**УТВЕРЖДАЮ**

**Вице-директор Института**

**/Дмитриев С.Н./**

**“ “ 2023** **г.**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОДЛЕНИЯ  
КРУПНОГО ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЕКТА

ПО НАПРАВЛЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ

1. Общие сведения о теме / крупном инфраструктурном проекте (далее КИП)
   1. **Шифр КИП**: 03-0-1129-2017
   2. Лаборатория: Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н.Флерова
   3. Научное направление: физика тяжелых ионов
   4. Наименование КИП: Развитие ускорительного комплекса и экспериментальных установок ЛЯР
   5. Руководительи КИП: Калагин И.В., Сидорчук С.И.

Научный руководитель КИП: Оганесян Ю.Ц.

* 1. Заместители руководителя КИП: Семин В.А., Еремин А.В.

1. Научное обоснование и организационная структура
   1. Аннотация

Научная программа Лаборатории ядерных реакция им. Г.Н. Флерова в области физики тяжелых ионов включает в себя эксперименты по синтезу и исследованию свойств тяжелых, сверхтяжелых и легких экзотических ядер с использованием пучков ускоренных ионов стабильных и радиоактивных изотопов, а также изучение механизма ядерных реакций. При этом в ЛЯР непрерывно развиваются ускорительные технологии и экспериментальные установки.

Парк циклотронов ЛЯР включает в себя три ускорителя (DC-280, У-400, У-400M), а также циклический имплантатор ИЦ-100, предназначенный для получения интенсивных пучков ионов от С до W с энергией от 1,0 до 1,2 МэВ/нуклон для облучения полимерных пленок и проведения широкого спектра научных и прикладных исследований. Ученые из России, Казахстана, Монголии, Вьетнама, Кубы и ряда других стран проводят совместные прикладные исследования на микротроне МТ-25, ускоряющем пучки электронов до энергии 25 МэВ.

КИП включает в себя два подпроекта:

* «Ускорительный комплекс У-400Р», включающий, в свою очередь, три подпроекта:
  + - модернизация циклотрона У-400 (У-400Р после модернизации);
    - создание нового экспериментального зала;
    - создание новых физических сепараторов и каналов транспортировки пучков ионов от У-400Р.
* «Развитие экспериментальных установок для исследования химических и физических свойств сверхтяжелых элементов», включающий два подпроекта:
  + сепаратор GASSOL на основе сверхпроводящего соленоида для изучения химических свойств короткоживущих сверхтяжелых нуклидов;
  + многоотражательный времяпролетный (МО ВП) спектрометр для точного измерения масс тяжелых и сверхтяжелых нуклидов.

Помимо этого, продолжаются строительство и работа по запуску циклотрона ДЦ-140 для комплексных прикладных исследований. Работы проводятся в рамках проекта «Проект создания Инновационного исследовательского центра ОИЯИ" и являются частью раздела/проекта «Исследовательский комплекс ЛЯР для работы в области материаловедения».

Еще одним важным направлением КИП является поддержка физических экспериментов и развитие существующих ускорителей и экспериментальных установок.

* 1. Подпроекты КИП

1. Ускорительный комплекс У-400Р;
2. Развитие экспериментальных установок для исследования химических и физических свойств сверхтяжелых элементов.
   1. **Научное обоснование** (не более 20 страниц)

(цель, актуальность и научная новизна, методы и подходы, методики, ожидаемые результаты, риски).

В рамках проекта DRIBs-III (Dubna Radioactive Ion Beams) первостепенная роль отводится «Фабрике сверхтяжелых элементов» (SHE Factory) на базе специализированного ускорителя ДЦ-280, оборудованной экспериментальными установками нового поколения. Приоритетной задачей ЛЯР является полномасштабная реализация этого проекта в течение 2024–2030 г.г. Поэтапная реализация проекта значительно расширит возможности проведения в ОИЯИ фундаментальных и прикладных ядерно-физических исследований на высочайшем уровне в рамках широкого сотрудничества с научными центрами государств-членов ОИЯИ, а также с исследовательскими центрами других стран. В течение 2024–2030 г.г. планируется:

1. Разработка методов для получения интенсивных пучков 48Ca, 50Ti, 54Cr и др.

