содержит показатели трех основных типов, относящихся к научным исследованиям и научно-исследовательской инфраструктуре, показателям Института как международной межправительственной организации, к ее кадровому потенциалу и текущему состоянию персонала. По каждому типу будут использоваться следующие показатели «верхнего уровня».

Научно-исследовательский потенциал:

- наукоемкость: исследования, квалификация, технологии – фактические выдающиеся достижения (нарастающим итогом);
- уникальность научных исследований, актуальность и востребованность научной программы Института в мировой научной повестке;
- совокупный объем используемой информации и больших данных: хранение и доступ к данным, анализ и обработка информации;
- фондовооруженность, возраст оборудования, эффективность использования инфраструктур.

Результативность научных исследований:

- удельные (на одного исследователя в год) показатели результативности по

публикациям, диссертациям, патентам и НИОКР;

- эффективность «исследовательского времени» – затраты ресурсов на исследовательскую деятельность (или результат исследовательской деятельности);
- индекс цифровизации и доступности исследовательской инфраструктуры.

Международный межправительственный юридический статус ОИЯИ:

- положение и роль Института в мировой системе международных межправительственных научных организаций;
- государства-члены;
- структура и динамика партнерской сети: ассоциированные члены, наблюдатели, организации-партнеры, коллаборации;
- динамика бюджета ОИЯИ.

Результативность международного научно-технического сотрудничества ОИЯИ:

- комплексный показатель вклада исследовательской инфраструктуры ОИЯИ в поиск ответов на глобальные вызовы, стоящие перед государствами-членами;
- текущий уровень МНТС: пользователи, партнеры, краткосрочные рабочие визиты.

Кадровый потенциал:

- устойчивость воспроизводства и привлечения кадров;
- уровень квалификации кадров;
- выдающиеся научные лидеры.

Текущее состояние персонала (показатели, подлежащие мониторингу):

- структура и динамика численности персонала по категориям работников, квалификации, типу контракта, гражданству, возрасту;
- размер и структура заработной платы;
- мобильность кадров;
- динамика профессионального и карьерного роста.

Мониторинг и анализ показателей «верхнего уровня» обеспечиваются детализированной системой характеристик, параметров и индикаторов внутри каждой группы, утверждаемой при принятии очередного семилетнего плана развития ОИЯИ и корректируемой ежегодно.

**Стратегический** план долгосрочного развития ОИЯИ на период до 2030 года и далее. – Дубна: ОИЯИ, 2021. – 42 с.

ISBN 978-5-9530-0551-7

**Стратегический план долгосрочного развития ОИЯИ  
на период до 2030 года и далее**

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

Подписано в печать 20.04.2021.  
Формат 60 × 84/8. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 4,8. Уч.-изд. л. 4,6. Тираж 200 экз. Заказ 60128.

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

