



# **СЕМИЛЕТНИЙ ПЛАН РАЗВИТИЯ ОИЯИ НА 2017–2023 ГГ.**

**С КОРРЕКТИРОВКАМИ, УТВЕРЖДЕННЫМИ КОМИТЕТОМ  
ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ПРАВИТЕЛЬСТВ ГОСУДАРСТВ-  
ЧЛЕНОВ ОИЯИ НА СЕССИИ, СОСТОЯВШЕЙСЯ 25 МАРТА 2021 Г.**

(Семилетний план развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. в исходной редакции  
утвержден Комитетом полномочных представителей правительств  
государств-членов ОИЯИ на сессии, состоявшейся 21–22 ноября 2016 г.)

**Дубна 2021**

## Содержание

Предисловие .....	3
Предисловие к исходной редакции семилетнего плана.....	4
Введение .....	5
Развитие установок ОИЯИ.....	13
Физика частиц и физика тяжелых ионов высоких энергий.....	21
Ядерная физика .....	26
Физика конденсированных сред.....	29
Теоретическая физика .....	35
Информационные технологии .....	37
Образование .....	41
Развитие инженерной инфраструктуры.....	43
Инновационная деятельность .....	48
Мониторинг реализации семилетнего плана и долгосрочной стратегии развития ОИЯИ.....	51
Кадровая и социальная политика .....	52
Финансовое обеспечение .....	56

Научные редакторы коррективов: О. В. Белов, А. С. Сорин

Авторы-составители коррективов: В. А. Бедняков, А. Н. Бугай, К. С. Бунятов, М. П. Васильев, Б. Н. Гикал, Д. И. Казаков, Н. В. Калинин, В. Д. Кекелидзе, Е. А. Колганова, В. В. Кореньков, Н. А. Ленская, Д. А. Михеев, С. Н. Неделько, С. З. Пакуляк, П. В. Пермяков, А. В. Рузаев, С. И. Сидорчук, И. Т. Сулейманов, Г. В. Трубников, Л. В. Уварова, Е. Д. Углов, В. Н. Швецов, Г. Д. Ширков

Научный редактор исходного текста Н. А. Русакович

Редактор исходного текста Е. В. Сабаева

Авторы-составители исходного текста: А. В. Андреев, В. А. Бедняков, В. В. Воронов, С. Н. Дмитриев, М. Г. Иткис, А. В. Карпов, В. В. Катрасев, В. Д. Кекелидзе, В. В. Кореньков, И. В. Кошлань, Е. А. Красавин, О. Куликов, Р. Ледницки, В. А. Матвеев, Д. А. Михеев, С. Н. Неделько, Д. В. Пешехонов, А. Г. Попеко, А. В. Рузаев, Т. А. Стриж, И. В. Титкова, Г. В. Трубников, Л. В. Уварова, В. Худоба, Д. Худоба, В. Н. Швецов, Г. Д. Ширков

Фото: И. А. Лапенко, Е. В. Пузынина

## Предисловие



В ходе реализации текущего семилетнего плана исполнение поставленных задач осуществлялось на основе ежегодно формируемого Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ, контролировалось внутренними и внешними международными комитетами, консультативными и руководящими органами Института, принимавшими своевременные решения о корректирующих мерах при возникновении не предусмотренных графиками работ обстоятельств.

Быстрое развитие технологий создания современных физических установок и аппаратных средств, возрастающие требования к конкурентоспособности и привлекательности новых экспериментальных установок для пользователей формировали предпосылки к изменению параметров реализуемых проектов с целью достижения более высокого качества вводимых в действие объектов исследовательской инфраструктуры. Риски, связанные с преждевременным моральным устареванием существующего оборудования, своевременно компенсировались путем плановой и внеплановой замены соответствующих компонентов, обуславливая дополнение Проблемно-тематического плана ОИЯИ проектами по модернизации и расширению возможностей существующей исследовательской инфраструктуры, а также изменение профиля финансирования некоторых направлений.

В ноябре 2020 года на заседании Комитета полномочных представителей государственных ОИЯИ представлена долгосрочная стратегия развития Института до 2030 года и далее. Имеющийся научно-технический потенциал Института и представленность на мировой научной арене позволили сформулировать стратегический план долгосрочного развития ОИЯИ, зафиксировавший миссию ОИЯИ в условиях глобализации науки, задачи по дальнейшему повышению привлекательности Института в условиях конкуренции за высококвалифицированные научные и инженерные кадры, а также подходы к обеспечению устойчивого развития ОИЯИ как международной межправительственной организации, принципы научно-организационной и административной деятельности, кадровой политики и совершенствования социальной среды.

На рубеже начала реализации долгосрочной стратегии развития ОИЯИ возникли объективные обстоятельства, мотивировавшие руководство Института провести тщательный анализ исполнения заложенных в семилетнем плане задач. Проведенный анализ показал соответствие в целом темпов фактического выполнения работ по ключевым проектам ОИЯИ заложенным ранее планам. Вместе с тем, исходя из фактического и финансового исполнения задач, стоявших перед Институтом в 2017–2020 гг., по отдельным направлениям представляется важным привести содержание семилетнего плана в соответствие с актуальными сроками выполнения работ и имеющимися финансовыми ресурсами. На фоне интенсивного развития новых научных направлений в ОИЯИ сопутствующей задачей проведения корректировки семилетнего плана является консолидация материальных и интеллектуальных ресурсов ОИЯИ на приоритетных задачах текущего семилетнего периода.

Убежден, что принятые меры по своевременной корректировке текущего семилетнего плана будут являться залогом успешного развития Института на ближайшие годы и необходимым заделом для воплощения в жизнь намеченных стратегических целей.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'G. V. Trubnikov', written over a horizontal line.

Г. В. Трубников  
директор ОИЯИ

## Предисловие к исходной редакции семилетнего плана



После интенсивной подготовительной работы и дискуссий в течение двух лет на сессиях программно-консультативных комитетов и Ученого совета Института Семилетний план развития Объединенного института ядерных исследований на 2017–2023 гг. был утвержден Комитетом полномочных представителей правительств государств-членов ОИЯИ на сессии, проходившей в Кракове (Республика Польша) 21–22 ноября 2016 г.

Принимая во внимание масштаб амбициозных задач и проектов, который предполагает соответствующий высокий уровень международного сотрудничества и интеграции в мировые и, прежде всего, европейские научно-исследовательские программы, могу сказать, что ОИЯИ вступает в новую эру своего развития.

ОИЯИ уникален проверенным временем триединством своих основ: многодисциплинарные фундаментальные исследования, международное научно-техническое сотрудничество и взаимосвязь науки и образования.

Программа научных исследований ОИЯИ включает физику элементарных частиц, релятивистскую физику тяжелых ионов, передовые физические исследования сверхтяжелых элементов и экзотических нейтроноизбыточных ядер, прецизионную ядерную спектроскопию, физику нейтрино и астрофизику, фундаментальные исследования с помощью нейтронов, физику конденсированных сред и новых материалов, теоретическую и математическую физику, создание современной экспериментальной техники и методики, биофизику и радиобиологию, информационные технологии и компьютеринг. В деятельности ОИЯИ с момента его образования в 1956 г. принимают участие ученые из Европы, Азии, Африки и Латинской Америки, что играет важную роль в определении целей и многоплановости научной политики ОИЯИ.

Богатые традиции научных школ Института и высокая квалификация персонала позволяют передавать знания новым поколениям ученых и инженеров, что гарантирует необходимый потенциал фундаментальных физических исследований, а также прикладной науки и инновационной деятельности. ОИЯИ продолжает оставаться привлекательным для молодых специалистов из разных стран.

Накопленный в ОИЯИ опыт, а также современные тенденции мировой науки обуславливают стратегию дальнейшего развития нашего центра, которая включает:

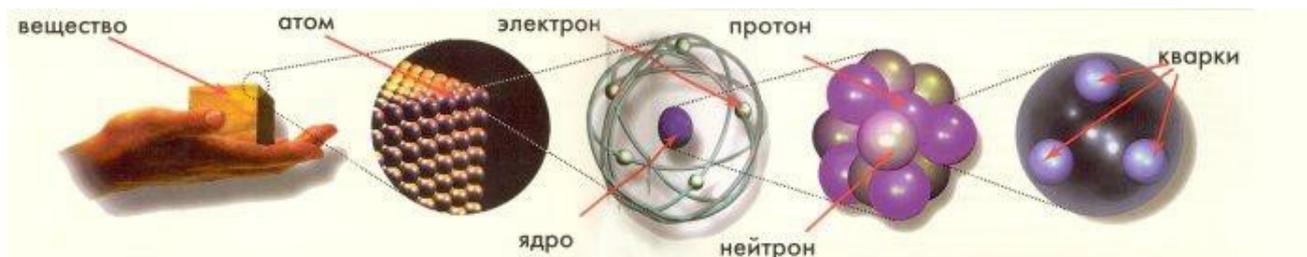
- реализацию новых проектов мирового уровня в области современной физики на основе лучших профессиональных стандартов и традиций;
- расширение международного сотрудничества вокруг базовых установок ОИЯИ и их дальнейшую интеграцию в европейскую и мировую научно-исследовательскую инфраструктуру;
- привлечение новых стран в семью ОИЯИ;
- совершенствование общей инфраструктуры и методов работы ОИЯИ с учетом опыта международных научно-исследовательских центров.

В заключение я хотел бы выразить уверенность в том, что развитие ОИЯИ в соответствии с целями, изложенными в настоящем плане, вновь убедительно продемонстрирует миру притягательную силу научных знаний и беспрецедентную прочность связей, объединяющих научное сообщество при всем разнообразии национальностей, религий и рас.

В. А. Матвеев  
научный руководитель ОИЯИ

## Введение

Для обоснования главных задач нового семилетнего плана ОИЯИ представляется уместным взглянуть на развитие современной физики частиц, ядерной физики, астрофизики и физики конденсированного состояния вещества. Именно эти области исследования являются стержнем всей научной программы ОИЯИ. Будучи наиболее фундаментальными, они образуют базис и формируют методологическую основу для всех научных дисциплин, нацеленных на исследование структуры и свойств окружающего нас мира — от нуклонов и ядер до молекул и наиболее сложных состояний материи.



Стратегическая цель современной физики элементарных частиц и астрофизики состоит в формировании нового единого физического мировоззрения, лишенного «недостатков» современной Стандартной модели слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий, которая, в свою очередь, представляет собой выдающееся достижение человеческой мысли. Подтверждением тому служит открытие последнего недостающего элемента Стандартной модели — бозона Хиггса, а также прецизионное описание многочисленных данных на электрослабом масштабе энергий Большого адронного коллайдера ЛНС.

Тем не менее Стандартная модель не является единой непротиворечивой фундаментальной теорией — адекватной основой современного мировоззрения. Она лишь «низкоэнергетический предел» какой-то более фундаментальной теоретической концепции, которая будет способна «работать» на всех энергетических масштабах, включая и астрономический масштаб Планка ( $10^{19}$  ГэВ).

Поэтому поиск новой более фундаментальной теории и ее всестороннее экспериментальное подтверждение — это главная задача современной физики.

Другая, в каком-то смысле противоположная, задача связана с тем фактом, что квантовая хромодинамика все еще далека от объяснения конфайнмента кварков и других коллективных свойств сильного взаимодействия, проявляющихся на промежуточных и больших расстояниях. На базе этого коллективного поведения кварков строится все разнообразие материи — от бесцветных адронов (мезонов, барионов, глюболов и т. п.) до ядерных реакций и ядерной физики, включая тяжелые и сверхтяжелые элементы таблицы Менделеева.

Поэтому на пути создания новой теории элементарных частиц (новой физической картины мира) главными источниками решающей информации сегодня считаются:

– **прямой поиск «новой» физики на Большом адронном коллайдере ЛНС** (суперсимметрии, распадов бозона Хиггса, дополнительных размерностей пространства, новых сил, новых частиц и т. п.);

– **нейтринная физика и астрофизика** (как наиболее интригующая и быстро развивающаяся область современной физики элементарных частиц);

– **космология**; объяснение природы **темной материи и темной энергии**;

– **косвенный поиск «новой» физики** преимущественно путем прецизионных исследований крайне редких превращений лептонов и адронов, нарушающих (флейворную) симметрию поколений.

Не будучи напрямую связанной с «новой» физикой, **структура адронов** остается очень важным и уникальным источником информации для понимания основ квантовой хромодинамики (КХД).

В связи с этим первая главная задача новой фазы экспериментов на LHC состоит во всестороннем изучении свойств бозона Хиггса с целью доказательства его принадлежности Стандартной модели. Вторая главная задача – получить ответ на вопрос о существовании (или отсутствии) «новой» физики на ТэВ-ном масштабе энергий. Особый интерес здесь связан с экспериментальным обнаружением суперсимметрии.

Помимо этих задач центральной проблемой физики частиц сегодня является природа нейтрино, т. е. те фундаментальные свойства нейтрино, которые определяют уникальную специфику их взаимодействия.

Другая загадка природы связана с возникновением нашей Вселенной, ее разгадка сегодня требует понимания процесса инфляции, происхождения и свойств темной материи и темной энергии.

Другой (непрямой) путь поиска «новой» физики тесно связан с физикой флейвора. Здесь главная задача состоит в изучении процессов, в которых фермионы одного поколения превращаются в фермионы другого поколения (так называемые процессы с изменением флейвора). В настоящее время флейворная физика представляет собой надежный и важный инструмент поиска «новой» физики, поскольку является потенциально чувствительной к значительно большим энергетическим масштабам, чем те, что могут быть достигнуты даже на будущих ускорителях сверхвысоких энергий.

В целом, главное направление поиска «новой» физики сегодня «расположилось» в «зоне ответственности» (очень) слабых взаимодействий. Тем не менее существенным элементом Стандартной модели является КХД – хорошо развитая квантово-полевая теория сильных взаимодействий. В любом адронном процессе при высоких или низких энергиях (например, на LHC или в бета-распаде) КХД – это главная причина образования частиц и неизбежный фон для поиска «новой» физики. Детальное понимание всех эффектов КХД абсолютно необходимо для корректной интерпретации экспериментальных данных.

Пертурбативная КХД за счет асимптотической свободы представляет собой эффективный и хорошо работающий теоретический метод, который описывает кварк-глюонные взаимодействия при больших переданных импульсах (так называемые *жесткие* процессы). С другой стороны, непертурбативная КХД с ее эффектом конфайнмента неизбежно присутствует везде при высоких энергиях в форме партонных функций распределения, функций фрагментации и других проявлений *мягких* взаимодействий адронов.

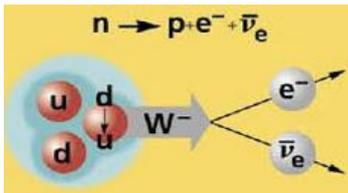
На самом деле непертурбативная КХД – это важная часть Стандартной модели, задача которой объяснить, исходя из самых первых принципов, динамическое нарушение киральной симметрии (в результате которого образуется примерно 98 % всей видимой массы во Вселенной), эффект конфайнмента, а вслед за ним и всю ядерную физику, т. е. то, как именно из кварков и глюонов образуются адроны и как они, интенсивно взаимодействуя друг с другом, формируют все наблюдаемое многообразие атомных ядер.

Эти фундаментальные вопросы очень сложны, поэтому для поиска ответов на них необходима дополнительная информация, имеющая отношение к поиску проявлений «новой» физики в прецизионных лабораторных экспериментах, в астрофизических наблюдениях, а также в исследованиях свойств адронной материи в коллайдерных экспериментах, в компактных звездах и т. п. Помимо мягких непертурбативных КХД-процессов (например на

ЛНС) главные надежды на решение фундаментальных проблем физики сильных взаимодействий связаны с исследованием столкновений тяжелых ионов при высоких энергиях, где на систематической основе создаются условия для фазовых переходов в горячей и плотной адронной материи.

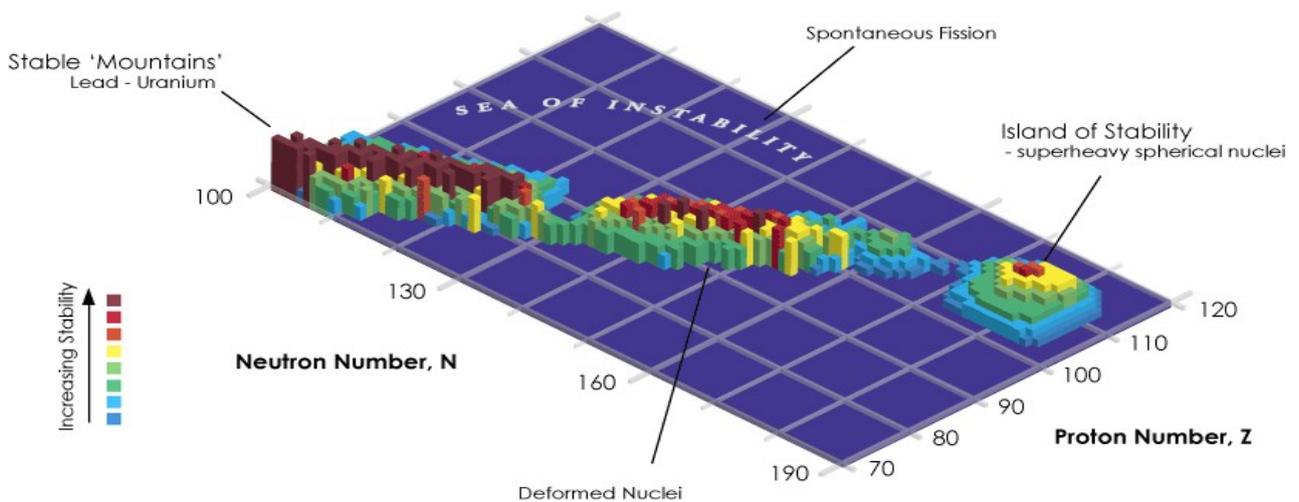
Чтобы последовательно получать ответы на упомянутые выше наиболее фундаментальные вопросы, необходимо работать по всему спектру задач, которые находятся в фокусе новой семилетней программы ОИЯИ.

1. Прецизионные измерения характеристик бета-распада нейтрона (время жизни, угловые корреляции) представляются очень важными для определения ключевых элементов матрицы Кабиббо–Кобаяши–Маскавы и понимания структуры нейтрона в КХД. Свойства нейтрона и ядерных реакций, вызванных нейтронами, имеют важное значение для понимания ряда астрофизических процессов. В частности, значения сечений реакций захвата нейтронов очень критичны для объяснения процессов формирования изотопов в звездах, сверхновых и т. п.



2. Информация о природе достаточно стабильных и необычных адронных состояний — глюболов, гиперядер, легких ядер с большим числом избыточных нейтронов, дважды(трижды)-барионов и других кластерных конфигураций в ядрах — очень важна для понимания КХД-явлений в непертурбативной области. Эта важная информация может быть получена посредством изучения ядерных реакций, возбуждаемых стабильными и радиоактивными пучками ионов (экзотических) легких элементов.

3. **Физика тяжелых ионов** является наиболее быстро развивающейся областью ядерной физики низких и промежуточных энергий. Самые яркие результаты были достигнуты в области синтеза и изучения ядерно-физических и химических свойств трансфермиевых ( $Z > 100$ ) и особенно сверхтяжелых элементов (СТЭ,  $Z > 112$ ), а также в синтезе и исследовании свойств экзотических легких ядер, механизмов ядерных реакций с ускоренными тяжелыми ионами стабильных и радиоактивных изотопов.