2. Развитие экспериментальной базы. Данный пункт рассматривается в качестве подпроекта КИП «Развитие экспериментальных установок для исследования химических и физических свойств сверхтяжелых элементов» и делится на два подпроекта: **«Сверхпроводящий газонаполненный сепаратор GASSOL» и «Многоотражательный времяпролетный масс-спектрометр».**

**Подпроект I*.* Сверхпроводящий газонаполненный сепаратов GASSOL.**

Магнитный газонаполненный сепаратор (GASSOL) предназначен для изучения атомных свойств и химического поведения сверхтяжелых элементов, в том числе с довольно коротким периодом полураспада: T1/2<0,5 с. Сепаратор разработан на основе сверхпроводящего соленоида и позволяет, помимо эффективного разделения продуктов реакций, фокусировать их в пятно диаметром менее 1 см2.

**Подпроект II.Многоотражательный ВП масс-спектрометр**

Многоотражательный времяпролетный масс-спектрометр (МО ВПМС) высокого разрешения предназначен для измерения масс СТЭ с Z=104–118 и A=266–294, а также продуктов их радиоактивного распада с точностью <100 кэВ.

**Реконструкция ускорительного комплекса У-400.** Работы по модернизации включены в подпроект «Ускорительный комплекс У-400Р». Цель работ – создание ускорительного комплекса У-400Р для подробного изучения механизмов ядерных реакций с пучками стабильных тяжелых ионов (процессы слияния-деления, квазиделения, многонуклонных передач и др.), синтеза в этих реакциях новых нуклидов, а также спектроскопии распада исследуемых ядер.

Подпроект включает в себя такие задачи, как строительство нового Экспериментального зала, модернизация циклотрона У-400, а также создание новых сепараторов и систем ионопроводов для транспортировки пучков.

На ускорительном комплексе будут детально исследоваться свойства изотопов тяжелых и сверхтяжелых элементов, а также осуществляться поиск новых методов синтеза тяжелых нуклидов. Данные исследования не предполагают использование радиоактивного мишенного материала в количестве, превышающем 105Бк.

Одной из основных целей Подпроекта является расширение экспериментальных площадей, что требует строительства нового здания экспериментального зала. Площадь ныне действующего экспериментального зала циклотрона У-400 составляет 200 м2. Оборудование физических установок, установленное на обоих этажах зала, занимает почти все пространство. Необходимы дополнительное экспериментальные площади для размещения новых установок. Система защиты здания действующего экспериментального зала не позволяет подготавливать другие установки к эксперименту во время работы с пучком на одной из установок. Чтобы обеспечить условия для дальнейшего развития, был предложен проект нового экспериментального зала, работа по подготовке которого была высоко оценена на 54 сессии ПКК в 2021 году. Физкабины нового экспериментального зала, предназначенные для размещения оборудования экспериментальных установок, занимают общую площадь порядка 1100 м2 .

Во время реконструкции циклотрона, являющейся второй по значимости задачей подпроекта, основное внимание будет уделено:

* увеличению интенсивностей пучков ускоренных ионов 48Са до 2–2.5 мкА частиц;
* модернизации системы вывода пучка. Модернизированная система обеспечит вывод пучка из циклотрона как перезарядной фольгой, так и с помощью электростатического дефлектора, что улучшит качество пучков;
* плавной вариации энергий пучков в широком диапазоне отношений массы к заряду A/Z, что важно при проведении экспериментов по исследованию динамики реакций слияния-деления и многонуклонных передач (МНП), а также экспериментов по ядерной спектроскопии;
* понижению энергетического разброса энергий пучков до 3·10-3;
* снижению максимального уровня магнитного поля в центре циклотрона с 2,1 Т до 1,8 Т, что значительно снизит энергопотребление основного магнита и уровень рассеянного магнитного поля.

