**УТВЕРЖДАЮ**

**Директор Института**

**/ /**

**“ “ 2023** **г.**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОТКРЫТИЯ ПРОЕКТА**

**ПО НАПРАВЛЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ**

**1. Общие сведения о проекте**

**1.1. Шифр темы** 03-5-1130-2017

**1.2. Шифр проекта** -

**1.2. Лаборатория ядерных реакций**

**1.3. Научное направление:** физика тяжелых ионов

**1.4. Наименование проекта:** Исследование тяжелых и сверхтяжелых элементов

**1.5. Руководители проекта:** М.Г. Иткис, А.В. Карпов

**1.6. Заместитель(и) руководителя проекта:** нет

**2. Научное обоснование и организационная структура**

**2.1. Аннотация**

В 2020 году в ОИЯИ был введен в эксплуатацию ускорительный комплекс нового поколения – «Фабрика сверхтяжелых элементов (Фабрика СТЭ)». В связи с этим в ОИЯИ открылись уникальные возможности для проведения экспериментов по изучению ядерных, атомных и химических свойств тяжелейших элементов периодической таблицы Д.И. Менделеева.

В 2020-2023 гг. были проведены первые эксперименты на Фабрике сверхтяжелых элементов ОИЯИ. Выполнена серия экспериментов по синтезу изотопов 115 (московия) и 114 (флеровия) элементов в реакциях 243Am+48Ca и 242Pu+48Ca соответственно. Было показано, что Фабрика кратно превосходит по возможностям все существующие в мире установки, что определяет широкие перспективы продолжения исследований сверхтяжелых ядер.

Проект направлен на комплексное исследование тяжелейших ядер и атомов: постановка экспериментов по синтезу элементов с Z=119 и 120, синтез новых изотопов сверхтяжелых элементов, исследование ядерных (спектроскопия) и химических свойств сверхтяжелых элементов, изучение динамики ядерных реакций, включая реакции многонуклонных передач, ведущих к образованию нейтроноизбыточных тяжелых ядер.

**2.2. Научное обоснование (**цель, актуальность и научная новизна, методы и подходы, методики, ожидаемые результаты, риски)

Эксперименты, проведенные в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова (ЛЯР ОИЯИ) на протяжении 20 лет на сепараторе DGFRS, привели к открытию области сверхтяжелых элементов. Впервые были синтезированы шесть сверхтяжелых элементов от 113 до 118. Были изучены радиоактивные свойства около 55 новых, наиболее тяжелых изотопов элементов от Lr до Og, измерены сечения их образования в реакциях 48Са с мишенными ядрами изотопов различных актинидных элементов.

Наибольшие сечения реакций, около 10-15 пб, наблюдались для изотопов элементов Fl и Mc, но существенно напали с увеличением порядкового номера элементов и составили около 4, 2.5 и 0.5 пб для более тяжелых элементов Lv, Ts и Og соответственно. Продолжение исследований сверхтяжелых ядер и синтез новых, более тяжелых элементов 119 и 120 потребовал значительного повышения чувствительности эксперимента, поскольку сечения их образования могут быть еще на порядок ниже, чем для Og.

|  |
| --- |
|  |
| **Рис. 1** Циклотрон ДЦ-280 Фабрики СТЭ |

Для продолжения исследований сверхтяжелых ядер в ЛЯР ОИЯИ был создан новый экспериментальный комплекс - Фабрика сверхтяжелых элементов (Фабрика СТЭ), базовым ускорителем которого является циклотрон ДЦ-280 (Рис. 1), где интенсивность ускоренных частиц превышает интенсивность существующего циклотрона У-400 в 10 раз. Первой экспериментальной установкой для синтеза и изучения сверхтяжелых ядер стал новый газонаполненный сепаратор DGFRS-2 (Дубненский газонаполненный сепаратор ядер) с увеличенной в два раза, по сравнению с DGFRS, эффективностью сбора ядер на детекторах и более высокими коэффициентами подавления фоновых частиц. Тем не менее, общее повышение чувствительности исследований не делает задачу синтеза новых элементов и более глубокого изучения сверхтяжелых ядер рутинной, поскольку сечения образования элементов 119 и 120 могут составлять десятки и даже единицы фемтобарн.