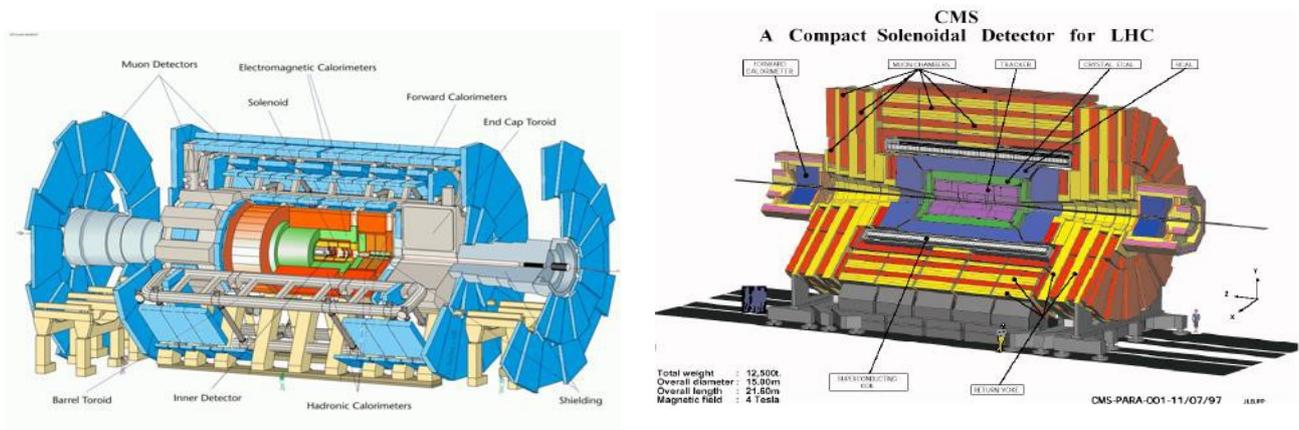
Предсказание существования «острова повышенной стабильности» сверхтяжелых элементов явилось фундаментальным достижением макромикроскопической теории ядра. Предсказываемые свойства СТЭ напрямую зависят от параметров модели, выбранной для их описания. Теория нашла успешное подтверждение после того, как были синтезированы сверхтяжелые элементы с  $Z = 113–118$ . Сечения образования СТЭ оказались в пикобарновой области. Дальнейшее уточнение теоретических моделей станет возможным после синтеза более тяжелых изотопов с  $Z = 119, 120$ , получения новых данных о временах жизни и структуре ядерных уровней СТЭ. Эти данные необходимы для оптимизации методов синтеза новых изотопов.

4. Изучение различных характеристик спонтанного деления, а также индуцированного нейтронами деления ядер имеет первостепенное значение, в частности, из-за возможности использования современных высокоинтенсивных источников нейтронов и благодаря тому факту, что деление ядра — это одна из наиболее сложных ядерных трансформаций, сопровождающаяся глубоким перераспределением масс и зарядов начальных ядер, а также образованием высокодеформированных и возбужденных ядерных фрагментов и т. п.

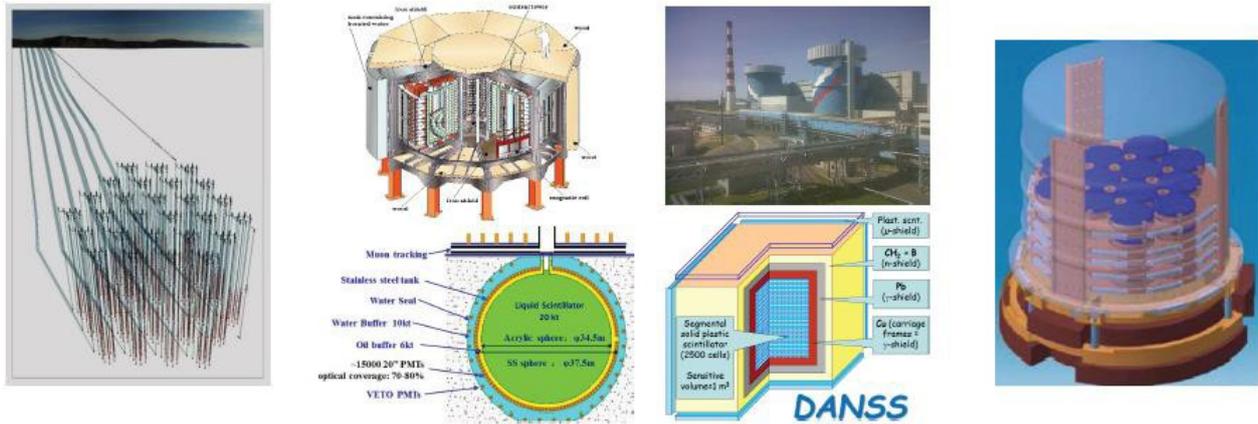
Все эти важные ядерно-физические исследования, нацеленные на качественное **улучшение ядерных моделей** (и, соответственно, понимания структуры ядер) имеют своей конечной целью объяснение этих моделей из первых принципов на основе **непертурбативной КХД**.

Согласно упомянутым выше стратегическим направлениям развития современной физики элементарных частиц и астрофизики главными задачами новой семилетней программы ОИЯИ являются нижеследующие.

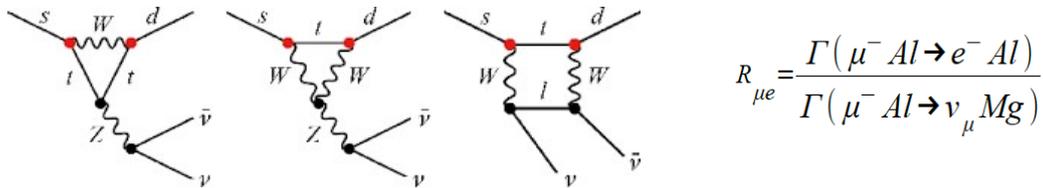
– **Прямой поиск «новой» физики на ЛHC.** Здесь главная цель — получение результатов фундаментальной значимости относительно природы бозона Хиггса, существования (или отсутствия) суперсимметрии на ТэВ-ном масштабе энергий, дополнительных пространственных размерностей, новых частиц и взаимодействий, структуры нуклонов и свойств кварк-глюонной КХД-материи и т. п. путем полномасштабного участия ОИЯИ в работе международных многоцелевых экспериментов ATLAS и CMS при энергиях ЛHC 13–14 ТэВ.



– **Нейтринная программа ОИЯИ.** Это исследования по физике нейтрино и астрофизике на уникальном нейтринном телескопе Baikal-GVD, фундаментальные и прикладные исследования на пучках антинейтрино Калининской атомной станции, участие (с обеспечением решающего вклада ОИЯИ) в главнейших международных нейтринных экспериментах (JUNO, SuperNEMO, NOvA, EURICA, DS и др.), а также создание в ОИЯИ для этих целей соответствующей инфраструктуры наиболее передового уровня.



– В области **физики флейвора** главная задача – продолжение традиционных для ОИЯИ исследований по флейворной физике кварков и заряженных лептонов путем участия в наиболее амбициозных экспериментах мирового уровня, нацеленных, например, на исследование редких, нарушающих CP-симметрию распадов каонов ( $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ ) и поиск конверсии мюонов в электроны на ядрах ( $\mu 2e$  и COMET).



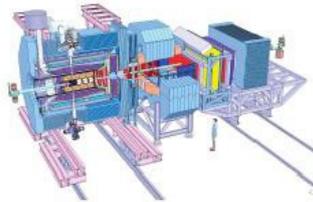
– В **пертурбативной и непертурбативной КХД** главные задачи ОИЯИ: а) участие в наиболее важных международных ускорительных экспериментах по исследованию нуклонов и ядер (таких как COMPASS, BESIII, PANDA и т. п.) с целью получения новой информации для понимания свойств КХД, спиновой структуры адронов и т. п.; б) продолжение фундаментальных исследований по нейтронной физике на реакторе IBR-2; в) проведение на внешних для ОИЯИ источниках ультрахолодных нейтронов измерений фундаментальных характеристик нейтронов (бета-распад, электрический дипольный момент и т. п.).



COMPASS



BESIII



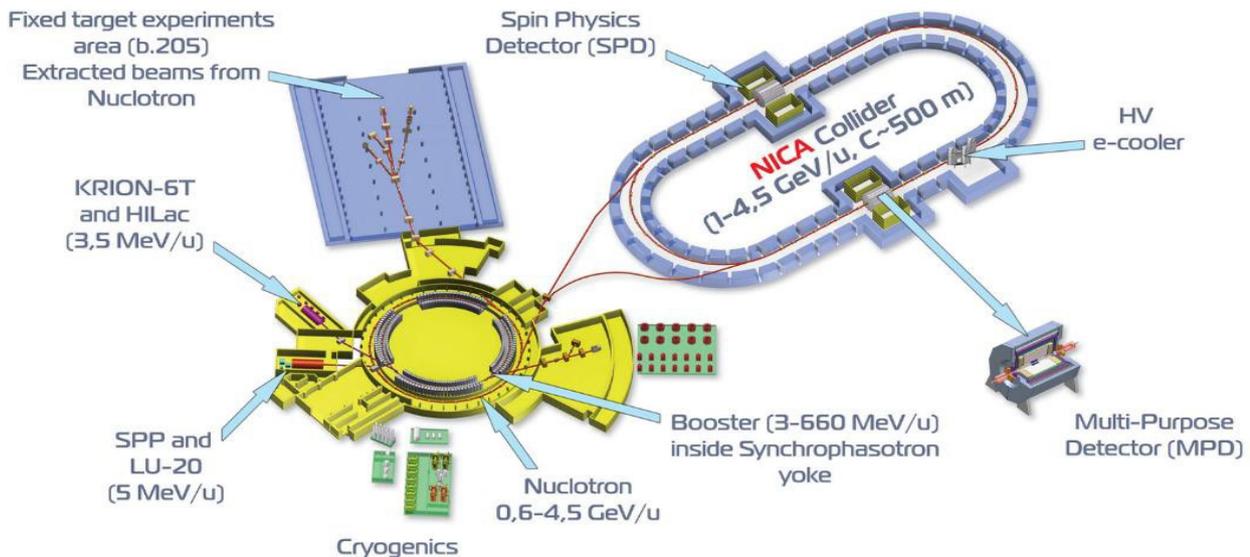
PANDA



UCN setup

– В релятивистской физике тяжелых ионов перспективная экспериментальная программа ОИЯИ связана с мегапроектом NICA, задачей которого является изучение горячей и плотной сильно взаимодействующей КХД-материи, поиск смешанной фазы и критической точки на фазовой диаграмме КХД с целью пролить свет на плохо изученную область фазовой диаграммы и проверить предсказания непертурбативной КХД и других теоретических моделей, описывающих сильно взаимодействующую материю. Для этого в ближайшие 7 лет ОИЯИ должен запустить комплекс NICA, завершить создание установок BM@N и MPD и достичь проектных параметров, необходимых для получения новых результатов в изучении горячей и плотной барионной материи и фазовых превращений в ней. Область энергий коллайдера NICA представляет особый интерес, поскольку соответствует максимальной возможной плотности барионов на момент их «вымораживания». В этом диапазоне энергии система занимает максимальный объем пространства-времени в виде смешанной фазы кварк-глюонной материи (сосуществование адронов со свободными кварками и глюонами).

## Superconducting accelerator complex NICA (Nuclotron based Ion Collider Facility)



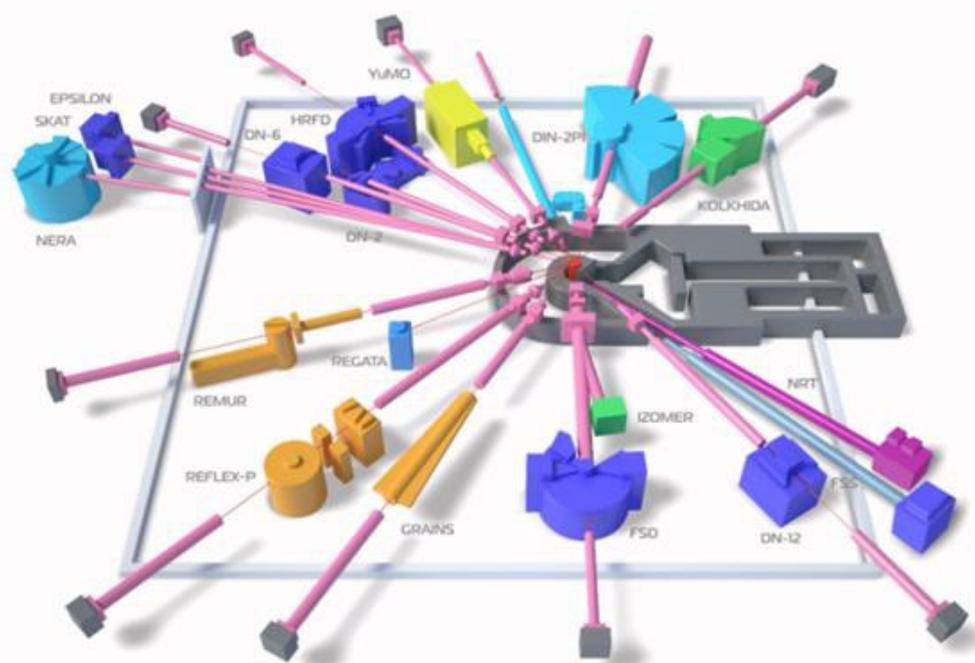
– В современной **ядерной физике** (благодаря взаимосвязи с КХД и физикой частиц) главной целью является укрепление лидирующих позиций ОИЯИ в области физики сверхтяжелых элементов за счет обеспечения качественно нового уровня исследований на создаваемой фабрике СТЭ по синтезу и изучению ядерно-физических и химических свойств СТЭ, изучению механизмов ядерных реакций с ускоренными ионами стабильных и радиоактивных изотопов, поиску новых видов радиоактивного распада и т. д.

И наконец, фундаментально важным является нахождение связей ядерной физики с базовыми принципами КХД.



– В области **физики конденсированного состояния** главная задача – развитие экспериментальных установок с целью максимально эффективного использования всех возможностей импульсного реактора ИБР-2 – одного из трех наиболее интенсивных источников нейтронов в мире. Исследования физических и химических свойств сложных жидкостей и полимеров, функциональных материалов, наносистем приведет к новым технологическим приложениям в производстве энергии, электронике, биологии, медицине и т. д. Поскольку запланированное время жизни реактора ИБР-2 ограничено серединой 2030-х гг., то в рамках нового семилетнего плана необходимо разработать концепцию и эскизный проект новой установки мирового уровня для проведения исследований с пучками нейтронов, а также начать работы по созданию топливной загрузки для нового источника. Также, в рамках текущего семилетнего плана будет начата работа по моделированию экспериментальной инфраструктуры нового источника, включая элементы экспериментальных установок с прототипированием отдельных компонентов на ИБР-2.

### Комплекс спектрометров ИБР-2



– В **информационных технологиях** ключевым направлением является проведение основополагающих перспективных и опережающих исследований в области распределенных вычислительных систем, вычислительной математики и вычислительной физики, нацеленных на создание и использование новых вычислительных платформ, создание новых математических методов, алгоритмов и программ путем решения актуальных задач, возникающих в экспериментальных и теоретических исследованиях. Решение этой задачи теснейшим образом связано с широким спектром исследований, проводимых в ОИЯИ, по физике высоких энергий, ядерной физике, физике конденсированных сред и нанотехнологии, радиобиологии и биофизике, по ряду других направлений, требующих применения и развития новых подходов для моделирования физических процессов, обработки и анализа экспериментальных данных, в том числе с применением в исследованиях по проекту NICA, в нейтринной программе и в других стратегических задачах Института. В современном компьютеризированном мире опережающее развитие этого направления является базовым для прогресса по всем другим направлениям исследований, проводимых в ОИЯИ.

## Развитие установок ОИЯИ

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

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

Предусмотрены следующие этапы строительства, сдачи в эксплуатацию и разработки элементов комплекса NICA.

1. Сдача в эксплуатацию базовых элементов NICA (в соответствии с расписанием: бустер — 2020 г.; базовая конфигурация коллайдера — 2022–2023 г.; проектная конфигурация коллайдера — 2025 г.). Создание экспериментальных зон и каналов выведенных пучков комплекса NICA — 2022 г.).

2. Создание и запуск инфраструктуры для проведения исследований в области адронной лучевой терапии и других прикладных исследований в области радиобиологии и устойчивой к облучению микроэлектроники на базе ускорительного комплекса ЛФВЭ — 2017–2023 гг.

3. Запуск начальной конфигурации установки BM@N для пучков легких ионов с высокой интенсивностью, выведенных из нуклотрона, — 2017 г.

4. Завершение модернизации и сдача в эксплуатацию установки BM@N для пучков тяжелых ионов высокой интенсивности, выведенных из нуклотрона, — 2021 г.

5. Пуск первой очереди установки MPD — 2022 г.

6. Сдача в эксплуатацию второй очереди установки MPD — 2025 г.

7. Введение в эксплуатацию начальной конфигурации детектора SPD — 2025 г.

### Развитие комплекса NICA (материальные затраты, тыс. долл. США)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Итого
Инжекционный комплекс	1 739,5	2 633,2	2 497,3	1 325,5	1 368,1	1 464,4	1 215,0	<b>12 243,1</b>
Бустер NICA	4 157,4	4 334,0	3 240,2	1 464,3	1 148,5	454,0	354,1	<b>15 152,5</b>
Нуклотрон	674,5	423,8	395,2	289,0	1 041,3	547,9	180,0	<b>3 551,6</b>
Коллайдер	9 077,3	13 237,2	8 864,7	8 405,1	5 922,3	12 722,0	7 724,3	<b>65 952,9</b>
Криогенный комплекс	933,8	1 278,4	511,2	1 252,3	785,7	520,0	80,0	<b>5 361,4</b>
Детектор BM@N	1 921,0	1 574,9	2 419,8	1 430,5	2 166,0	1 316,0	384,2	<b>11 212,4</b>
Детектор MPD	6 735,6	12 178,4	8 766,2	8 806,5	8 332,0	11 784,4	8 940,0	<b>65 543,1</b>
Детектор SPD	16,1	759,1	941,8	455,7	116,6	163,5	298,0	<b>2 750,9</b>
Научно-технологическая база сборки, испытаний, сертификации СП магнитов и склад	808,4	1 346,1	1 193,4	387,2	136,6	210,0	140,0	<b>4 221,7</b>
Информационно-компьютерный комплекс	438,6	657,0	312,8	68,5	233,0	415,0	390,0	<b>2 514,8</b>
Инфраструктура комплекса NICA	11 815,0	8 013,5	9 712,6	8 315,2	28 063,8	23 702,9	6 994,4	<b>96 617,4</b>
Прочие расходы	7,4	25,8	17,1	14,6	0,0	0,0	0,0	<b>64,8</b>
<b>Итого</b>	<b>38 324,6</b>	<b>46 461,3</b>	<b>38 872,4</b>	<b>32 214,4</b>	<b>49 313,9</b>	<b>53 300,0</b>	<b>26 700,0</b>	<b>285 186,6</b>

**Фабрика сверхтяжелых элементов**, базирующаяся на специализированном циклотроне DC-280 и оснащенная экспериментальными установками нового поколения, является важнейшей составляющей проекта DRIBs-III (Dubna Radioactive Ion Beams). Полномасштабная реализация этого проекта — приоритетная задача Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова на период 2017–2023 гг., что позволит существенно расширить возможности проведения фундаментальных и прикладных ядерно-физических исследований в ОИЯИ на высочайшем уровне в широкой кооперации с научными центрами государственных институтов и других стран.