Помимо строительства нового здания и реконструкции циклотрона, будут созданы новые экспериментальные установки. На данном этапе было предложено включить в проект разработку кинематического сепаратора, основными компонентами которого станут электростатический дефлектор, магнитная система и система регистрации для изучения свойств реакций МНП и радиоактивного распада нейтроноизбыточных изотопов тяжелых элементов, полученных в реакциях МНП. Сепаратор предназначен для проведения экспериментов с использованием высокоинтенсивных пучков и обеспечивает надежное разделение тяжелых и сверхтяжелых ядер при высоком подавлении фоновых частиц. Кроме того, он обеспечит высокую эффективность трансмиссии продуктов реакций слияния и передачи.

Одной из основных задач команды ЛЯР в предстоящий семилетний период (2024–2030) станет создание новых установок ускорительного комплекса У-400Р. Еще одна установка, предварительно получившая название «SCIF-D», разработана для исследования механизмов реакций слияния-деления. Кроме того, она позволяет регистрировать три совпадающих частицы, две из которых – осколки деления, предоставляя, таким образом, важную информацию о механизме МНП. Спектрометр «SCIF-D» даст возможность измерить сечения различных процессов, массово-энергетические, зарядовые и угловые распределения фрагментов и испарительных остатков реакций. Планируются эксперименты с использованием высокоинтенсивных пучков ионов от Ne до U на актинидных мишенях. Кроме того, измерение одновременно всех кинематических характеристик фрагментов ядерных реакций позволит получить информацию о времени реакций, а также определить энергию возбуждения фрагментов, что чрезвычайно важно для определения вероятности их выживания во время девозбуждения.

Обсуждается конечный вариант конструкции спектрометра. Времяпролетный спектрометр CORSET станет базовой установкой спектрометра, а дополнительными компонентами могут стать электростатический дефлектор для измерения испарительных остатков, магнитный масс-анализатор и камера Брегга. В течение трех лет (с 2024 по 2026) в рамках данных **работ** планируем завершить разработку технического проекта установки «SCIF-D».

**Строительство и запуск циклотрона ДЦ-140 для прикладных исследований**

Работа по строительству и запуску циклотрона ДЦ-140 направлена на создание ускорительного комплекса для фундаментальных исследований и применения пучков тяжелых ионов в области физики твердого тела, модификации поверхности материалов, в производстве трековых мембран, а также в испытаниях электронной компонентной базы (ЭКБ) на стойкость к воздействию одиночных радиационных эффектов (ОРЭ). Необходим специализированный компактный ускоритель тяжелых ионов с инжектором многозарядных ионов на основе источника ионов по типу ЭЦР, с тремя специализированными каналами.

Циклотрон ДЦ-140 предназначен для получения пучков ускоренных ионов от O до Bi с энергиями 4,8 и 2,1 МэВ/нуклон для проведения исследований в области физики твердого тела и модификации поверхности материалов, а также для производства трековых мембран и проведения испытаний ECB SEE. Пучки с энергией 4,8 МэВ/нуклон обеспечат глубину проникновения ионов в Si до 55 мкм и LET в Si до 100 МэВ\*см2/мг для эффективного испытания SEE. Пучки с энергией 2,1 МэВ/нуклон позволят производить трековые мембраны на основе полимерных пленок толщиной до 30 микрон.

Проект по созданию ускорительного комплекса ДЦ-140 находится на завершающей стадии. Его введение в эксплуатацию ожидается в 2024 г.

**Поддержка физических экспериментов и развитие экспериментальной базы**

Работа в непрерывном режиме, направленная на поддержку проведения физических экспериментов и развитие экспериментальных установок, включает в себя:

* повышение стабильности в работе ускорителей, а также повышение интенсивности и улучшение качества пучков ионов стабильных и радиоактивных нуклидов в энергетическом диапазоне от 1 до 100 МэВ/нуклон;
* поддержка экспериментов на Фабрике СТЭ с использованием действующих установок DGFRS-2 и GRAND;
* развитие инфраструктуры фрагмент-сепаратора ACCULINNA-2 (ВЧ-кикер, комплекс тритиевой мишени) на модернизированном циклотроне У-400М;
* разработка источников ионов для циклотронов;
* реализация программы прикладных исследований на циклотроне ИЦ-100 и микротроне МТ-25;
* разработка методов для диагностики пучков ионов стабильных и радиоактивных нуклидов;
* разработка фильтра скоростей SHELS (Separator for Heavy ELement Spectroscopy) с использованием массивов α, β, γ-детекторов GABRIELA, установленных в экспериментальном зале У-400;
* разработка системы регистрации в фокальной плоскости анализатора МАВР и спектрометра MULTI, состоящего из 4π-нейтронного детектора и гамма-детектора.