Следующие этапы являются главными в реализации проекта DRIBs-III.

1. Получение пучков ускоренных ионов на циклотроне DC-280 с максимальной интенсивностью до 10 мкА по частицам для изотопов с  $A < 100$  с плавной перестройкой энергии, получение высокоинтенсивных пучков стабильных редких изотопов ( $^{36}\text{S}$ ,  $^{48}\text{Ca}$  и т. д.), а также пучков долгоживущих радиоактивных ядер, таких как  $^{36}\text{Ar}$ ,  $^{50}\text{Ni}$ , создание инфраструктуры для проведения на пучках ускорителя DC-280 экспериментов на установках, созданных в других исследовательских центрах, — 2017–2023 гг.

2. Реконструкция циклотрона U400M с целью получения интенсивных пучков ионов радиоактивных изотопов и расширения возможностей изучения нуклидов на границах протонной и нейтронной стабильности, изучение взаимодействий нуклидов с максимальными избытками протонов и нейтронов, создание нового высокоэффективного сепаратора ACCULINNA-II — 2019 г.

3. Реконструкция циклотрона U400 → U400R с целью расширения ассортимента ускоряемых ионов от гелия до урана, снижения энергетического разброса ускоренных ионов до 0,3 %, обеспечения плавной перестройки энергии ионов в диапазоне 0,8–25 МэВ·А, снижения энергопотребления и повышения долговременной стабильности работы ускорителя, получения пучков ионов редких стабильных изотопов, короткоживущих изотопов с временами жизни  $T_{1/2} \geq 0,1$  с, инжектируемых либо непосредственно в вертикальный канал циклотрона, либо в ионный источник; расширение площади экспериментального зала до 1500 м<sup>2</sup> с обеспечением работы в шести радиационно-защищенных кабинах — 2020–2023 гг.

4. Создание экспериментальных установок длительного действия — сепараторов и многопараметрических детекторных систем.

**График финансирования и реализации основных составляющих проекта DRIBs-III  
на период 2017–2023 гг. (тыс. долл. США)**

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
<b>Фабрика СТЭ</b>								
Завершение строительства экспериментального корпуса	2 800,0	1 285,0	45,0	5,0	0,0	0,0	0,0	<b>4 135,0</b>
Ускоритель DC-280	1 230,0	140,0	450,0	255,0	0,0	0,0	0,0	<b>2 075,0</b>
Создание новых физических установок	3 440,0	1 450,0	1 060,0	2 370,0	2 420,0	2 100,0	1 400,0	<b>14 240,0</b>
<b>Ускорительный комплекс U400R</b>								
Строительство монтажного зала	90,0	455,0	460,0	1 460,0	720,0	0,0	0,0	<b>3 185,0</b>
Строительство экспериментального зала	10,0	240,0	65,0	320,0	1 550,0	3 400,0	2 700,0	<b>8 285,0</b>
Модернизация циклотрона U400	0,0	0,0	0,0	410,0	140,0	2 200,0	2 000,0	<b>4 750,0</b>
<b>Модернизация циклотрона U400M</b>								
Модернизация циклотрона U400M	2 240,0	1 820,0	1 760,0	1 500,0	1 550,0	250,0	0,0	<b>9 120,0</b>
<b>Ускорительный комплекс DC-140</b>								
Создание циклотрона DC-140 (модернизация U200→DC-140)	0,0	0,0	0,0	0,0	2 500,0	2 600,0	1 900,0	<b>7 000,0</b>
<b>Проект радиохимического комплекса I класса</b>								
Проект РХЛ I класса	0,0	0,0	0,0	0,0	200,0	500,0	500,0	<b>1 200,0</b>
<b>Создание новых и реконструкция действующих установок на U400R и U400M</b>								
Электромагнитные сепараторы, системы детектирования	3 290,0	3 320,0	3 100,0	2 930,0	2 260,0	1 350,0	2 370,0	<b>18 620,0</b>
<b>Поддержка экспериментов</b>								
Проведение экспериментов	2 990,0	2 850,0	2 900,0	1 390,0	2 750,0	2 600,0	2 200,0	<b>17 680,0</b>
<b>Итого</b>	<b>16 090,0</b>	<b>11 560,0</b>	<b>9 840,0</b>	<b>10 640,0</b>	<b>14 090,0</b>	<b>15 000,0</b>	<b>13 070,0</b>	<b>90 290,0</b>

### Время работы ускорителей (пучок на мишени) (час)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Итого
U400/U400R	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	3 000	0	28 000
U400M	5 000	5 000	5 000	2 500	0	2 000	5 000	24 500
DC-280	0	0	3 000	5 000	5 000	5 000	5 000	23 000
<b>Итого</b>	<b>10 000</b>	<b>10 000</b>	<b>13 000</b>	<b>12 500</b>	<b>10 000</b>	<b>10 000</b>	<b>10 000</b>	<b>75 500</b>

**Реактор ИБР-2** является базовой установкой ОИЯИ для нейтронных исследований в области физики конденсированных сред и **единственной в странах-участницах ОИЯИ**. В рамках выполнения предыдущего семилетнего плана были созданы первые холодные замедлители, количество спектрометров реактора для исследования конденсированных сред было увеличено с 11 до 14, проведена существенная модернизация ряда действующих спектрометров.

#### **Программа развития реактора ИБР-2 на 2017–2023 гг.**

1. Освоение и эксплуатация комплекса криогенных замедлителей. Приобретение и запуск в эксплуатацию новой холодильной машины для каналов 4–6. Развитие систем управления и контроля комплекса криогенных замедлителей КЗ-201, КЗ-202, КЗ-203 реактора ИБР-2. Создание резервного подвижного отражателя ПО-3Р.

2. Обновление технологического оборудования реактора с истекающими сроками службы (воздушные теплообменники, электромагнитные насосы и т. д.).

#### **Новый источник нейтронов ОИЯИ**

1. Разработка концептуального проекта нового источника нейтронов.
2. Разработка эскизного проекта нового источника нейтронов.
3. Разработка топливной загрузки для нового источника.
4. Моделирование экспериментальной инфраструктуры нового источника, включая элементы экспериментальных установок с прототипированием отдельных компонентов на ИБР-2.

#### **Программа развития комплекса спектрометров на ИБР-2**

1. Работы по созданию окончательной конфигурации и развитию новых спектрометров ДН-6, ГРЭИНС, томографии и радиографии, FSS.

2. Модернизация и реконструкция существующих спектрометров реактора ИБР-2 с целью улучшения их параметров, расширения экспериментальных возможностей и обеспечения бесперебойной работы, включая развитие систем формирования пучка, нейтронных детекторов, систем окружения образца, криостатов и криомагнитных систем, а также электроники и программного обеспечения систем сбора данных.

3. Разработка и создание основной конфигурации нового спектрометра малоуглового рассеяния на реакторе ИБР-2.

**График финансирования реактора ИБР-2 с комплексом спектрометров  
на 2017–2023 гг. (тыс. долл. США)**

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Итого
Работы по созданию окончательной конфигурации и развитию новых спектрометров ДН-6, ГРЭИНС, томографии и радиографии, FSS	350,0	427,1	413,5	115,6	81,8	97,6	81,9	<b>1 567,5</b>
Модернизация и реконструкция существующих спектрометров реактора ИБР-2	578,6	1218,8	518,5	1159,2	90,0	151,6	53,2	<b>3 769,9</b>
Разработка и создание основной конфигурации нового спектрометра малоуглового рассеяния	115,0	228,7	199,0	196,2	411,0	270,3	193,1	<b>1 613,3</b>
Приобретение материалов и оборудования за счет грантов полномочных представителей, программ сотрудничества и совместных проектов со странами-неучастницами	1045,4	779,6	688,7	728,8	0	0	0	<b>3 242,5</b>
Оптические методы исследований	196,7	87,9	87,4	86,5	103,0	61,6	42,2	<b>665,3</b>
Развитие реактора ИБР-2 с комплексом криогенных замедлителей	1537,8	2 893,0	3 214,0	1 075,5	2 652,7	1 996,7	1 426,2	<b>14 795,9</b>
Разработка систем контроля и управления для холодных замедлителей нейтронов и исполнительных механизмов спектрометров	263,8	525,3	595,3	525,9	341,0	302,4	216,0	<b>2 769,7</b>
Разработка детекторов, систем окружения образца, систем сбора и накопления данных; развитие информационно-вычислительной инфраструктуры ЛНФ	535,6	1 066,5	1 184,2	1 048,0	1 042,3	619,9	387,4	<b>5 883,9</b>
Эксплуатация ИБР-2	219,5	151,9	312,7	384,3	317,5	350,0	350,0	<b>2 085,9</b>
<b>Итого</b>	<b>4842,4</b>	<b>7 378,8</b>	<b>7 213,3</b>	<b>5 320,0</b>	<b>5 039,3</b>	<b>3 850,0</b>	<b>2 750,0</b>	<b>36 393,8</b>

## **Лаборатория структурных исследований SOLCRYS**

Исследования конденсированных сред в ОИЯИ ведутся в области изучения новых материалов (катализаторов, полимеров и т. д.), наноматериалов (наночастиц, нанокompозитов и т.д.), материалов в экстремальных условиях (сверхпроводников, перовскитов и т.д.) и биоматериалов (белков, ДНК и т.д.). Методы исследования, основанные на рассеянии синхротронного излучения, будут развиваться на базе Национального центра синхротронного излучения SOLARIS Ягеллонского университета в Кракове (Польша), где ОИЯИ предлагает создать новую Лабораторию структурных исследований SOLCRYS. Планируется создание трех измерительных станций:

- для макромолекулярной рентгеновской кристаллографии;
- для малоуглового рентгеновского рассеяния;
- для порошковой дифракции.

### **Программа строительства лаборатории SOLCRYS на 2020–2023 годы**

1. Расширение существующего экспериментального зала для размещения конечных станций кристаллографической линии, а также лаборатории для подготовки образцов.

2. Разработка и развитие технической инфраструктуры в объеме, необходимом для установки и правильной эксплуатации исследовательского оборудования лаборатории SOLCRYS.

3. Проектирование, приобретение и установка исследовательской инфраструктуры, в том числе:

а) разработка, закупка и установка сверхпроводящего вигглера в качестве источника излучения в рентгеновском диапазоне с верхней энергией фотонов не менее 20 кэВ;

б) проектирование, приобретение и установка исследовательской линии для дифракционных исследований, в том числе:

– вакуумная система, разделяющая синхротрон и линию — так называемый передний конец;

– инфраструктура линии, состоящая из вакуумных систем, систем наведения и контроля луча, оптики и монохроматоров;

в) проектирование, закупка и установка измерительной станции для дифракционных исследований;

г) строительство измерительных станций для исследований малоуглового рассеяния рентгеновских лучей (SAXS) и широкоугольного рассеяния рентгеновских лучей (WAXS);

д) проектирование и сборка систем управления, а также систем сбора и хранения данных;

е) строительство объектов для подготовки образцов.

Традиционная научно-исследовательская деятельность ОИЯИ в области **нейтронной ядерной физики** будет осуществляться на нейтронном источнике высокого разрешения – ИРЕН.

Дальнейшее развитие установки ИРЕН в 2017–2023 гг. связано с усовершенствованием систем ускорителя и модернизацией инфраструктуры экспериментального зала и павильонов, включая:

1) переход на новые клистроны, которые позволят поднять частоту нейтронных импульсов с 50 до 120 Гц;

2) оптимизацию источника электронов, процессов формирования пучка электронов и его транспорта, которая позволит повысить эффективность ускорителя;

3) модернизацию экспериментального зала для обеспечения инфраструктуры экспериментальных установок на мировом уровне.

### График финансирования установки ИРЕН на 2017–2023 гг. (тыс. долл. США)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Итого
Техническое обслуживание и эксплуатация	230,0	200,7	478,8	157,5	28,8	150,0	150,0	<b>1 395,8</b>
Совершенствование систем ускорителя	1 058,5	932,2	358,5	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>2 349,2</b>
<b>Итого</b>	<b>1 288,5</b>	<b>1 132,9</b>	<b>837,3</b>	<b>157,5</b>	<b>28,8</b>	<b>150,0</b>	<b>150,0</b>	<b>3 745,0</b>

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

В рамках текущего семилетнего плана обязательства ОИЯИ в части создания нейтринного телескопа Baikal-GVD заключаются в том, чтобы ввести в эксплуатацию 12 кластеров и завершить первый этап создания детектора. 2022–2023 годы будут использованы для изучения возможности технологической модернизации установки Baikal-GVD в рамках подготовки следующего этапа развития.

Во второй фазе своего развития нейтринный телескоп Baikal-GVD будет представлять собой новую исследовательскую инфраструктуру, нацеленную в первую очередь на исследование потоков нейтрино астрофизического происхождения. Детектор будет использовать воду Байкала в качестве детектирующей субстанции, в которую помещены оптические сенсоры, регистрирующие черенковское излучение от вторичных частиц, возникающих в результате взаимодействий высокоэнергичных нейтрино внутри рабочего объема детектора или в непосредственной близости к нему. Концепция установки Baikal-GVD базируется на нескольких достаточно очевидных требованиях к дизайну и архитектуре системы сбора информации с распределенного массива детектирующих кластеров. Это максимальное использование преимуществ развертывания данного массива на ледяном покрове озера, возможность масштабирования установки и обеспечение ее эффективной работы даже на самом первом этапе (с малым числом кластеров), а также возможность различных вариантов расположения светорегистрирующих сенсоров в пределах одной измерительной системы.

### График финансирования проекта Baikal-GVD на 2017–2023 гг. (тыс. долл. США)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
ФЭУ Hamamatsu R7081-100	1 930,0	1 974,0	1 970,0	2 040,0	2 050,0	1 000,0	0,0	<b>10 964,0</b>
Оптические модули с разъемами	2 315,0	1 538,0	1 331,0	1 365,0	1 000,0	700,0	0,0	<b>8 249,0</b>
Электроника и компьютеринг	2 550,0	1 920,0	1 850,0	1 900,0	1 120,0	1 000,0	1 400,0	<b>11 740,0</b>
Подводные кабели	519,0	583,0	1 258,0	2 020,0	2 050,0	500,0	0,0	<b>6 930,0</b>
Локальная инфраструктура	846,0	835,0	731,0	625,0	798,1	800,0	800,0	<b>5 435,1</b>
<b>Всего</b>	<b>8 160,0</b>	<b>6 850,0</b>	<b>7 140,0</b>	<b>7 950,0</b>	<b>7 018,1</b>	<b>4 000,0</b>	<b>2 200,0</b>	<b>43 318,1</b>

### План создания детектора GVD

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
Установка кластеров по годам	1	2	2	2	2	2	1	12
Кластеров в детекторе	2	4	6	8	9	11	12	12
Производство оптических модулей	600	600	600	600	600	600	300	3 556

## Физика частиц и физика тяжелых ионов высоких энергий

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

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

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

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

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

ОИЯИ продолжит участие в развитии подсистем ускорителя и детекторов в рамках проекта ILC.

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

**Исследование горячей и плотной барионной материи и ее фазовых переходов** будет вестись на базе комплекса NICA, пуск базовой конфигурации которого планируется провести во второй половине семилетнего периода. Будут проводиться эксперименты с выведенными пучками нуклотрона на установке BM@N и в режиме коллайдера на детекторе MPD в тяжелоионных столкновениях в диапазоне энергий  $\sqrt{s_{NN}} = 4-11$  ГэВ. Запуск комплекса NICA и упомянутых детекторов, их окончательное доведение до проектных параметров и получение новых экспериментальных результатов будут главными задачами для ЛФВЭ на ближайшие семь лет.

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

### **Ожидаемые результаты**

1. Запуск стартовой конфигурации установки  $BM@N$  для работы на пучках легких ионов высокой интенсивности, выведенных из нуклотрона. Получение первых результатов по исследовательской программе эксперимента  $BM@N$ : изучение выхода адронов, гиперонов и легких ядер — 2020–2021 гг.

2. Получение результатов на установке  $BM@N$  с использованием пучков тяжелых ионов высокой интенсивности, включая ионы золота. Изучение эллиптических и прямых потоков, процессов с рождением гиперонов с  $S = 2$  и гиперядер — 2023–2024 гг.

3. Пуск первой очереди детектора MPD, получение первых результатов в программе исследований по изучению свойств горячей и плотной барионной материи в центральном диапазоне быстрот, поиску фазовых переходов (наблюдаемые – выходы частиц и их спектры), включая частичное восстановление киральной симметрии (наблюдаемые – выходы дилептонов), и поиску критической точки (наблюдаемые – пособытийные флуктуации, корреляции частиц) — 2022–2023 гг.

4. Сдача в эксплуатацию второй очереди детектора MPD. Начало исследовательской программы с детектором MPD во всем доступном диапазоне фазового пространства — 2025 г.

5. Получение новых результатов по программе сканирования энергии в экспериментах NA61 (SPS) и STAR (RHIC) — 2017–2023 гг.

6. Получение новых результатов по программе фемтоскопии в эксперименте ALICE (LHC), участие в модернизации установки ALICE — 2017–2023 гг.

7. Выполнение обязательств по разработке и сдаче в эксплуатацию установки CBM в объеме обязательств ОИЯИ согласно совместной исследовательской программе NICA–FAIR — 2017–2023 гг.

**Изучение спиновой структуры нуклона и других поляризационных явлений в нуклон-нуклонных и нуклон-ядерных взаимодействиях, а также в малонуклонных системах** будет проводиться на ускорительном комплексе ЛФВЭ, в ЦЕРН и BNL. В ЛФВЭ будут проводиться эксперименты как с фиксированной мишенью и поляризованными пучками нуклотрона, так и на коллайдере NICA, на детекторе SPD. Строительство детектора SPD запланировано в рамках выполнения следующего семилетнего плана в соответствии с техническим проектом, который должен быть разработан. Программа исследований на SPD расширит действующие программы исследований эксперимента COMPASS (на SPS, ЦЕРН) по структуре и спектроскопии адронов на высокоинтенсивных пучках мюонов и адронов, а также на пучках поляризованных протонов на установке STAR (BNL), в которых ОИЯИ продолжит принимать участие в течение 2017–2023 гг.

### **Ожидаемые результаты**

1. Поэтапная сдача в эксплуатацию каналов поляризованных пучков на нуклотроне и инфраструктуры, необходимой для обеспечения экспериментальных исследований поляризационных явлений в рамках международной коллаборации, — 2017–2023 гг.

2. Проведение программы исследований экспериментов DSS и ALPOM-2 с поляризованными пучками нуклотрона. Одобрение и выполнение новых экспериментов, создаваемых для изучения спиновой структуры нуклона и других поляризационных явлений (как в нуклон-нуклонных и нуклон-ядерных взаимодействиях, так и в малонуклонных системах) с пучками нуклотрона, — 2017–2023 гг.

3. Введение в эксплуатацию начальной конфигурации детектора SPD на коллайдере NICA — 2026 г.

4. Получение новых результатов по спиновой структуре нуклона в экспериментах COMPASS (SPS) и STAR (RHIC) в процессах ММТДЯ, DVCS и полуинклюзивном ГНР — 2017–2023 гг.

**Поиск физических явлений за пределами Стандартной модели будет продолжен в экспериментах CMS и ATLAS на LHC в ЦЕРН.**

ОИЯИ будет принимать участие в модернизации детекторов во время остановок LHC в 2018–2019 гг. и 2022–2024 гг. и продолжит анализ данных, полученных на LHC.

Группа ОИЯИ примет участие в эксперименте по поиску слабо взаимодействующих частиц темной материи, предложенном в ЦЕРН на ускорителе SPS. ОИЯИ также примет участие в экспериментах по поиску процессов с нарушением закона сохранения флейвора заряженных лептонов – конверсии мюонов в электроны на ядрах  $\mu e$  (FNAL) и COMET (J-PARC).

#### **Ожидаемые результаты**

1. Получение новых экспериментальных результатов в рамках программы, направленной на проверку предсказаний Стандартной модели (СМ) и поиск физики за пределами СМ на установках CMS и ATLAS. Выполнение обязательств по модернизации детекторов — 2017–2023 гг.

2. Подготовка и запуск эксперимента, направленного на поиск слабо взаимодействующих частиц темной материи с использованием пучков SPS, — 2017–2023 гг.

3. Достижение верхнего предела для мюон-электронного превращения на уровне  $6 \cdot 10^{-17}$  в экспериментах  $\mu e$  и COMET — 2020–2023 гг.

Группа ОИЯИ продолжит участие в **серии прецизионных экспериментов по изучению редких распадов  $K$ -мезонов**, в том числе с прямым CP-нарушением, в эксперименте NA62 на SPS в ЦЕРН.

#### **Ожидаемые результаты**

1. Получение новых данных по распадам заряженных  $K$ -мезонов в эксперименте NA62 — 2017–2023 гг.

2. Точное определение параметров СМ, получение новых знаний о природе CP-нарушений и поиск «новой» физики за пределами СМ.

ОИЯИ продолжит участие в подготовке физической программы для комплекса FAIR, которая охватывает широкий диапазон задач, касающихся ключевых аспектов КХД. Пучок антипротонов с диапазоном энергии от 1 до 15 ГэВ/с на установке PANDA позволит провести точные измерения по спектроскопии чармония и очарованных адронов, по поиску экзотических состояний адронов и исследованию природы модификации массы адронов из-за плотности адронной среды. В эксперименте PANDA ОИЯИ планирует принять участие в строительстве мюонной системы, сверхпроводящего соленоида и кварцевых радиаторов электромагнитного калориметра. Основная часть работ будет финансироваться в рамках российского вклада в FAIR.

**В области физики и технологии ускорителей** в дополнение к работе над строительством элементов ускорительной установки NICA и участием в подготовке систем ИС планируется совместная работа по созданию комплекса FAIR в рамках программ Россия–FAIR и ОИЯИ–FAIR.

**Нейтринная физика и астрофизика** — одни из наиболее перспективных путей исследования фундаментальных, ключевых вопросов современной физики элементарных частиц. Наблюдение осцилляций нейтрино, отмеченное в 2015 г. Нобелевской премией, говорит о наличии у нейтрино ненулевых значений масс и нарушении закона сохранения лептонного числа.

Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова (ЛЯП) принимает участие в наиболее перспективных экспериментах по исследованию нейтринных осцилляций, например, реакторном эксперименте Daya Bay, в котором было зарегистрировано ненулевое

значение угла смешивания  $\theta_{13}$ . За этот результат в 2016 г. присуждена престижная награда Breakthrough Prize in Fundamental Physics.

В настоящее время физика нейтрино вошла в новую эру прецизионных измерений, и главными задачами сегодня являются определение иерархии нейтринных масс и исследование величины CP-нарушения в нейтринном секторе. Проблему иерархии масс нейтрино сотрудники ОИЯИ будут решать с помощью двух взаимодополняющих методик с использованием реакторных и ускорительных нейтрино в экспериментах JUNO и NOvA соответственно. Исследование CP-нарушения в лептонном секторе будет проводиться с помощью другого ускорительного эксперимента — DUNE, в котором ОИЯИ намеревается усилить свое участие в ближайшем будущем.

Другим важнейшим приоритетом в нейтринной физике является исследование процессов двойного бета-распада ядер, которое будет проводиться в рамках проектов GERDA-MAJORANA (G&M) и SuperNEMO. ЛЯП продолжит исследование солнечных нейтрино путем участия в эксперименте BOREXINO.

ЛЯП планирует расширить международное участие в эксперименте Baikal-GVD, который сфокусирован на детектировании космических нейтрино экстремально высоких энергий. Последовательное увеличение рабочего объема этого телескопа до величины порядка 0,4 км<sup>3</sup> одновременно с набором и обработкой данных будет осуществлено в 2017–2023 гг.

Во время следующих семи лет в рамках нейтринной программы ОИЯИ будут реализованы важные этапы каждого из ее экспериментов. Помимо приоритетного развития установки Baikal-GVD, которая детально описана в предыдущем разделе, в экспериментах JUNO, NOvA и DUNE запланировано следующее.

В 2017–2020 гг. ОИЯИ должен полностью выполнить свои важные обязательства по созданию детектора JUNO. В частности, специалисты ОИЯИ

- подготовят 20 тысяч источников питания для ФЭУ установки JUNO;
- построят несколько сканирующих станций, разработанных в ОИЯИ для детального исследования и паспортизации ФЭУ, прежде чем их устанавливать в детектор JUNO;
- выполнят часть своих финансовых обязательств в виде использования сцинтилляционных детекторов эксперимента OPERA в качестве вето-системы для детектора JUNO; разработают методы контроля этих сенсоров и поставят необходимое оборудование в место расположения эксперимента;
- разработают методы и предложат варианты оборудования для защиты ФЭУ от влияния магнитного поля Земли;
- организуют компьютерную ферму для моделирования и анализа данных с учетом развития собственной базы данных эксперимента для полноценной обработки данных в ОИЯИ.

ОИЯИ планирует и в дальнейшем использовать комнату удаленного доступа эксперимента NOvA не только для сотрудников ОИЯИ, но и для других российских участников коллаборации (ИЯИ, ФИАН и др.).

В течение 2019–2023 гг. специалисты ОИЯИ планируют продолжить исследования и разработки по калориметрии ближнего детектора DUNE и по вопросу создания электромагнитного калориметра на базе уникального опыта, накопленного в этой области в ОИЯИ.

#### График финансирования (тыс. долл. США)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
Проекты JUNO, NOvA/DUNE	1 220,0	1 290,0	3 440,0	930,0	582,7	1 000,0	1 000,0	9 462,7

ОИЯИ играет лидирующую роль в передовых экспериментах с реакторными нейтрино, выполняемых в непосредственной близости от ядерных реакторов (DANSS, GEMMA/ $\nu$ GeN). Развитие техники экспериментов, синергия с другими низкофоновыми проектами ОИЯИ позволяют и будут позволять в дальнейшем проводить новые исследования на переднем крае науки. Результатами исследований станут:

- поиск осцилляций нейтрино в стерильные состояния на короткой базе с лучшей в мире чувствительностью;
- поиск магнитного момента нейтрино на уровне лучше  $9 \cdot 10^{-12} \mu_B$ ;
- детектирование когерентного рассеяния нейтрино на ядрах (CEvNS) в зоне полной когерентности;
- использование CEvNS для прецизионного изучения электрослабого сектора и поиска Новой физики за пределами Стандартной модели;
- мониторинг внутриреакторных процессов.

### График финансирования (тыс. долл. США)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
Эксперименты на нуклотроне: DSS, ALPOM-2, HyperNIS, FAZA-3, новые проекты	150,0	150,0	205,0	205,0	1 005,0	3 005,0	2 905,0	<b>7 625,0</b>
ЛФВЭ: эксперименты в ЦЕРН, BNL, GSI/FAIR	1 566,0	1 736,0	1 879,0	1 709,0	1 629,0	1 649,0	1 649,0	<b>11 817,0</b>
Нейтринная программа	1 880,0	1 934,0	1 993,0	1 533,0	1 574,0	1 617,0	1 662,0	<b>12 193,0</b>
ЛЯП: ATLAS	1 020,0	1 200,0	1 460,0	2 550,0	1 540,0	930,0	960,0	<b>9 660,0</b>
ЛЯП: другие проекты	820,0	830,0	840,0	850,0	860,0	870,0	880,0	<b>5 950,0</b>
<b>Всего</b>	<b>5 436,0</b>	<b>5 850,0</b>	<b>6 377,0</b>	<b>6 847,0</b>	<b>6 608,0</b>	<b>8 071,0</b>	<b>8 056,0</b>	<b>47 245,0</b>

## Ядерная физика

В 2017–2023 гг. дальнейшее развитие получают следующие основные направления исследований в области ядерной физики низких энергий: синтез сверхтяжелых элементов в реакциях с тяжелыми ионами и изучение их ядерно-физических и химических свойств, фундаментальные исследования с нейтронами, а также прикладные исследования.

Уникальные возможности ускорителей тяжелых ионов и экспериментальных установок ОИЯИ позволили наладить широкое международное сотрудничество с исследовательскими центрами государств-членов Института и других стран.

### **Синтез и изучение ядерно-физических свойств изотопов сверхтяжелых элементов**

Создание Фабрики сверхтяжелых элементов позволит проводить в 2017–2023 гг. углубленное исследование ядерно-физических свойств изотопов сверхтяжелых элементов с  $Z = 113–118$ . Сравнительные исследования реакций актинидных мишеней с  $^{48}\text{Ca}$  и более тяжелыми частицами  $^{50}\text{Ti}$ ,  $^{54}\text{Cr}$ ,  $^{58}\text{Fe}$  позволят приступить к синтезу элементов с  $Z = 119, 120$ . Значительное внимание будет уделено экспериментам по синтезу новых изотопов сверхтяжелых элементов с целью определения границ «острова» повышенной стабильности.

### **Исследование реакций неполного слияния массивных ядер**

Дальнейшим шагом в изучении тяжелых и сверхтяжелых нейтронно-обогащенных ядер станет исследование реакций глубоконеупругих передач и квазиделения как инструмента для синтеза тяжелых ядер с большим избытком нейтронов, изучения влияния оболочечных эффектов на механизмы реакций.

### **Синтез и изучение свойств новых нуклидов в области тяжелых ядер**

Тяжелые нейтроноизбыточные ядра, расположенные в области  $Z = 60–90$  вблизи замкнутой нейтронной оболочки  $N = 126$ , будут исследоваться в реакциях многонуклонных передач с использованием высокоинтенсивных пучков тяжелых ионов.

### **Ядерная структура элементов второй сотни**

На модернизированном многопараметрическом детекторном комплексе GABRIELA в сочетании с селектором скоростей SHELS будут продолжены эксперименты по  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -спектроскопии тяжелых и трансфермиевых изотопов, которые позволят получить данные о структурах ядерных уровней, а также уточнить параметры моделей, описывающих свойства СТЭ.

### **Изучение механизмов реакций со стабильными и радиоактивными ядрами; поиск новых видов распадов**

На установках, оборудованных криогенными мишенями  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$ ,  $\text{T}_2$  и многопараметрическими детектирующими системами заряженных частиц, нейтронов и гамма-квантов, будут реализовываться программы по поиску  $2n$ - и  $4n$ -радиоактивности, исследованию  $2p$ -радиоактивности, распадов  $2n$ ,  $4n$ ,  $2p$ ,  $4p$  вблизи границ ядерной стабильности.

С помощью комплекса магнитных анализаторов высокого разрешения МАВР будут изучаться характеристики реакций со слабосвязанными стабильными и радиоактивными ядрами вблизи кулоновского барьера, а также механизмы ядерных реакций с кластерными ядрами. Эти исследования позволят оценить роль экзотических ядер в астрофизическом нуклеосинтезе.

## Нейтронная ядерная физика

Исследования в области нейтронной ядерной физики будут вестись на установке ИРЕН. Также будут проводиться эксперименты на реакторе ИБР-2М — в основном это работы, для которых необходимы более высокие потоки нейтронов, на установке ЭГ-5 — эксперименты

с быстрыми нейтронами, низкофоновые измерения и прикладные исследования, а также выездные исследования на внешних источниках нейтронов.

Научные исследования будут продолжены по трем основным направлениям.

## **1. Исследования нарушений фундаментальных симметрий во взаимодействиях нейтронов с ядрами и сопутствующие данные**

В 2017–2023 гг. усилия групп, работающих в области изучения физики взаимодействия нейтронов с ядрами, будут сконцентрированы на наиболее приоритетных работах, связанных с исследованием процессов нарушения фундаментальных симметрий в нейтронно-ядерных взаимодействиях. Основные задачи в этой области следующие.

– Поиски нейтрального тока в слабых нуклон-нуклонных ( $NN$ ) процессах в экспериментах по измерению  $P$ -нечетной асимметрии в реакциях с медленными поляризованными нейтронами на легчайших ядрах; в частности, измерения  $P$ -нечетной асимметрии в реакции  ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$  на холодных поляризованных нейтронах (ILL, ПИК).

– Изучение  $T$ -нечетных и  $P$ -нечетных эффектов в делении. Измерения характеристик и корреляций испускания нейтронов, гамма-квантов и легких заряженных частиц в делении (ИРЕН, ИБР-2, ILL, FRM-2).

– Исследования  $T$ -нечетных,  $P$ -нечетных и  $P$ -четных эффектов в реакциях  $(n, \gamma)$ ,  $(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$  в резонансной области энергии нейтронов (ИРЕН, ЭГ-5, n\_TOF).

– Исследование мгновенных нейтронов деления ядер и свойств сверхтекучести осколков деления (ИРЕН).

– Измерения полных и парциальных нейтронных сечений, угловых корреляций, флуктуаций множественности, выходов продуктов реакций в нейтронно-ядерных взаимодействиях (ИРЕН, ЭГ-5, n\_TOF).

## **2. Исследования фундаментальных свойств нейтрона, физика УХН**

Деятельность в области физики ультрахолодных нейтронов в 2017–2023 гг. будет направлена на сохранение и развитие существующей научной школы. Мировая тенденция развития данного направления заключается в создании источников УХН высокой плотности. Запуск источника УХН с плотностью  $10^4$  нейтронов/см<sup>3</sup> откроет новые перспективы для повышения точности прецизионных экспериментов с УХН, реализации новых методик, расширения области применения УХН (например, использование УХН для исследований поверхности и физических явлений на ней). ОИЯИ планирует активно участвовать в разработке и создании такого источника на наиболее интенсивных нейтронных источниках: реакторе ПИК (Гатчина, Россия) или реакторе ILL (Гренобль, Франция).

Наиболее интересной физической проблемой, которую можно решить, создав источник высокой плотности, является определение времени жизни нейтрона с точностью  $\sim 0,1$  с. Решение этой проблемы будет приоритетной задачей семилетки. Использование интенсивного источника УХН потребует применения новой экспериментальной техники и подходов, которые необходимо предварительно разработать и проверить.

Имеющиеся в ОИЯИ источники нейтронов не позволяют создавать источники УХН высокой плотности, но для проведения тестовых экспериментов, привлечения и обучения молодежи такой источник крайне необходим. Одной из задач в данном направлении в 2017–2023 гг. является изучение возможности создания источника очень холодных нейтронов (ОХН) на реакторе ИБР-2 и источника УХН на его основе. Создание источника ОХН само по себе имеет интересные перспективы его использования для решения как задач фундаментальной физики, так и задач исследования конденсированного состояния вещества.

### 3. Прикладные и методические исследования

– Работы с использованием нейтронного активационного анализа на установке РЕГАТА реактора ИБР-2 и спектрометре атомной абсорбции (ААС) в рамках выполнения международных и национальных проектов по направлению «Науки о жизни».

– Неразрушающий анализ элементного состава объектов с помощью тепловых, резонансных и быстрых нейтронов с использованием методов нейтронной и гамма-спектрометрии.

– Развитие и применение метода меченых нейтронов для фундаментальных исследований взаимодействий быстрых нейтронов с ядрами. Применение метода для элементного анализа.

– Анализ поверхностей твердых тел и наноструктур на пучке ускорителя ЭГ-5. Создание микропучка на базе ускорителя ЭГ-5.

– Моделирование и калибровка нейтронных детекторов для космических аппаратов.

#### График финансирования (тыс. долл. США)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Итого
Фундаментальные исследования ядерных реакций под действием нейтронов	1 020,6	732,5	739,0	696,2	88,5	300,0	300,0	3 876,8
Исследования фундаментальных свойств нейтрона, физика УХН	180,0	195,0	168,5	145,0	0,0	220,0	220,0	1 128,5
Прикладные и методические работы	518,4	331,4	929,0	427,6	0,0	180,0	180,0	2 566,4
Модернизация экспериментального зала ИРЕН	610,8	349,6	504,6	984,7	905,1	0,0	0,0	3 354,8
<b>Итого</b>	<b>2 329,8</b>	<b>1 608,5</b>	<b>2 341,1</b>	<b>2 253,5</b>	<b>993,6</b>	<b>700,0</b>	<b>700,0</b>	<b>10 926,5</b>

## **Физика конденсированных сред**

ОИЯИ обладает уникальной экспериментальной базой (импульсный реактор ИБР-2 и ускорительный комплекс DRIBs-III) для проведения фундаментальных и прикладных исследований в области физики конденсированного состояния вещества и в смежных областях (биология, медицина, материаловедение и т. д.), направленных на изучение структуры и свойств наносистем и новых материалов, биологических объектов и биотехнологий.

### **I. Нейтронные методы исследования**

Нейтронные методы исследования вещества позволяют получать детальную информацию об атомной и магнитной структуре и динамике материалов на атомном и надатомном уровнях. В силу особенностей взаимодействия медленных нейтронов с веществом нейтронография является наиболее эффективным методом при определении положений легких атомов в окружении тяжелых, изучении распределения элементов с близкими атомными номерами, исследовании процессов изотопного замещения и магнитных структур.

#### **Ожидаемые результаты**

##### **1. Физика и химия новых функциональных материалов**

1.1. Определение характеристик атомной и магнитной структуры объемных и наноструктурированных функциональных материалов, проявляющих актуальные физические явления и перспективных для практических применений, в широком диапазоне термодинамических параметров, выявление роли структурных параметров и кластерообразования в формировании физических свойств — 2017–2023 гг.

1.2. Определение микроскопических механизмов возникновения магнитоэлектрического эффекта в сложных оксидах мультиферроиков — 2019–2023 гг.

1.3. Определение параметров кристаллической и магнитной структур новых форм простых оксидов переходных металлов, формирующихся в экстремальных условиях, — 2017–2021 гг.

1.4. Определение влияния микроструктуры электродов на протекание процессов заряда–разряда в малогабаритных источниках электрического тока — 2017–2021 гг.