**Риски.**

Основные риски связаны с ограничениями на закупку ряда оборудования, произведенного в ЕС и США (вакуумное оборудование, высоковольтные источники питания, детекторы и электронное оборудование), что может вызвать задержки в реализации проекта. Кроме того, не исключен риск задержки строительства по вине подрядчика.

* 1. Участвующие лаборатории ОИЯИ
  2. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Организация | Страна | Город | Участники | Тип соглашения |
| ИТЭФ | Россия | Москва | Кулевой Т.В. + 4 чел. | Совместные работы |
| НИЯУ МИФИ" |  | Москва | Полозов С.М. + 3 чел. | Совместные работы |
| ЦВТД |  | Москва | Гучкин А.С. Ушаков А.М. | Совместные работы |
| ИЯИ РАН |  | Москва, Троицк | Фещенко А.В. | Совместные работы |
| ИПФ РАН |  | Нижн. Новгород | Голубев С.В. + 5 чел. Литвак А.Г. | Совместные работы |
| ИЯФ СО РАН |  | Новосибирск | Логачев П.В. + 5 чел. | Совместные работы |
| ВНИИЭФ |  | Саров | Юхимчук А.А. + 3 чел. | Совместные работы |
| ВНИИТФ |  | Снежинск | Мамаев И.В. + 3 чел. | Совместные работы |
| ИАП РАН |  | С.-Петербург | Явор М.И. + 2 чел. | Совместные работы |
| НИИЭФА |  | С.-Петербург | Сычевский С.Е.  Строкач А.П.+ 12 чел. | Совместные работы |
| CU | Египет | Гиза | Самман Х.Э. | Совместные работы |
| MU |  | Шибин-эль-Ком | Озман Х.А. | Совместные работы |
| ИЯФ | Казахстан | Алма-Ата | Батырбеков Э.Г. + 3 чел. | Совместные работы |
| АФ РГП ИЯФ |  | Астана | Здоровец М.В. + 3 чел.  Колобердин М.В. | Совместные работы |
| ЕНУ |  | Астана | Кутербеков .А. | Совместные работы |
| NRC NUM | Монголия | Улан-Батор | Зузаан П. | Совместные работы |
| INS "VINCA" | Сербия | Белград | Беличев П.  Вуевич В.  Петрович С. | Совместные работы |
| IMP CAS | Китай | Ланьчжоу | Ган З. + 6 чел. | Договор |
| iThemba LABS | ЮАР | Сомерсет-Уэст | Барк Р.  Махатхини Л.  Мира Дж.  Mlungisi Nkosi+ 3 pers.  Rudolph Nchodu  Le Roux Strydom +3 pers. | Совместные работы |
| NMU |  | Gqeberha | Smith Farouk | Collaboration |
| SU |  | Stellenbosch | Barnard A. + 2 pers. | Collaboration |
| VUT |  | Vanderbijlpark | Abou el Hossein Khaled | Collaboration |

* 1. **Организации-соисполнители** (те сотрудничающие организации/партнеры без финансового, инфраструктурного участия которых выполнение программы исследований по теме невозможно. Пример — участие ОИЯИ в экспериментах LHC в CERN).

1. Кадровое обеспечение
   1. Кадровые потребности в течение первого года реализации

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №№ п/п | Категория работника | Основной персонал, сумма FTE | Ассоциированный персонал, сумма FTE |
| 1. | научные работники | 15.6 |  |
| 2. | инженеры | 15.2 |  |
| 3. | специалисты | 1.5 |  |
| 4 | рабочие | 3.0 |  |
|  | Итого: | **35.3** |  |