1.5. Определение структуры и колебательных спектров молекулярных комплексов: ионно-молекулярных инклюзивных материалов и комплексов с переносом электрического заряда, структурных и динамических параметров водородных связей в биологически активных материалах — 2017–2019 гг.

##### **2. Физика наносистем и наноразмерных явлений**

2.1. Установление эффектов близости в магнитных слоистых наноструктурах и анализ их магнитных свойств в постоянных и переменных магнитных полях — 2017–2019 гг.

2.2. Определение структуры ряда актуальных наносистем на основе композиционных углерод- и кремнийсодержащих материалов, в том числе на основе фуллеренов, наноалмазов и их биоактивных производных, — 2017–2021 гг.

2.3. Исследование наносистем методом позитронной аннигиляционной спектроскопии (ПАС). Метод ПАС позволяет получать детальную информацию об атомной структуре материалов на атомном и субатомном уровнях. Основной целью исследований с помощью данного метода является диагностика дефектов (вакансий и дислокаций) в поверхностных слоях на глубине около 1–20 нм (от 1 до 25 мкм в железе) в металлах, сплавах, полимерах,

полупроводниках, углероде и других материалах. Установка ПАС, разработанная в ОИЯИ с использованием уникального источника монохроматических позитронов, позволяет получать распределение дефектов по глубине образца и (при использовании одной из версий метода) определять типы дефектов. Основным применением метода ПАС является изучение приповерхностных слоев материалов (металлов и полупроводников), в которых различные имплантированные ионы изменяют свойства этих материалов. Это относится, в частности, к материалам, модифицированным путем имплантации тяжелых ионов или подвергнутых ионному или нейтронному облучению. Такие исследования открывают возможность экспериментального изучения механизма радиационного повреждения материалов, что имеет важное практическое значение при разработке конструкционных материалов для атомной энергетики, полупроводниковых компонентов в микроэлектронике (в том числе для космических аппаратов) и т. д. Исследования пористых материалов с помощью ПАС представляют особый интерес, так как данный метод, один из немногих, позволяет обнаруживать поры размером порядка нескольких нанометров. Такие исследования открывают новые возможности, связанные с изучением и разработкой перспективных материалов и мембран на основе полимеров и технологий синтеза химических катализаторов.

2.4. Структурная диагностика и изучение физических процессов на электрохимических интерфейсах в режиме функционирования (*in operando*) — 2017–2020 гг.

### **3. Физика и химия комплексных жидкостей и полимеров**

3.1. Сравнительный анализ структурных аспектов стабилизации дисперсных систем и сложных жидкостей, в том числе биорелевантных систем, с немагнитными и магнитными наночастицами, в объеме и на межфазных границах — 2017–2023 гг.

3.2. Определение структурных характеристик магнитных эластомеров и карбосилановых дендримеров, перспективных для технологических применений, — 2017–2019 гг.

### **4. Молекулярная биология и фармакология**

4.1. Определение структурных характеристик липидных наносистем, моделирующих верхний слой кожи человека и млекопитающих, в интересах изучения процессов транспорта лекарственных средств через кожу. Определение морфологии фосфолипидной транспортной наносистемы — 2017–2021 гг.

4.2. Определение структурных и функциональных характеристик биологических наносистем: макромолекул белка, ДНК, РНК и их комплексов — 2019–2023 гг.

4.3. Анализ структурных особенностей взаимодействия наночастиц и функциональных комплексов на их основе с биологическими макромолекулами в объеме и на границах раздела, влияния структурной и кластерной устойчивости наносистем на биосовместимость сложных растворов — 2017–2020 гг.

### **5. Материаловедение и инженерные науки**

5.1. Определение внутренних напряжений в конструкционных материалах ядерных реакторов, промышленных материалах и изделиях: композитах, армированных системах, металлокерамиках, сплавах с памятью формы — 2017–2023 гг.

5.2. Определение особенностей внутреннего строения метеоритов и построение 3D-моделей их основных фракций — 2020–2023 гг.

5.3. Изучение метаморфических, геодинамических и эволюционных процессов в литосфере по данным о текстурах глубинных и приповерхностных горных пород. Выявление природы сейсмической анизотропии — 2017–2021 гг.

5.4. Разработка модели твердотельных поликристаллических материалов для прогнозирования их упругих, прочностных и тепловых свойств с учетом влияния текстуры, включений, пор и микротрещин — 2021–2023 гг.

## **II. Оптические методы исследований**

В последние несколько лет исследования в области физики конденсированных сред дополнились и обогатились спектроскопией и микроскопией комбинационного рассеяния на базе современного лазерного сканирующего конфокального микроскопа КАРС.

### **Научные направления**

**Рамановская спектроскопия и микроскопия.** Спектрально-микроскопические исследования мембранных белков, клеток и организмов.

**Ап-конверсионная люминесценция.** Исследование структурно-люминесцентных характеристик наностеклокерамик.

### **Ожидаемые результаты**

1. Выявление роли липидов и детергентов в кристаллизации мембранных белков методами рамановской и КАРС-спектроскопии.

2. Создание концепции *in meso* кристаллизации мембранных белков на основе рамановской, КАРС- и ГКР-спектроскопии и микроскопии.

3. Демонстрация возможностей усиленной рамановской спектроскопии и микроскопии (в том числе 3D-визуализации) в изучении различных клеток и микроорганизмов.

4. Интеграция рамановской спектроскопии с атомно-силовой микроскопией (рамановская АСМ): спектроскопия/микроскопия с разрешением до 10 нм.

5. Получение высокоэффективного преобразования ИК-излучения в ап-конверсионную люминесценцию в наностеклокерамических матрицах, допированных ионами редкоземельных элементов (Er, Eu, Pr, Tm, Yb и др.), и выработка рекомендаций по их практическому применению.

## **III. Прикладные исследования с тяжелыми ионами**

Методы, сочетающие облучение тяжелыми ионами и физико-химическую обработку, обеспечивают уникальные возможности изменения свойств материалов для создания новых функциональных структур. Основное внимание будет уделяться модификации материалов в наноразмерной области и исследованию эффектов, вызываемых тяжелыми ионами в веществе, с целью изучения фундаментальных механизмов этих эффектов и разработки их применения в нанотехнологиях. Исследования будут проводиться с целью создания новых типов трековых мембран и функциональных материалов на их базе, которые могут применяться в различных технологических процессах и в медицине.

Будут разрабатываться новые методы получения ультрачистых изотопов, а также детально изучаться свойства нуклидов, имеющих перспективы практического применения.

Дальнейший прогресс исследований будет обеспечен благодаря полномасштабному развитию экспериментальной базы, включающему как модернизацию существующих и разработку специализированных ускорителей, так и создание прецизионных инструментов для изучения микро- и наноструктурных характеристик материалов.

Набор экспериментальных методов будет пополнен современными аналитическими методиками, включая сканирующую и просвечивающую электронную микроскопию высокого разрешения, атомную силовую микроскопию, сканирующую томографию, фотоэлектронную рентгеновскую спектроскопию, дисперсионную по энергии, кристаллодифракционную спектроскопию рентгеновского излучения и другие дополнительные методы.

Ионно-трековые методики будут использоваться в сочетании с технологиями тонких пленок, многослойных покрытий и новых перспективных материалов (графенов, плазмониевых материалов).

### **Ожидаемые результаты**

1. Детальное исследование эффектов, вызываемых тяжелыми ионами в веществе, с целью развития нанотехнологических приложений пучков ускоренных ионов.
2. Исследование радиационной стойкости материалов при воздействии многозарядных ионов, включая тестирование микроэлектронных схем космической техники.
3. Синтез наноструктурированных материалов и изучение их оптических, электрических и магнитных свойств.
4. Создание нового поколения трековых мембран с заданными свойствами и перспективных материалов на их базе для применения в оптике, медицине, биохимии и создания сенсоров.
5. Развитие гибридных нанотехнологий, сочетающих методы ионно-трековой технологии и технологии покрытий, тонких слоев и поверхностной модификации.
6. Получение радиоизотопов для ядерной медицины и радиозоологических исследований на пучках  $\gamma$ -квантов, нейтронов,  $\alpha$ -частиц и тяжелых ионов.
7. Создание специализированных каналов облучения на новом ускорителе ДЦ-280 и модернизированном ускорителе У-400R.
8. Развитие исследований в области нанотехнологий в новом лабораторном корпусе ЛЯР в рамках Международного инновационного центра нанотехнологий (совместный проект ОИЯИ и Роснано).

**График финансирования (тыс. долл. США)**

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Итого
Материалы и оборудование	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	<b>3 500,0</b>

### **Радиобиология и астробиология**

**Радиобиологические исследования** в период 2017–2023 гг. будут сосредоточены на изучении механизмов действия ускоренных тяжелых заряженных частиц на молекулярном, клеточном, тканевом и организменном уровнях биологической организации. Особое внимание будет уделено изучению нарушений в центральной нервной системе экспериментальных животных, поскольку ЦНС необходимо рассматривать как «критическую» систему при оценке риска радиационного воздействия на организм космонавтов при осуществлении межпланетных полетов.

**Астробиологические исследования** будут направлены на решение центрального вопроса, связанного с образованием пребиотических соединений, лежащих в основе формирования живых систем: что является первичным в зарождении жизни — генетика или

метаболизм. Планируемые исследования нацелены на разработку единых теоретических и экспериментальных подходов с учетом возможного влияния на феномен возникновения жизни таких факторов, как энергетический, эволюционный, протометаболический и фактор древней окружающей среды. Вторым направлением исследований в области астробиологии является поиск и изучение микрофоссилий в метеоритах и раннедокембрийских земных породах с помощью электронной микроскопии и методов ядерной физики.

### **Основные направления исследований**

- 1. Исследования механизмов формирования молекулярных нарушений структуры ДНК и их репарации при действии тяжелых заряженных частиц различных энергий**
  - 1.1. Будут исследованы повреждения в ядрах индивидуальных клеток и проведен анализ тонкой структуры кластерных повреждений ДНК.
  - 1.2. Будет оценено влияние распределения различных видов повреждений ДНК на способность клеток к репарации.
  - 1.3. Планируется выяснить механизмы и описать динамику белкового узнавания кластерных повреждений ДНК и их последующей репарации.
- 2. Исследования закономерностей и механизмов образования генных и структурных мутаций в клетках млекопитающих и человека при действии тяжелых заряженных частиц различных энергий**
  - 2.1. Будут исследованы особенности мутагенного действия редко- и плотноионизирующих излучений на клетки млекопитающих и человека.
  - 2.2. Будет проанализировано и сопоставлено мутагенное действие излучений разного качества на клетки прокариот и эукариот.
  - 2.3. Будут выяснены механизмы «генетической нестабильности» клеток млекопитающих и человека.
- 3. Исследования механизмов повреждения и восстановления морфологических и функциональных нарушений в различных отделах центральной нервной системы при действии тяжелых заряженных частиц различных энергий**
  - 3.1. Будут изучены морфологические, цитологические, нейрохимические и молекулярно-физиологические нарушения в структурах центральной нервной системы.
  - 3.2. Будут исследованы модификации поведенческих функций у облученных животных.
  - 3.3. В экспериментах на приматах будет оценено влияние излучений разного качества на элементы операторской деятельности.
  - 3.4. Будут исследованы нейрофизиологические и нейрохимические механизмы, лежащие в основе этих процессов.
- 4. Математическое моделирование радиационно-индуцированных эффектов ионизирующих излучений с разной ЛПЭ на молекулярном и клеточном уровне. Разработка и анализ математических моделей молекулярных механизмов нарушений структуры и функций центральной нервной системы в результате действия заряженных частиц высоких энергий**
  - 4.1. Будут разработаны математические модели, описывающие восстановление радиационно-индуцированных повреждений.

4.2. Планируется усовершенствовать модели, описывающие этапы повреждения ДНК при действии ионизирующих излучений разного качества и процессы репарации ДНК.

4.3. Будут разработаны модели, описывающие действия радиации на структуры и функции ЦНС, в частности, модели нарушения передачи сигналов, ионной регуляции и функционирования синапсов, нарушения экспрессии генов и синтеза белков и нейрогенеза в гиппокампе.

## **5. Радиационные исследования**

5.1. Будет продолжено физическое обеспечение радиобиологических экспериментов на ядерно-физических установках ОИЯИ.

5.2. Будут продолжены работы по проектированию комплекса NICA в части конструирования и расчета биологических защит, прогнозирования радиационной обстановки на объекте и в окружающей среде, оценки уровней наведенной активности оборудования, оценки дозовой нагрузки персонала и организации мероприятий по радиационной безопасности, создания систем радиационного контроля.

5.3. В рамках сотрудничества ЛРБ с ЛНФ ОИЯИ и ИКИ РАН в области ядерной планетологии планируется провести исследования характеристик и калибровки приборов на созданном экспериментальном стенде ДАН с различными моделями планетарных грунтов.

## **6. Астробиологические исследования**

6.1. Будет исследована возможность самосборки 3',5'-циклических нуклеотидов в системе формамид + метеоритное вещество при действии высокоэнергетичных заряженных частиц.

6.2. Для исследования механизма реакций синтеза нуклеозидов будет выполнено облучение ускоренными тяжелыми заряженными частицами сахаров и нуклеиновых оснований, полученных в предыдущих экспериментах при облучении протонами формамида в присутствии вещества метеоритов.

6.3. Будет изучен синергетический эффект при синтезе биомолекул под действием облучения формамида в присутствии аминокислот.

6.4. Будет изучено one-pot фосфорилирование нуклеозидов при протонном облучении формамида в присутствии вещества метеоритов и неорганических фосфатов.

6.5. Будет продолжен поиск и изучение микрофоссилий в метеоритах и раннедокембрийских земных породах с помощью электронной микроскопии.

6.6. Будут определены критерии и разработаны методики определения земного заражения образцов метеоритного вещества микроорганизмами для предотвращения ошибок в идентификации их внеземного происхождения.

6.7. Будет проанализирован элементный состав космической пыли и других материалов внеземного происхождения с использованием многоэлементного нейтронного активационного анализа на реакторе ИБР-2.

## **7. Молекулярно-радиобиологические аспекты лучевой терапии**

7.1. Разработка методов повышения радиочувствительности опухолевых клеток на основе комбинированного действия фотонных и протонных пучков и ингибиторов репарации повреждений ДНК.

7.2. Исследование чувствительности радиорезистентных опухолевых клеток в условиях влияния комплекса «радионуклид– векторная молекула» и ингибиторов репарации повреждений ДНК.

## **Теоретическая физика**

Ведущиеся в ЛТФ исследования носят междисциплинарный характер, они непосредственно интегрированы в международные проекты с участием ученых из основных мировых исследовательских центров и тесно скоординированы с экспериментальными программами ОИЯИ. Планируется интенсивное развитие исследований по ядерной астрофизике и астрофизическим аспектам физики элементарных частиц, феноменологии бозона Хиггса, физики адронов при экстремальных условиях (в связи с экспериментальной программой проекта NICA/MPD и экспериментов на RHIC, LHC и FAIR), решеточным вычислениям в КХД. Исследования по физике конденсированных сред будут координироваться с практическими проблемами в области нанотехнологий с целью создания новых материалов и электронных приборов.

### **Квантовая теория поля и физика элементарных частиц**

В теоретических исследованиях по физике элементарных частиц будет сделан акцент на поддержке физических программ международных экспериментальных коллабораций с участием ОИЯИ (на LHC, RHIC, FAIR и т. д.) и базовых установок самого Института, в первую очередь — проекта NICA/MPD. В центре внимания будут феноменология Стандартной модели, включая изучение свойств бозона Хиггса, поиск новых физических явлений за пределами Стандартной модели, физика нейтрино, структура адронов и спиновая физика, фазовые переходы в горячей и плотной адронной материи, физика тяжелых ароматов и адронная спектроскопия, проблема темной материи и астрофизические аспекты физики элементарных частиц.

### **Теория ядра**

Приоритетным направлением исследований в области ядерной физики низких энергий будет изучение свойств экзотических и сверхтяжелых ядер, получение и исследование которых планируется в рамках экспериментальных проектов DRIBs-III и «Фабрика сверхтяжелых элементов» (ОИЯИ), равно как и на других крупных экспериментальных установках в Европе, США, Китае и Японии. Это диктует необходимость развивать и соответствующие теоретические исследования. Будут разрабатываться микроскопические самосогласованные ядерные модели, позволяющие учесть эффекты фрагментации и ангармонизма. Эти модели будут использованы для количественного анализа механизмов слияния и деления ядер, предсказания скоростей различных процессов в астрофизических задачах. Ядерные реакции в звездном веществе будут изучаться в том числе и методами теории малочастичных систем. Повышенное внимание будет уделено кластерным эффектам в структуре экзотических тяжелых ядер, исследованиям механизма передачи нуклонов, кластеров и развала одного ядра в поле другого. Будут развиваться математически строгие и эффективные методы для описания свойств разнообразных квантовых малочастичных систем, в том числе столкновений ультрахолодных атомов и молекул в оптических ловушках. Исследование взаимодействий тяжелых ионов при высоких энергиях в значительной мере будет ориентировано на проект NICA/MPD и поиск наиболее информативных наблюдаемых величин. В рамках усовершенствованных моделей будут непосредственно учтены цветовые степени свободы и исследовано влияние модифицированного средой кварк-адронного взаимодействия на рождение дилептонов в релятивистских столкновениях тяжелых ядер.

### **Теория конденсированных сред**

Большое внимание будет уделено теоретическому анализу систем с сильной электронной корреляцией, прежде всего соединений переходных металлов, таких как медно-

оксидные сверхпроводники, соединений с колоссальным магнитосопротивлением (манганиты), низкоразмерных квантовых магнетиков с сильной спин-орбитальной связью, систем с тяжелыми фермионами, топологических изоляторов и т. д. Предполагается изучение электронной структуры, спектра квазичастиц, магнитных и зарядовых возбуждений, фазовых переходов металл–изолятор, ферромагнитных и антиферромагнитных фазовых переходов, зарядового и орбитального упорядочения, высокотемпературной сверхпроводимости в соединениях на основе меди и железа. Теоретические исследования в этой области будут направлены на поддержку экспериментального изучения этих материалов, проводимого в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ. Важнейшим направлением будет проведение теоретических исследований в области наноструктур и наномасштабных явлений, направленных на изучение физических характеристик наноматериалов, перспективных для разнообразных практических приложений в современных нанотехнологиях. Предполагается исследование проблемы квантового транспорта в углеродных и прочих структурах молекулярного масштаба, резонансных и туннельных явлений в гетероструктурах и слоистых сверхпроводниках. Методами равновесной и неравновесной статистической механики будут изучаться модели конденсированных сред с целью выявления общих свойств многочастичных систем на основе идей самоподобия и универсальности.

### **Современная математическая физика**

Теория суперструн — наиболее серьезный кандидат на роль единой теории фундаментальных взаимодействий, включающей квантовую гравитацию, — будет занимать центральное место в исследованиях ЛТФ по математической физике. Будет изучаться широкий спектр точных классических и квантовых решений этой теории и ее многочисленные приложения, включая непертурбативный режим суперсимметричных калибровочных теорий, микроскопическое описание черных дыр, космологические модели ранней Вселенной, модели частиц и суперчастиц, а также новые варианты суперсимметричной квантовой механики, включая модели с полупростыми супергруппами. Для применения и развития новых идей, порожденных теорией струн, решающим является использование математических методов теории интегрируемых систем, квантовых групп и некоммутативной геометрии, суперполевых методов, включая метод гармонических суперпространств.

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

Общая задача постоянно действующего проекта «Дубненская международная школа теоретической физики» (DIAS-TH) будет заключаться в развитии научно-образовательных программ ОИЯИ. Уникальная черта DIAS-TH состоит в глубокой интеграции этого проекта в научную жизнь ЛТФ, что обеспечит регулярное и естественное участие ведущих ученых в учебно-образовательной работе. Важным условием успешной работы проекта будет развитие сотрудничества с международными и российскими фондами (UNESCO, DAAD, DFG, РФФИ, и др.) и государственными организациями (BMBF, INFN, CNRS).

# **Информационные технологии**

## **Развитие компьютерной инфраструктуры**

Перспективное развитие компьютерной инфраструктуры ОИЯИ призвано обеспечить выполнение целого спектра конкурентоспособных исследований, ведущихся на мировом уровне в ОИЯИ и сотрудничающих с ним мировых центрах как в рамках исследовательской программы ОИЯИ, в частности мегапроекта NICA, так и в рамках приоритетных научных задач, выполняемых в сотрудничестве с ведущими мировыми научными и исследовательскими центрами (ЦЕРН, FAIR, BNL и т. д.).

Для Лаборатории информационных технологий главной задачей семилетнего плана является создание единой информационно-вычислительной среды, объединяющей множество различных технологических решений, концепций и методик. Подобная среда должна объединить суперкомпьютерные (гетерогенные), грид- и облачные комплексы и системы с целью предоставления оптимальных подходов для решения различных типов научных и прикладных задач. Необходимыми требованиями к такой среде являются ее масштабируемость, интероперабельность и адаптируемость к новым техническим решениям.

### **Ожидаемые результаты**

1. Создание в ОИЯИ многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК) мирового уровня по развитию прорывных информационных технологий.
2. Развитие территориально распределенной научно-исследовательской среды, обеспечивающей использование мощностей комплекса научными центрами стран-участниц ОИЯИ и другими научными организациями, включая совместные международные проекты.
3. Исследования в области интенсивных операций с большими объемами данных в распределенных системах (Big Data), развитие соответствующих средств и методов визуализации, в том числе 3D.
4. Научные исследования в области интеграции базовых, облачных и грид-технологий с целью их оптимального использования в рамках многофункционального центра.
5. Оптимизация процессов использования существующих мощностей, в частности суперкомпьютеров, для обработки данных в распределенной среде.
6. Внедрение и развитие методологии краткосрочного/среднесрочного/долгосрочного прогнозирования развития многофункционального вычислительного центра.
7. Исследования в области интеграции разнородных вычислительных ресурсов и источников данных в единую распределенную вычислительную систему.
8. Создание программно-технологического комплекса, обеспечивающего внедрение облачных технологий для организации исследований распределенными группами пользователей, внедрение интеллектуальных методов управления грид-облачными структурами нового поколения.
9. Исследования в области глобального мониторинга распределенных вычислительных систем.
10. Разработка новых параллельных приложений, кросс-платформенных и мультиалгоритмических комплексов программ в гетерогенной вычислительной среде, позволяющих расширить круг решаемых фундаментальных научных задач, требующих большого объема вычислений.
11. Создание единой аналитической системы управления ресурсами МИВК и потоками данных для повышения эффективности использования вычислительных ресурсов и ресурсов хранения и упрощения процесса обработки данных новых экспериментов.
12. Развитие гиперконвергентной платформы, включающей суперкомпьютер «Говорун» как сателлитный проект в общем инфраструктурном проекте МИВК, в плане наращивания вычислительных ресурсов и в плане развития сервисов, развернутых на

платформе, определяемых потребностями пользователей, в том числе потребностями мегапроекта NISA и нейтринной программы, для существенного ускорения проводимых исследований на основе парадигмы гетерогенных вычислений.

13. Создание многоуровневого хранилища данных («озеро данных») ОИЯИ для предоставления постоянно расширяемого ресурса долговременного хранения информации, объем и скорость которого сбалансирована с соответствующими потоками информации.

Одной из важнейших составляющих многофункционального информационно-вычислительного комплекса, предоставляющего доступ к ресурсам и возможность работы с большими данными, является сетевая инфраструктура. Для соответствия сетевой инфраструктуры и телекоммуникационных каналов связи ОИЯИ требованиям надежности и доступности комплекса со стороны стран-участниц ОИЯИ и международных коллабораций, использующих ресурсы комплекса для проведения исследований, необходимо обязательное двойное резервирование всех соединений и надежных телекоммуникационных каналов с пропускной способностью 100 Гбит/с и более.

Важнейшей задачей семилетнего плана будет дальнейшее расширение инженерной инфраструктуры многофункционального вычислительно-информационного центра, связанной с запуском ускорительного комплекса NISA и проведением экспериментов на нем.

Одной из самых востребованных и амбициозных задач, которая должна быть реализована в рамках семилетнего плана развития ОИЯИ, является создание корпоративной информационной системы ОИЯИ для коллективного пользования и управления информацией, получаемой в лабораториях и подразделениях Института, и создание общего информационного пространства, совершенствования информационного обеспечения и поддержки процесса принятия решений. ОИЯИ планирует создать цифровую модель международного исследовательского центра — тиражируемую информационную платформу, позволяющую автоматизировать и оцифровать административные процессы для обеспечения максимальной эффективности основной деятельности научного центра.

### **Математическая поддержка исследований, проводимых в ОИЯИ**

Решение задач в области вычислительной физики и математики в широком спектре исследований, проводимых в ОИЯИ, требует развития новых математических методов и подходов, создания алгоритмов и программ для численного и символьно-численного моделирования на новейших вычислительных аппаратных комплексах с многоядерной архитектурой, сопроцессорами и графическими ускорителями. Такие вычислительные системы предоставляют возможность существенно ускорять математические расчеты путем выбора технологии распараллеливания, учитывающей специфику решаемой задачи. Особую актуальность приобретают вопросы адаптации на гетерогенных архитектурах разработанного ранее программного обеспечения и создание новых приложений на основе современных технологий распараллеливания, оптимально использующих возможности, предоставляемые вычислительными ресурсами. Отдельной задачей является разработка программных платформ и сред для создания параллельных приложений и развитие сервисов, значительно упрощающих пользователям работу на подобных вычислительных комплексах.

#### **Ожидаемые результаты**

1. Разработка программного обеспечения и осуществление математической поддержки экспериментов, проводимых на базовых установках ОИЯИ и в рамках международных коллабораций на крупнейших установках мира, в том числе внедрение высокоскоростных методов, алгоритмов и программных средств для параллельной обработки и анализа экспериментальных данных на гетерогенных и распределенных вычислительных комплексах.
2. Развитие численных методов, алгоритмов и программных комплексов для моделирования сложных физических систем, включая взаимодействия внутри горячей

и плотной ядерной материи, физико-химические процессы в материалах, возникающие при облучении тяжелыми ионами, эволюцию локализованных наноструктур в открытых диссипативных системах, свойства атомов в магнитооптических ловушках, электромагнитный отклик наночастиц и оптические свойства наноматериалов, эволюцию квантовых систем во внешних полях, астрофизические исследования.

3. Разработка методов и алгоритмов компьютерной алгебры для моделирования и исследования квантовых вычислений и информационных процессов, низкоразмерных наноструктур во внешних полях, дискретных квантовых систем с нетривиальными симметриями.
4. Разработка математических, алгоритмических и программных методов описания перепутанности (сцепленности) состояний систем кубитов как основного ресурса квантовой информатики.
5. Разработка символьно-численных методов, алгоритмов и комплексов программ для анализа низкоразмерных составных квантовых систем в молекулярной, атомной и ядерной физике.
6. Развитие алгоритмов на основе рекуррентных и свёрточных нейронных сетей для задач ML/DL и анализа больших данных, которые в первую очередь предназначены для ускорения распознавания множественных треков в экспериментах физики частиц, в том числе для мегапроекта NICA и нужд нейтринных экспериментов.

### План развития многофункционального информационно-вычислительного комплекса

Компоненты многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Tier1-CMS</b>							
Наращивание производительности: CPU kHS06	67,2	83,2	160,0	200,0	240,0	300,0	350,0
Наращивание дисковой системы хранения, Тбайт	5070	6100	8000	8800	10800	13100	16100
Наращивание системы массовой памяти, Тбайт	20000	20000	20000	25000	30000	35000	42000
<b>Tier2 и вычислительные ресурсы с системой хранения для локальных пользователей</b>							
Наращивание производительности: CPU kHS06	59,2	75,2	96,0	110,0	130,0	150,0	170,0
Наращивание дисковой системы хранения, Тбайт	2970	3400	5000	5500	6000	6500	7000
<b>Гетерогенный кластер для параллельных вычислений</b>							
Производительность, Тфлопс	180	240	300	360	420	480	540
Наращивание дисковой системы хранения, Тбайт	55	60	60	65	70	75	80
<b>Облачная инфраструктура</b>							
Ядра	630	1000	1500	2250	3500	5000	7500
ОЗУ, Гбайт	1280	2000	3000	4500	7000	10000	15000
Дисковые серверы, Тбайт	40	80	160	320	640	1200	2500
<b>Внешние телекоммуникационные каналы и локальная сеть ОИЯИ</b>							
Пропускная способность, Гбит/с	100						

**График финансирования (тыс. долл. США)**

<b>Наименование работ</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
<b>Раздел I</b>							
Поэтапная модернизация системы климат-контроля, системы пожаротушения и источников бесперебойного питания (ИБП)	404,3	794,9	1454,7	697,8	666,3	521,2	507,3
Поэтапное увеличение вычислительных ресурсов	653,0	1 603,2	690,0	1 578,0	839,4	907,8	870,4
Поэтапное расширение системы хранения данных на дисковых серверах	433,2	1 593,3	119,9	1 365,1	1 177,6	1 199,2	1 399,3
Поэтапное увеличение емкости роботизированного ленточного хранилища	263,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Поэтапное наращивание локальной сетевой инфраструктуры	377,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Наращивание вычислительных ресурсов и дисковых массивов гетерогенного кластера (платформа HybriLIT)	41,7	116,9	48,4	151,6	150,0	361,3	412,5
Суперкомпьютер «Говорун»	2 495,0	194,6	2 537,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Развитие облачной инфраструктуры	172,1	0,0	0,0	176,3	110,0	110,5	110,5
Дизельная генераторная установка (ДГУ)	440,4	412,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Замена трансформаторов	327,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Итого по разделу I</b>	<b>5 608,4</b>	<b>4 715,1</b>	<b>4 850,6</b>	<b>3 968,8</b>	<b>2 943,3</b>	<b>3 100,0</b>	<b>3 300,0</b>
<b>Раздел II</b>							
Поэтапное наращивание локальной сетевой инфраструктуры	0,0	1 272,7	682,5	390,3	25,7	0,0	0,0
Поэтапное увеличение емкости роботизированного ленточного хранилища	0,0	0,0	1320,0	0,0	145,5	148,3	149,7
Расходные материалы, оборудование и специализированное лицензионное ПО	281,0	230,7	192,5	43,1	220,1	121,2	120,3
Замена критического и устаревшего оборудования	301,7	294,4	965,7	139,2	0,0	88,0	280,1
Оборудование для центрального ядра сетевой инфраструктуры	282,9	193,2	201,5	0,0	234,4	122,3	330,2
Модернизация оборудования внешних каналов связи и переход на 100 Гбит/с	180,0	340,2	260,1	52,7	0,0	200,0	0,0
Дизельная генераторная установка (ДГУ)	0,0	0,0	18,2	87,0	20,0	20,2	19,7
Модернизация 2-го и 4-го этажей	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	0,0	0,0
<b>Итого по разделу II</b>	<b>1 045,6</b>	<b>2 331,2</b>	<b>3 640,5</b>	<b>712,3</b>	<b>658,4</b>	<b>700,0</b>	<b>900,0</b>
<b>Итого</b>	<b>6 654,0</b>	<b>7 046,3</b>	<b>8 491,1</b>	<b>4 681,1</b>	<b>3 601,7</b>	<b>3 800,0</b>	<b>4 200,0</b>
Лицензионное программное оборудование	233,6	228,0	203,8	201,1	200,0	150,0	250,0

## Образование

Являясь международной научно-исследовательской организацией, Объединенный институт ядерных исследований имеет большой потенциал в сфере образования и обучения дисциплинам, совпадающим с основными направлениями его исследований. Хотя классическое университетское образование не является целью института, студентам и аспирантам из государств-членов предоставляется возможность присоединиться к различным исследовательским группам лабораторий ОИЯИ для подготовки своих квалификационных работ в области физики, инженерных наук, информатики и др. В задачи Учебно-научного центра входит обеспечение эффективного использования ресурсов Института для подготовки высококвалифицированных ученых и инженеров из государств-членов ОИЯИ. Для реализации этих задач в течение ближайших семи лет УНЦ будет работать по следующим направлениям.

Первым и главным приоритетом деятельности УНЦ остается прием студентов из государств-членов, приезжающих в лаборатории ОИЯИ для подготовки своих квалификационных работ: бакалаврских, магистерских и кандидатских диссертаций. УНЦ оказывает поддержку в организации их приезда, встречи и размещения, а также обеспечивает необходимую помощь на протяжении их пребывания в Дубне. При условии наличия соответствующего соглашения между ОИЯИ и университетом государства-члена УНЦ организует специальные курсы лекций в соответствии с учебным планом данного университета. Само собой разумеется, что эффективная работа в этом направлении невозможна без тесного сотрудничества и партнерства со школами, университетами и исследовательскими центрами государств-членов. В течение следующих семи лет УНЦ будет прилагать усилия для дальнейшего укрепления отношений с этими научными и образовательными учреждениями.

Следующей важной задачей УНЦ является организация летних образовательных программ для студентов. Они включают в себя как ряд краткосрочных (международные студенческие практики), так и долгосрочные (летняя студенческая программа) программы для студентов из государств-членов. Цель этих мероприятий — дать студентам возможность присоединиться к повседневной работе исследовательских групп в лабораториях ОИЯИ. Посещение ускорителей и экспериментальных зон также является частью данных мероприятий. Это шанс погрузиться в научную жизнь Института и наладить ценные контакты с другими студентами и учеными. Приняв участие в летних программах, многие студенты возвращаются в ОИЯИ, чтобы работать над своими магистерскими и кандидатскими диссертациями. В ближайшие годы эта деятельность будет продолжена и расширена, также будет приложено больше усилий по усовершенствованию организации и содержания данных программ.

Одним из недавно возникших направлений деятельности Учебно-научного центра стал практикум в научно-инженерной группе УНЦ для студентов и молодых ученых из государств-членов. Разрабатывается серия практических курсов в различных областях, начиная с радиационной безопасности и основ ядерной физики до устройства ускорителей и детекторов элементарных частиц, СВЧ и вакуумной техники, методов диагностики пучка и автоматизации физических установок. Ключевой задачей является использование в учебных целях выделенных каналов линейного ускорителя электронов с энергией до нескольких сотен МэВ. В настоящее время в здании 118 ведутся пусконаладочные работы по этому ускорителю, основная цель которых — обеспечение лабораторий ОИЯИ тестовыми пучками. Данный практикум позволит студентам и молодым ученым углубить уже имеющиеся и получить новые знания и навыки, используя современное оборудование и технологии, черпая информацию не только из учебников и лекций, но и из личного практического опыта. В течение ближайшего времени

планируется завершить разработку курсов, чтобы практикум начал функционировать в полном объеме. Не менее важно обеспечить их постоянное обновление, что позволит идти в ногу с мировым техническим прогрессом.

Программы по популяризации науки, предназначенные для школьников и учителей из государств-членов, являются важной частью деятельности Учебно-научного центра, который уже получил очень успешный опыт взаимодействия с этой целевой аудиторией. Проведение разнообразных мероприятий, направленных на то, чтобы облегчить понимание современной физики, а также популярно рассказать об основных научных достижениях ОИЯИ, остается одной из приоритетных задач УНЦ в предстоящий период работы.

Помимо преподавания и научного руководства работами студентов и аспирантов, УНЦ отвечает за повышение квалификации персонала ОИЯИ. Среди прочего эта деятельность включает в себя регулярные курсы по производственной безопасности для специальностей, подведомственных Ростехнадзору (Российской федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору), в соответствии с нормативно-правовыми актами Российской Федерации.

Начиная с 2016 г. УНЦ управляет бюджетом Объединения молодых ученых и специалистов ОИЯИ, включая ежегодные гранты для молодых специалистов и ученых, проведение регулярных международных конференций и школ для молодежи, организуемых ОМУС, а также спортивных и других общественных мероприятий.

## Развитие инженерной инфраструктуры

Под элементами инженерной инфраструктуры ОИЯИ подразумеваются системы обеспечения Института электроэнергией, теплом, холодной и горячей водой, жидким азотом, системы охлаждения, канализации, связи и средства обеспечения безопасности. Развитие этих систем осуществляется как самостоятельно, так и в рамках модернизации базовых установок Института.

### 1. Энергетика

#### Электроснабжение

Основным вопросом развития системы электроснабжения ОИЯИ на ближайшую семилетку является реконструкция ГПП-1 и ГПП-2 с получением мощности 28 МВт. Сроки реконструкции ГПП-1 и ГПП-2 — 2021 и 2023 гг. соответственно.

В результате реконструкции ГПП-2 будут введены в работу по постоянной схеме 3-й и 4-й силовые трансформаторы, которые будут питать только отдельную группу объектов ОИЯИ, в том числе таких ответственных базовых установок, как ИБР-2, циклотроны U400 и U400M, фазотрон, компьютерную сеть Института и его вычислительные кластеры. Это позволит значительно сократить количество аварийных отключений этих установок, вызываемых нарушениями в работе электросетей города.

Реконструкция ГПП-1 с вводом 3-го трансформатора позволит увеличить потребляемую ОИЯИ мощность и обеспечить более качественное электроснабжение объектов ЛЯР и ЛФВЭ, в том числе нуклотрона и NICA.

Для повышения надежности электроснабжения и получения дополнительной мощности 4 МВт проводится реконструкция 3-го и 4-го фидеров от Ивановской ГЭС на подстанции 21 (ЛЯП) в рамках соглашения с налоговой службой РФ.

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

#### Теплоснабжение

Планируемые работы на 2017–2023 гг.:

- автоматизация Восточной котельной;
- реконструкция и замена тепловых сетей в городе;
- реконструкция и замена тепловых сетей на площадках ОИЯИ;
- замена узлов учета на выводах Центральной и Восточной котельных (2017 г.);
- организация учета расхода теплоносителя по основным тепломагистралям и крупным потребителям с передачей данных в единый диспетчерский пункт;
- наладка теплосетей площадок ОИЯИ и города.

#### Водоснабжение и канализация

Основной проблемой остается изношенность сетей, в том числе водопроводных, которые служат более 50 лет и выработали свой ресурс. Необходима их плановая замена с использованием современных труб.

Для улучшения снабжения питьевой водой планируется:

- автоматизировать приготовление питьевой воды на водопроводном комплексе;
- организовать учет питьевой воды на выходе с насосно-фильтровальной станции;
- провести реконструкцию водопроводных сетей в городе и на площадках ОИЯИ.