* 1. Доступные кадровые ресурсы
     1. **Основной персонал ОИЯИ** (общее количество участников)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№№**  **п/п** | **Категория работников** | **Подразделение** | **Должность** | **Сумма FTE** |
| 1. | научные работники |  |  |  |
|  |  | ЛЯР | начальник сектора | 2 |
|  |  |  | начальник группы | 0.4 |
|  |  |  | С.н.с. | 2.4 |
|  |  |  | Н.с. | 4 |
|  |  |  | М.н.с. | 6.8 |
| 2. | инженеры |  | Заместитель главного инженера | 0.3 |
|  |  |  | начальник отдела | 1.1 |
|  |  |  | Заместитель начальника отдела | 0.3 |
|  |  |  | начальник отделения | 0.3 |
|  |  |  | начальник бюро | 0.4 |
|  |  |  | начальник установки | 0.5 |
|  |  |  | начальник службы | 0.3 |
|  |  |  | Вед.инженер | 2 |
|  |  |  | Ст.инженер | 4.8 |
|  |  |  | инженер | 4 |
|  |  |  | Ст.лаборант | 0.8 |
|  |  |  | Ст.техник | 0.4 |
| 3. | специалисты |  | ведущий инженер по охране труда | 0.3 |
|  |  |  | специалист по работе с документами | 0.6 |
|  |  |  | ведущий инженер | 0.6 |
| 4. | рабочие |  |  |  |
|  |  |  | механик | 0.4 |
|  |  |  | Ст. техник | 0.8 |
|  |  |  | слесарь механосборочных работ | 1.5 |
|  |  |  | механик экспериментальных стендов и установок | 0.3 |
|  | **Итого:** |  |  | **35.3** |

* + 1. Ассоциированный персонал ОИЯИ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №№ п/п | Категория работников | Организация-партнер | Сумма FTE |
| 1. | научные работники |  |  |
| 2. | инженеры |  |  |
|  | Итого: |  |  |

1. Финансовое обеспечение
   1. Полная сметная стоимость КИП

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №№ п/п | Наименование работ | Стоимость | Расходы в год (тыс. долл. США) | | | | | | |
| 1-й год | 2-й год | 3-й год | 4-й год | 5-й год | 6-й год | 7-й год |
| 1. | Международное сотрудничество (МНТС) | 490 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 2. | Материалы | 13 300 | 1100 | 1300 | 1100 | 1300 | 1400 | 3400 | 3700 |
| 3. | Оборудование и услуги сторонних организаций | 35 500 | 5110 | 4410 | 4700 | 4140 | 4940 | 6000 | 6200 |
| 4. | Пуско-наладочные работы | 240 | 30 | 30 | 40 | 30 | 30 | 40 | 40 |
| 5. | Услуги научно-исследовательских организаций | 360 | 60 | 60 | 60 | 30 | 30 | 60 | 60 |
| 6. | Приобретение программного обеспечения | 280 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 7. | Проектирование/строительство | 18 000 | 9000 | 8000 | 1000 | - | - | - | - |
| 8. | Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ВСЕГО: | | **68 170** | **15 410** | **13 910** | **7 010** | **5 610** | **6 510** | **9 610** | **10 110** |  |

4.2. Внебюджетные источники финансирования

В рамках темы предполагается финансирование со стороны соисполнителей/заказчиков в следующем объеме (указать суммарно по проектам).

СОГЛАСОВАНО:

Главный ученый секретарь Института Директор лаборатории

/ Неделько С.Н. / /Сидорчук С.И./

“ “ 2023 г. “ “ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г.

Руководитель ДБиЭП Ученый секретарь лаборатории

/ Калинин Н.В. / / Карпов А.В,/

“ “ 2023 г. “ “ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г.

Руководитель ДНОД Экономист лаборатории

/ / /Мамонова Т.В./

“ “ 2023 г. “ “ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г.

Руководитель ДКиД Руководители КИП

/ Колганова Е.А. / / Калагин И.В./

“ “ 2023 г. “ “ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г.

/ Сидорчук С.И./

“ “ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г.

Руководители подпроекта ( )

/ Попеко А.Г./ “ “ \_\_\_\_\_\_\_2023 г.

/Калагин И.В./ “ “ \_\_\_\_\_\_\_2023 г.

Руководитель подпроекта ( )

/ Еремин А.В. / “ “ 2023 г.