## **2. Обеспечение средствами связи и телекоммуникации**

### **Телефонная связь**

Завершается модернизация цифровой телефонной станции ОИЯИ емкостью 5600 абонентов с возможностью расширения абонентского выноса на площадке ЛФВЭ под проект NICA до 1200 телефонов и более. Для надежной работы связи и сети передачи данных предусматривается строительство и замена волоконно-оптических линий связи и кабельных линий как между площадками и объектами ОИЯИ, так и до вышестоящего оператора связи.

### **Локальная система оповещения**

Локальная система оповещения ОИЯИ должна обеспечивать доведение сигналов и информации оповещения до руководителей и персонала объекта, населения, проживающего в зоне действия системы, и других дежурных служб и организаций в зоне действия радиусом 5 км вокруг ядерно- и радиационно опасных объектов. Современная система, сопряженная с городской системой оповещения, планируется к сдаче в 2023 г.

### **Современные средства контроля и диспетчеризации**

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

## **3. Политика безопасности**

### **Охрана труда, промышленная безопасность, природопользование**

Для решения задач, связанных с охраной труда и промышленной безопасностью, в рамках развития инженерной инфраструктуры на основе действующих нормативных правовых актов соответствующих уровней будут проводиться работы по:

- специальной оценке условий труда сотрудников;
- замене морально и физически устаревшего оборудования;
- модернизации Испытательной промышленно-санитарной лаборатории;
- совершенствованию информационного и технического обеспечения персонала;
- аттестации и повышению квалификации руководителей и специалистов ОИЯИ.

### **Радиационная и ядерная безопасность**

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

Основные задачи отдела радиационной безопасности на 2017–2023 гг.:

- совершенствование системы индивидуального дозиметрического контроля, адаптация ее к реальным полям излучения ядерно-физических установок посредством уточнения поправочных коэффициентов;
- модернизация автоматизированных систем радиационного контроля (АСРК) действующих установок, разработка новых систем на вновь строящихся и реконструируемых радиационно опасных объектах ОИЯИ, разработка средств для контроля высокоэнергетических нейтронов, замена устаревшего приборного парка;
- своевременная отправка на захоронение радиоактивных отходов, источников с истекшим назначенным сроком эксплуатации, недопущение их накопления;
- метрологическое обеспечение средств радиационного контроля как своими силами, так и с привлечением метрологических центров;
- аккредитация метрологической службы и лаборатории радиационного контроля;

– получение разрешения Ростехнадзора на выброс радиоактивных веществ в атмосферу.

Основные задачи отдела радиоактивных и делящихся веществ на 2017–2023 гг.:

- приобретение необходимых материалов и оборудования;
- эксплуатация с продлением срока пункта хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ;
- эксплуатация автоматизированной системы радиационного контроля, включая предупреждение самоподдерживающейся цепной реакции для центрального хранилища ядерных материалов ОИЯИ;
- лицензионное и метрологическое обеспечение работ по учету и контролю материалов, включающее получение лицензий на право обращения с ядерными материалами, радиоактивными веществами и драгоценными металлами в ОИЯИ и аттестацию средств измерений и контроля;
- техническое обслуживание элементов системы учета и контроля материалов, включая компьютеризированную систему базы данных;
- непрерывное обучение и подготовка персонала различного уровня системы учета и контроля материалов в соответствии с нормативными требованиями;
- создание контрольно-методической группы для радиационного контроля, измерения характеристик материалов, ведения и совершенствования документации.

В рамках текущего семилетнего периода запланированы работы по созданию Аварийно-технического центра ОИЯИ в 2022 году.

### **Пожарная безопасность**

Планируется поэтапно проводить реконструкцию действующих систем автоматической пожарной сигнализации и пожаротушения, а также в силу развития экспериментальной базы Института вводить в строй новые современные системы, привлекая для этого специалистов участка пожарной автоматики ОИЯИ. Представляется целесообразной проработка вопроса создания интегрированных систем безопасности, объединяющих функции пожарной сигнализации и системы физической защиты от несанкционированного доступа на объекты, с целью сокращения расходов. В 2017 году утверждена целевая программа «Обеспечение пожарной безопасности ОИЯИ на 2017–2023 гг.», в рамках которой происходит модернизация специализированных систем и оборудования.

Проверки Института показывают, что здания и сооружения Института по многим пунктам не соответствуют действующим нормам пожарной безопасности. В рамках системного подхода запланировано получение Институту лицензий по всем регламентированным видам работ в сфере обеспечения пожарной безопасности объектов и приведение их в соответствие.

**График финансирования (млн руб.)**

Наименование статей бюджета	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Итого
<b>Инженерно-техническое обеспечение и безопасность труда (инфраструктура)</b>	<b>26,0</b>	<b>29,5</b>	<b>36,5</b>	<b>31,9</b>	<b>44,2</b>	<b>45,6</b>	<b>49,5</b>	<b>263,2</b>
проведение специальной оценки условий труда	1,2	0,6	3,4	3,1	1,0	1,1	1,2	<b>11,6</b>
- инфраструктура	0,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	<b>0,9</b>
- бюджет лабораторий *	1,2	0,5	3,2	2,8	0,9	1,0	1,1	<b>10,7</b>
промышленная безопасность	12,0	14,8	15,2	16,3	18,4	19,5	20,4	<b>116,6</b>
- инфраструктура	1,5	1,2	4,5	1,3	1,3	1,5	2,0	<b>13,3</b>
- бюджет лабораторий *	10,5	13,6	10,7	15,0	17,1	18,0	18,4	<b>103,3</b>
<b>Капитальный и текущий ремонт зданий, сооружений, оборудования</b>	<b>7,9</b>	<b>3,8</b>	<b>6,0</b>	<b>11,1</b>	<b>51,0</b>	<b>15,5</b>	<b>15,6</b>	<b>110,9</b>
ремонт зданий и сооружений	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	2,8	2,9	<b>17,5</b>
модернизация АТС-6	0,5	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	0,3	<b>2,4</b>
замена слаботочных кабельных линий	1,3	1,3	3,2	8,4	18,0	2,5	2,5	<b>37,2</b>
замена магистральных водопроводных сетей ЛЯП	1,6	3,3	6,0	1,6	10,0	5,2	5,2	<b>32,9</b>
- инфраструктура	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	5,2	5,2	<b>20,4</b>
- бюджет лабораторий *	1,6	3,3	6,0	1,6	0,0	0,0	0,0	<b>12,5</b>
замена магистральных тепловых сетей ЛЯП	1,9	7,2	1,4	9,3	20,0	4,7	4,7	<b>49,2</b>
- инфраструктура	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	4,7	4,7	<b>29,4</b>
- бюджет лабораторий *	1,9	7,2	1,4	9,3	0,0	0,0	0,0	<b>19,8</b>
замена уличного освещения ЛЯП	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>4,0</b>
<b>Сооружение зданий и технологических систем</b>	<b>0,0</b>	<b>12,2</b>	<b>41,9</b>	<b>137,2</b>	<b>544,9</b>	<b>326,9</b>	<b>358,3</b>	<b>1 421,4</b>
система диспетчеризации и видеонаблюдения	3,0	0,5	0,7	2,3	1,5	2,0	2,0	<b>12,0</b>
- инфраструктура	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>
- бюджет лабораторий *	3,0	0,5	0,7	2,3	1,5	2,0	2,0	<b>12,0</b>
реконструкция ГПП	0,0	12,2	24,8	88,5	467,0	302,0	358,0	<b>1 252,5</b>
локальная система оповещения	0,0	0,0	0,0	4,0	1,7	0,3	0,3	<b>6,3</b>
аварийно-технический центр ОИЯИ	0,0	0,0	9,9	26,6	40,0	15,6	0,0	<b>92,1</b>
геоинформационная система ОИЯИ	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	9,0	0,0	<b>16,0</b>
здание 133 (модернизация хранилища ОРДВ и комплекса ИТСО)	0,0	0,0	7,2	18,1	12,0	0,0	0,0	<b>37,3</b>

реконструкция особо опасных объектов и документация для продления срока эксплуатации объектов по использованию атомной энергии	0,0	0,0	23,4	21,0	33,6	0,0	0,0	<b>78,0</b>
- инфраструктура	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	<b>5,2</b>
- бюджет лабораторий *	0,0	0,0	23,4	21,0	28,4	0,0	0,0	<b>72,8</b>
насосно-фильтровальная станция второй очереди строительства	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	<b>12,0</b>
<b>Итого **</b>	<b>33,9</b>	<b>45,5</b>	<b>84,4</b>	<b>180,2</b>	<b>640,1</b>	<b>388,0</b>	<b>423,4</b>	<b>1 795,5</b>
* финансируется из бюджетов лабораторий	18,2	25,1	45,4	52,0	47,9	21,0	21,5	<b>231,1</b>
** финансируется из инфраструктуры ОИЯИ					<b>ГПП-2</b>	302,0	358,0	<b>660,0</b>

## **Инновационная деятельность**

Стратегическая цель инновационного развития ОИЯИ на период до 2030 г. — сделать Институт ведущим центром трансфера знаний стран-участниц ОИЯИ в области ядерной физики и ускорителей. Реализация планов инновационной деятельности на период 2021–2023 гг. предполагает концентрацию усилий по следующим основным направлениям.

### **I. Создание международного инновационного центра ядерно-физических исследований**

Основные цели организации межлабораторного инновационного центра ОИЯИ (далее — Инновационного центра) — проведение инновационных исследований в наиболее востребованных областях радиационных, биомедицинских технологий, в частности, развитие технологий и методов в области ядерной и радиационной медицины, радиационного материаловедения, а также экологии и информационных систем, подготовка кадров и повышение квалификации специалистов из стран-участниц ОИЯИ по радиационной биологии и медицинской физике.

Главными этапами реализации проекта по созданию Инновационного центра являются:

– прикладные инновационные исследования в рамках проекта комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA, включая создание трех специализированных исследовательских каналов: (1) тяжелых заряженных частиц высоких энергий (150–350 МэВ/нуклон для исследований на радиационную стойкость полупроводниковой микро- и наноэлектроники и 400–800 МэВ/нуклон для радиобиологических исследований и моделирования воздействий тяжелых заряженных частиц галактического космического излучения на биологические объекты, в том числе на когнитивные функции мозга мелких лабораторных животных и приматов); (2) тяжелых заряженных частиц низких энергий с энергией 3,2 МэВ/нуклон для испытаний на радиационную стойкость микро- и наноэлектроники; (3) пучков протонов, дейтронов и легких ионов с энергией 1,0–4,5 ГэВ/нуклон для получения новых ядерных данных для технологий ядерной энергетики, трансмутации отработанного ядерного топлива, создания новых нейтронных источников (срок реализации: 2021–2024 гг.);

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

– создание в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ускорительного комплекса DC-140 для исследований в области радиационного материаловедения, испытаний на радиационную стойкость электронных компонентов, совершенствования технологии производства трековых мембран и др. (срок реализации: 2021–2023 гг.);

– создание в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова современного радиохимического комплекса, включающего радиохимическую лабораторию I класса, с целью разработки новых радиоизотопов для ядерной медицины в фотоядерных реакциях на промышленном электроном ускорителе (срок реализации: 2022–2026 гг.);

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

– создание центра исследований и разработок в области радиационной терапии: исследования по протонной флэш-терапии, разработка новых подходов к планированию

лечения; технологии «карандашного» пучка, создание сверхпроводящего протонного циклотрона (230 МэВ) как пилотной установки для будущего медицинского центра (срок реализации: 2021–2024 гг.).

Программа Инновационного центра будет включать также среднесрочные межлабораторные проекты, подразумевающие расширение программы экспериментальных исследований, характеризую Инновационный центр как место для освоения новых технологий и полигон для передовых научных исследований (Open Research Space @ DUBNA) по направлениям: науки о жизни, технологии экологически чистой безуглеродной энергетики, большие данные и квантовый компьютеринг. Помимо данных новых направлений будет осуществляться развитие уже реализуемых в ОИЯИ направлений в области технологий искусственного интеллекта и квантового компьютеринга на базе Лаборатории информационных технологий им. М. Г. Мещерякова и Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, НИОКР по линейным сверхпроводящим ускорителям непрерывного действия; микропиксельных детекторов семейства Medipix, новых лавинных фотодетекторов, лазерной метрологии, лазерных инклинометров и др.

Для реализации главных этапов проекта по созданию Инновационного центра должна быть разработана дорожная карта.

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

## **II. Эффективная интеграция в глобальную инновационную систему**

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

1. Развитие партнерства в области инноваций с организациями Европейского союза, в том числе с европейской ассоциацией «Knowledge4Innovation», Европейским институтом инноваций и технологий (EIT).

2. Формирование лидирующих позиций ОИЯИ в экспертных научно-инновационных сообществах и комитетах интеграционных межгосударственных объединений, включающих страны-участницы ОИЯИ, страны члены СНГ, ЕАЭС, БРИКС и др.

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

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

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

Конкретные мероприятия и сроки выполнения задач данного раздела программы на 2017–2023 гг. зависят от различных факторов, поэтому они будут ежегодно уточняться в планах инновационной деятельности ОИЯИ.

### **III. Информационная поддержка и PR инновационной деятельности ОИЯИ**

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

- создание, профессиональное наполнение и продвижение сайта по инновационным исследованиям ОИЯИ;
- внедрение лучших практик продвижения инноваций, сотрудничество и использование опыта группы трансфера технологий ЦЕРН;
- подготовка и размещение научно-популярных статей, дайджестов об инновационном потенциале Института;
- участие в международных выставках, конференциях, инновационных форумах;
- участие в выездных мероприятиях ОИЯИ в странах-участницах с целью представления инновационного потенциала Института.

Инновационная деятельность Института также должна стимулировать страны-участницы к расширению экспериментальной повестки исследований на всех базовых установках ОИЯИ, служить полигоном для разработки и освоения новых технологий, способствовать созданию исследовательской инфраструктуры в государствах-членах ОИЯИ и других заинтересованных странах.

Особое внимание должно быть уделено совершенствованию деятельности существующих и созданию новых субъектов управления и координации инновационной деятельности, в том числе расширению функционала Экспертного совета ОИЯИ по инновациям за счет включения в него представителей государственных структур стран-участниц ОИЯИ, отвечающих за инновационное развитие.

С целью дополнительной поддержки развития наиболее перспективных инновационных направлений рассматривается вопрос учреждения гранта дирекции, конкурса инновационных проектов, Фонда развития инноваций ОИЯИ.

Особое внимание должно быть уделено вопросам оформления и коммерциализации прав Института на результаты интеллектуальной деятельности, выработки новых подходов к организации работы с интеллектуальной собственностью в Институте.

С целью создания системы отработки запросов бизнеса на выполнение заказных НИОКР планируется расширение взаимодействия с компаниями-резидентами особой экономической зоны технико-внедренческого типа «Дубна».

## **Мониторинг реализации семилетнего плана и долгосрочной стратегии развития ОИЯИ**

Представленный в ноябре 2020 года Стратегический план долгосрочного развития ОИЯИ на период до 2030 года и далее определяет принципы формирования очередных среднесрочных планов развития ОИЯИ. В Стратегии ОИЯИ сформулирована система показателей деятельности Института и предусмотрено ее применение для мониторинга его деятельности. Система показателей и мониторинг являются ключевым инструментом для анализа хода решения сформулированных в текущем семилетнем плане развития задач и оценки эффективности работы ОИЯИ по ключевым направлениям деятельности, и обеспечения соответствия научной, научно-образовательной и инновационной деятельности Института самым современным международным стандартам, ее востребованности государствами-членами ОИЯИ.

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

Каждая из этих двух групп содержит основные показатели (показатели верхнего уровня) трех основных типов, относящихся к научным исследованиям и научно-исследовательской инфраструктуре, характеристике Института как международной межправительственной организации, кадровому потенциалу и текущему состоянию персонала.

Мониторинг по основным показателям обеспечивается показателями нижнего уровня — детализированной системой характеристик, параметров и индикаторов, утверждаемой при принятии очередного семилетнего плана развития ОИЯИ и корректируемой на ежегодной основе. Система показателей и мониторинга будет применяться начиная с 2022 года.

## **Кадровая и социальная политика**

Семилетняя программа развития ОИЯИ на 2017–2023 гг. нацелена на эффективную организацию трудовой деятельности персонала Института, совершенствование системы оценки и оплаты труда научных работников и других категорий персонала Института, привлечение молодых научных, инженерных, управленческих и рабочих кадров, социальную защиту персонала ОИЯИ. План включает следующие мероприятия.

### **I. Кадровая политика**

1. Активное привлечение ученых, руководителей и специалистов из государств-членов ОИЯИ для более широкого участия в работе научного, управленческого и инженерного секторов Института.

2. Создание условий для привлечения на работу в ОИЯИ на конкурсной основе перспективных ученых и специалистов из широкого круга стран, в том числе не являющихся членами ОИЯИ (ассоциированный персонал).

3. Реализация комплекса мер по привлечению молодежи, ее подготовке и закреплению в штате ОИЯИ на основе дальнейшего развития системы материальной и социальной поддержки молодежи, системы образования, создания условий для профессионального роста, повышения мотивации к научно-технической и организационно-административной деятельности.

4. Формирование кадрового резерва для замещения руководящих должностей в научном, управленческом и инженерном секторах ОИЯИ.

5. Создание эффективной системы повышения квалификации работников ОИЯИ.

6. Совершенствование нормативной базы управления персоналом, включающее модернизацию Положения о персонале ОИЯИ и иных действующих нормативных документов, а также разработку новых нормативных документов в соответствии с динамикой развития Института.

7. Реализация комплекса мер по обеспечению статуса должностных лиц ОИЯИ на территории государства местопребывания Института на основе Соглашения между правительством Российской Федерации и ОИЯИ о местопребывании и условиях деятельности ОИЯИ в Российской Федерации.

### **II. Эффективность труда, совершенствование системы управления**

1. Регулярное проведение оценки труда членов персонала на основе действующих положений ОИЯИ об аттестации работников, о правилах оценки индивидуальной эффективности труда научных работников и иных нормативных документов с применением системы «ПИН — персональная информация».

Мониторинг эффективности работы подразделений Института с учетом международного опыта и системы оценки организаций государственного сектора науки, действующей на территории страны местопребывания ОИЯИ.

2. Оптимизация структуры и численности персонала и адаптация штатного расписания Института к изменяющимся условиям.

3. Оптимизация системы управления ОИЯИ, обеспечивающая эффективность процессов управления и управленческих расходов при повышении требований к профессиональному уровню и исполнительской дисциплине персонала.

4. Совершенствование конкурентных процедур замещения вакантных должностей в ОИЯИ.

5. Организация системы электронного документооборота, обеспечивающего эффективность и прозрачность предоставления административных услуг персоналу Института.

6. Реализация политики ОИЯИ по защите и использованию интеллектуальной собственности, создаваемой работниками Института.

#### Прогноз изменения кадрового состава по категориям (кол-во чел.)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Штат Института, в том числе:	3 850	3 925	4 018	4 130	4 210	4 190	4 180
— научные сотрудники	1 223	1 223	1 226	1 235	1 215	1 230	1 230
— специалисты, руководители, служащие, рабочие	2 627	2 702	2 792	2 895	2 995	2 960	2 950
Ассоциированный персонал	0	0	0	0	0	150	250
<b>Всего</b>	<b>3 850</b>	<b>3 925</b>	<b>4 018</b>	<b>4 130</b>	<b>4 210</b>	<b>4 340</b>	<b>4 430</b>

#### Прогноз изменения кадрового состава по странам (без ассоциированного персонала, кол-во чел.)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Российская Федерация	3 441	3 506	3 562	3 667	3 752	3 725	3 712
Другие страны-участницы	380	390	417	425	417	420	420
Страны-неучастницы	29	30	38	38	41	45	48
<b>Всего</b>	<b>3 850</b>	<b>3 925</b>	<b>4 018</b>	<b>4 130</b>	<b>4 210</b>	<b>4 190</b>	<b>4 180</b>

### III. Оплата труда, социальная политика

1. Обеспечение в 2018 г. средней заработной платы научных сотрудников на уровне в 200 процентов от средней заработной платы в регионе местопребывания Института, поддержание в дальнейшем конкурентной на международном уровне заработной платы.

2. Совершенствование системы оплаты труда всех категорий работников ОИЯИ, предусматривающей схему оплаты каждой категории сотрудников и позиций внутри категории с мотивацией активности и карьерного роста, с учетом международного опыта, изменений в законодательстве государства местопребывания Института.

3. Обеспечение прозрачности и эффективности системы оплаты труда и устранение диспропорций в оплате труда работников из стран-участниц ОИЯИ, в том числе за счет минимизации количества и размера дополнительных вознаграждений.

4. Модернизация рабочих мест членов персонала ОИЯИ до современного материально-технического уровня.

5. Осуществление эффективного управления эксплуатацией, предоставлением и учетом жилищного фонда ОИЯИ.

6. Эффективное использование системы обязательного и добровольного медицинского страхования, рациональное взаимодействие с учреждениями здравоохранения в целях предоставления членам персонала ОИЯИ высококачественных медицинских услуг.

7. Совершенствование системы учета работы, в том числе во вредных и опасных условиях труда, а также порядка подготовки документов, подтверждающих право членов персонала на назначение трудовой пенсии в странах-участницах ОИЯИ.

8. Использование системы негосударственного пенсионного обеспечения в стране местопребывания ОИЯИ в зависимости от уровня ее развития и стабильности.

9. Принятие дополнительных мер материальной и социальной поддержки ветеранов ОИЯИ.

#### **IV. Молодежь ОИЯИ**

Специальная программа «Молодежь ОИЯИ» была утверждена в рамках усилий по привлечению, обучению и принятию на работу в Институт молодых ученых. В рамках программы предполагается сохранение действующих проектов, реализованных в рамках предыдущего семилетнего плана ОИЯИ, и развитие финансовой и социальной системы поддержки для молодых ученых и специалистов, образования и обучения в форме, соответствующей требованиям международной организации, продолжение развития условий для профессионального роста, стимулирование мотивации молодых сотрудников в научных исследованиях и/или административной работе.

Реализация предыдущего семилетнего плана показала эффективность создания и развития системы молодежных грантов ОИЯИ и ежегодных молодежных премий. Доля молодежи в структуре персонала ОИЯИ растет, и количество новых молодых сотрудников увеличивается, что показывает хорошо настроенную систему привлечения. С другой стороны, продолжается тенденция оттока сформировавшихся работников с небольшим стажем работы (в основном вследствие нерешенности жилищных проблем, на которые необходимо обратить особое внимание в ближайшем будущем).

В рамках дополнительных усилий по привлечению, обучению и закреплению молодых сотрудников в Институте целевым образом предполагаются следующие мероприятия.

1. Создание и развитие базовых установок Института, соответствующих международному статусу и передовым исследованиям в мире.
2. Продолжение развития конкурентной образовательной базы мирового уровня на основе инженерного центра и программ УНЦ.
3. Популяризация Института и его деятельности путем проведения конференций, школ, семинаров и публичных лекций, научных экскурсий и презентаций для специализированной и широкой публики.
4. Продолжение реализации и дальнейшее развитие системы грантов и премий для молодых ученых и специалистов ОИЯИ.
5. Внедрение карьерной дорожной карты с указанием возможностей карьерного роста молодого сотрудника, формирование молодежного кадрового резерва в подразделениях Института.

6. Развитие существующих и внедрение новых социальных программ, направленных на улучшение качества жизни и условий труда молодых сотрудников.
7. Расширение и улучшение качества фонда служебного жилья, систематизация компенсаций арендной платы сотрудников.
8. Программа жилищного строительства на льготных условиях — ссуды и субсидии на строительство, введение правил на право выкупа предоставляемого служебного фонда в рассрочку.

Сроки осуществления мероприятий по данному разделу семилетней программы, а также определение конкретных задач и этапов в 2017–2023 гг. будут зависеть от общих условий развития ОИЯИ и изменения внешних факторов, влияющих на кадровую и социальную политику.

## Финансовое обеспечение

### 1. Доходы

**Доходы финансового плана ОИЯИ на 2017–2023 гг. (млн долларов США)**

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
Взносы государств-членов ОИЯИ	197,3	196,9	201,0	200,2	209,2	217,0	222,4	<b>1 444,0</b>
Выплата задолженности государств-членов ОИЯИ по уплате взносов	47,6	0,1	30,6	12,8	0,2	0,2	0,2	<b>91,7</b>
Прочие доходы	9,2	8,8	8,4	5,9	2,2	0,0	0,0	<b>34,5</b>
<b>Всего</b>	<b>254,1</b>	<b>205,8</b>	<b>240,0</b>	<b>218,9</b>	<b>211,6</b>	<b>217,2</b>	<b>222,6</b>	<b>1 570,2</b>

Доходы Финансового плана ОИЯИ сформированы главным образом за счет взносов государств-членов. Рост расчетной суммы взносов на 2022 и 2023 годы составляет 2,5% ежегодно. В доходы также включена выплата задолженности государств-членов по уплате взносов, осуществляемая в соответствии с утвержденными графиками, и поступление прочих доходов.

Общая сумма доходов за 2017–2023 годы с учетом фактически полученных средств запланирована в объеме 1 570,2 млн долларов США.

### 2. Расходы

**Расходы финансового плана ОИЯИ на 2017–2023 гг. (млн долларов США)**

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
Персонал	65,3	73,1	82,1	79,4	96,7	112,9	114,8	<b>624,3</b>
Международное сотрудничество	8,4	8,7	8,9	3,1	5,6	6,0	6,0	<b>46,7</b>
Материальные затраты, внешний НИОКР, строительство	96,8	103,7	100,4	91,8	108,4	106,8	76,0	<b>683,9</b>
Энергия и вода	4,8	4,9	4,9	4,2	5,3	5,5	5,8	<b>35,4</b>
Ремонт	9,6	10,9	13,3	15,6	11,1	10,0	10,0	<b>80,5</b>
Оперативные расходы	9,5	10,3	10,7	10,0	10,2	10,0	10,0	<b>70,7</b>
<b>Итого</b>	<b>194,4</b>	<b>211,6</b>	<b>220,3</b>	<b>204,1</b>	<b>237,3</b>	<b>251,2</b>	<b>222,6</b>	<b>1 541,5</b>
Резерв для грантов ПП и программ сотрудничества	–	–	–	–	10,0	7,0	7,0	<b>24,0</b>
Резерв для грантов дирекции ОИЯИ	–	–	–	–	10,5	10,7	11,0	<b>32,2</b>
<b>Всего</b>	<b>194,4</b>	<b>211,6</b>	<b>220,3</b>	<b>204,1</b>	<b>257,8</b>	<b>268,9</b>	<b>240,6</b>	<b>1 597,7</b>

Расходы финансового плана ОИЯИ представлены в виде консолидированных статей, отражающих основные направления расходования средств. Основная часть расходов сосредоточена в двух консолидированных статьях: «Персонал» и «Материальные затраты, внешний НИОКР, строительство».

Консолидированная статья «Персонал» включает в себя расходы, связанные с оплатой труда и начислениями на заработную плату. От этих расходов зависит уровень оплаты труда сотрудников и привлекательность Института для высококвалифицированных ученых и молодых специалистов.

Консолидированная статья «Материальные затраты, внешний НИОКР, строительство» содержит расходы на приобретение материалов, оборудования, оплату пусконаладочных работ, оплату научно-исследовательских работ, выполняемых сторонними организациями, а также расходы по проектированию и строительству зданий, сооружений и технологических систем. Эти расходы главным образом связаны с реализацией научных проектов.

Также в расходах присутствуют другие консолидированные статьи, обеспечивающие эффективную деятельность ОИЯИ: «Международное сотрудничество» – расходы на служебные командировки, прием специалистов и проведение совещаний и конференций; «Энергия и вода» – расходы на оплату электроэнергии, тепловой энергии, водоснабжения и стоков; «Ремонт» – расходы на капитальный и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования; «Оперативные расходы» – расходы на научно-информационное и инженерно-техническое обеспечение, оплату транспортных услуг, связи, охраны объектов, социальных услуг и других сервисных расходов.

В расходах также присутствуют резервные средства, которые носят целевой характер и распределяются по статьям расходов в течение года.

Общая сумма расходов за 2017–2023 годы запланирована в объеме 1 597,7 млн долларов США.

### 3. Материальные расходы (консолидированная статья «Материальные затраты, внешний НИОКР, строительство»)

#### Расходы по консолидированной статье «Материальные затраты, НИОКР, строительство» (млн долларов США)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Всего
Ускорительный комплекс NICA	38,3	46,5	38,9	32,2	49,3	53,3	26,7	285,2
Циклотронный комплекс DRIBs-III	17,1	12,4	10,5	11,4	14,1	15,0	13,1	93,6
Нейтронная программа	12,2	9,8	13,0	9,1	7,9	5,0	3,2	60,2
ИБР-2 и спектрометры	4,5	7,2	6,9	4,8	4,6	3,5	2,4	33,9
Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс	3,1	4,7	3,0	4,0	2,9	3,1	3,3	24,1
Другие научные проекты, в том числе Инновационный центр, Лаборатория SOLCRYS, суперкомпьютер ГОВОРУН	9,2	9,5	12,1	10,9	8,2	10,1	10,3	70,3
<b>Итого по всем научным проектам</b>	<b>84,4</b>	<b>90,1</b>	<b>84,4</b>	<b>72,4</b>	<b>87,0</b>	<b>90,0</b>	<b>59,0</b>	<b>567,3</b>
Эксплуатация базовых установок	3,6	4,3	5,4	3,1	4,2	4,3	4,7	29,6
Инфраструктура лабораторий	2,1	1,6	3,0	3,3	4,2	3,5	3,3	21,0
Инфраструктура ОИЯИ	6,7	7,7	7,6	13,0	13,0	9,0	9,0	66,0
<b>Всего</b>	<b>96,8</b>	<b>103,7</b>	<b>100,4</b>	<b>91,8</b>	<b>108,4</b>	<b>106,8</b>	<b>76,0</b>	<b>683,9</b>

Значительная часть материальных расходов направлена на финансирование основных научных проектов ОИЯИ:

- создание ускорительного комплекса NICA для исследований в области физики тяжелых ионов высоких энергий;
- создание комплекса циклотронов DRIBs-III для поиска новых сверхтяжелых элементов таблицы Менделеева и исследования свойств радиоактивных и экзотических нейтроноизбыточных ядер;
- развитие исследовательской ядерной установки ИБР-2 и спектрометров для исследований в области физики конденсированного состояния вещества и в области нанотехнологий;
- реализация Нейтринной программы исследований в области физики нейтрино, астрофизики и темной материи;
- развитие Многофункционального информационно-вычислительного комплекса для поддержки научной деятельности.

Эти расходы основываются на детальных сметах затрат и графиках реализации проектов, одобренных Ученым советом и программно-консультативными комитетами ОИЯИ.

В материальных расходах также запланированы средства на эксплуатацию и техническое обслуживание действующих экспериментальных установок в целях поддержания их в надлежащем рабочем состоянии, расходы на административное и хозяйственное обслуживание, а также расходы на обслуживание и развитие общеинститутских инженерно-технических систем.

#### **4. Расходы на персонал (консолидированная статья «Персонал»)**

Расходы на персонал запланированы в объеме, обеспечивающем конкурентный уровень оплаты труда и привлекательность Института для высококвалифицированных ученых и молодых специалистов.

В расходах на персонал с 2021 года ежегодно планируется централизованный фонд стимулирования высококвалифицированного персонала, который создан по решению КПП ОИЯИ в целях обеспечения конкурентоспособного уровня оплаты труда, стимулирования работников к повышению квалификации и профессиональной компетенции, решения задач концентрации ресурсов на приоритетных направлениях деятельности ОИЯИ.

Дирекцией Института утверждены направления использования средств фонда:

- поддержка развития основных проектов Института — NICA, фабрика СТЭ, ИБР-2, нейтринная программа и др., в рамках которых речь идет о поддержке представителей всех категорий персонала, занятых в проектах, но главная задача использования этой части фонда — стимулирование инженерно-технического персонала лабораторий;
- поддержка молодых научных сотрудников без ученой степени через механизм надбавок к окладу, а в дальнейшем — через увеличение количества и размера грантов ОИЯИ для молодых ученых и специалистов;
- специальные программы по развитию и привлечению кадров высокого уровня, которые включают конкурсную программу постдоков, прием на работу перспективных аспирантов на должности стажеров-исследователей, единовременные выплаты за успешные защиты диссертаций, привлечение на полноценную работу в Институт выдающихся исследователей;
- поддержка высококвалифицированных исследователей в лице кандидатов и докторов наук;
- премирование коллективов за особые достижения в реализации крупномасштабных проектов Института.

### Среднемесячная заработная плата (тыс. рублей)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Среднемесячная заработная плата научных работников ОИЯИ с учетом всех выплат — не ниже	95,9	108,6	125,2	139,5	159,2	164,2	169,3
Среднемесячная заработная плата в ОИЯИ с учетом всех выплат — не ниже	70,2	78,6	88,6	96,4	110,6	114,0	117,6

#### 5. «Международное сотрудничество», «Энергия и вода», «Ремонт», «Оперативные расходы»

Расходы по консолидированной статье «Международное сотрудничество» запланированы в финансовом плане на 2021–2023 годы в соответствии с текущим уровнем. Дополнительное финансирование этих расходов будет осуществляться за счет зарезервированных средств для грантов полномочных представителей, программ сотрудничества с научными организациями государств-членов, а также совместных проектов с научными организациями государств, не являющихся членами ОИЯИ, с которыми заключены соглашения о научно-техническом сотрудничестве.

Расходы по консолидированной статье «Энергия и вода» запланированы на основе расчетных объемов потребления энергетических ресурсов экспериментальными установками и объектами Института. В расчете также учтен прогнозный рост тарифов на услуги компаний топливно-энергетического комплекса в Российской Федерации.

Объем средств по консолидированной статье расходов «Ремонт» определен с учетом необходимости обновления и расширения производственных площадей, обеспечивающих работу новых экспериментальных установок, развития инженерной инфраструктуры, увеличения количества современных исследовательских рабочих мест в лабораториях Института, а также расходов на текущее содержание зданий и сооружений Института. Расходы на ремонт в 2021–2023 годах запланированы примерно на одном уровне в объеме около 10,0 млн долларов США ежегодно.

Затраты по консолидированной статье «Оперативные расходы» запланированы на 2021–2023 годы на уровне 10,0 млн долларов США ежегодно с учетом их оптимизации в целях концентрации средств для обеспечения реализации научных проектов.

#### 6. Финансовые риски и резерв для грантов дирекции ОИЯИ как мера по минимизации их негативных последствий

Основные риски финансового плана развития ОИЯИ связаны с возникновением дефицита в случае неуплаты взносов отдельными государствами-членами, а также в случае возникновения неблагоприятной ситуации с валютными курсами.

Возникновение дефицита бюджета ОИЯИ приведет к необходимости ограничения бюджетных расходов, что может негативным образом отразиться на сроках выполнения основных научных проектов.

В финансовом плане предусмотрен резерв для грантов дирекции ОИЯИ в объеме 5% от общей суммы взносов, который находится в оперативном управлении директора Института. Эти средства необходимы для смягчения негативных последствий для бюджета Института в случае возникновения неблагоприятных обстоятельств. Также они могут быть направлены на обеспечение дополнительных потребностей, возникающих в процессе исполнения бюджета.

## 7. Прогнозные макроэкономические показатели

При формировании расходов Финансового плана ОИЯИ на 2021–2023 годы использованы прогнозные макроэкономические показатели, ожидаемые в стране местопребывания Института. Показатели основаны на официальных прогнозах Министерства экономического развития Российской Федерации.

### Прогнозные макроэкономические показатели

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Среднегодовой курс доллара США, рублей за 1 доллар США	58,3	62,5	64,7	71,9	70,8	73,1	73,8
Среднегодовой курс евро, долларов США за 1 евро	1,13	1,18	1,12	1,14	1,15	1,20	1,20
Среднегодовая инфляция (рост цен) в государстве местопребывания Института	3,7%	2,9%	4,5%	3,4%	4,0%	4,0%	4,0%
Среднегодовой рост тарифов на электроэнергию	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%
Среднегодовой рост тарифов на тепловую энергию и водоснабжение	4,0%	4,0%	2,4%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%

## 8. Финансирование проекта NICA за счет целевых средств Российской Федерации

Реализация проекта NICA осуществляется совместными усилиями ОИЯИ и Российской Федерации в соответствии с Соглашением о создании и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA от 26 апреля 2016 года.

В соответствии с данным Соглашением, а также его актуализацией согласно Национальному проекту «Наука», финансирование осуществляется за счет средств бюджета ОИЯИ, вкладов других стран и за счет средств, выделяемых по Соглашению Российской Федерацией.

Общая сумма средств, выделенных Российской Федерацией на создание ускорительного комплекса NICA, составляет 14 400,0 млн рублей.

Использование средств Российской Федерации осуществляется в соответствии с Соглашением и решениями Наблюдательного совета проекта NICA. В таблице ниже показана структура фактического использования этих средств за 2017–2020 годы, а также план по их использованию на 2021–2023 годы<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> В 2016 году на реализацию проекта NICA было затрачено 267,6 млн. руб.

**Расходы на проект NICA, обеспеченные целевым взносом  
Российской Федерации (млн рублей)**

	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>Всего</b>
Создание экспериментальных установок	552,7	552,7	902,7	347,9	1 110,8	1 536,7	0,0	5 003,5
Научно-исследовательская и инженерная инфраструктура	753,4	761,1	1 171,3	1 272,9	1 995,0	711,8	500,0	7 165,5
Компьютерно-информационный комплекс	34,8	400,6	113,9	0,0	91,5	11,8	300,0	952,6
Каналы и установки для прикладных инновационных исследований	0,0	0,0	46,8	62,9	590,1	311,0	0,0	1 010,8
<b>Всего</b>	<b>1 340,9</b>	<b>1 714,4</b>	<b>2 234,7</b>	<b>1 683,7</b>	<b>3 787,4</b>	<b>2 571,3</b>	<b>800,0</b>	<b>14 132,4</b>

11-8948

Подписано в печать 19.03.2021

Формат 60 × 84/8. Усл. печ. л. 8,14. Уч.-изд. л. 6,96. Тираж 200 экз. Заказ № 60096.

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/)