Дальнейшее развитие исследований тяжелейших ядер и атомов будет вестись в трех основных направлениях: синтез новых элементов с Z>118; расширение области известных изотопов сверхтяжелых элементов; исследования ядерных и атомных (химических) свойств СТЭ.

**Синтез и изучение характеристик распада сверхтяжелых ядер**

Исследование нейтронодефицитных сверхтяжелых ядер позволяет оценить масштаб влияния нейтронных оболочек *N*=162 и 184 на их стабильность, получить новые данные о свойствах ядер и вероятности из образования в реакциях. Одним из возможных способов продвижения к границам стабильности при отходе от острова стабильности может быть синтез новых изотопов СТЭ при испускании большего числа нейтронов, что возможно при увеличении энергии пучка 48Ca. Такие эксперименты также интересны с точки зрения исследования функции возбуждения в широком интервале энергий возбуждения, что, в частности, дает возможность более надежной оценки барьеров деления. Использование пучков ионов с меньшим числом нейтронов может быть еще одним способом исследования контуров острова стабильности.

Также планируется выполнить эксперименты с нейтронодефицитными мишенями. Так, для синтеза и изучения ядер с нечетным числом протонов будут использованы реакции:

1. 241Am(48Ca,2-5n)284-287Mc. Эта реакция является перекрестной для синтеза элемента 119 в реакции 243Am(54Cr,3-4n)293,294119 285,286Mc, что необходимо для надежной идентификации изотопов 293,294119.

2. 231Pa(48Ca,3-5n)274-276Rg. В этой реакции могут быть получены новые изотопы 275,276Rg и их дочерние ядра 281,282Mt, 268Bh и 264Db, может впервые наблюдаться распад из области сверхтяжелых ядер в область известных ядер 267Bh, а также синтезирован известный изотоп 274Rg, который был ранее получен в реакции холодного слияния.

Исследование ядер с четным числом протонов будет продолжено в реакциях 48Ca с легкими изотопами урана: 233U(48Ca,3-4n)277,278Cn и 235U(48Ca,3-4n)279,280Cn. Продуктами этих реакций являются новые изотопы 278-280Cn, 274Ds. Может быть также синтезирован известный изотоп 277Cn, который был ранее получен в холодном слиянии, более детально изучены свойства ядер 273,275,276Ds и продуктов их -распада.

В результате этой серии экспериментов могут быть существенно расширены систематики сечений реакций актинидов с 48Ca, энергий -распада ядер, периодов спонтанного деления и -распада ядер.

Другой актуальной задачей является продвижение к еще более тяжелым изотопам СТЭ. Их синтез возможен в реакциях с 48Ca несколькими способами:

1. использование более нейтронообогащенных мишеней (например, 250,251Cf);

2. поиск событий образования испарительных остатков в каналах с испусканием меньшего числа нейтронов (одного-двух);

3. поиск каналов выживания с испусканием протона и нейтронов. При этом особо большую перспективу по увеличению числа нейтронов в ядре-остатке имеют реакции с мишенями 248Cm и 244Pu;

4. регистрация событий образования изотопов СТЭ после электронного захвата, предсказываемого теорией, но еще не наблюдавшегося экспериментально в области ядер, близких к острову стабильности.

**Синтез новых сверхтяжелых элементов**

Одной из важнейших задач семилетки 2024-2030 гг. является синтез изотопов новых элементов 119 и 120. Для ее решения необходимо перейти от реакций с 48Ca к более тяжелым частицам 50Ti и 54Cr. Как следует из результатов ряда экспериментов и расчетов, сечения образования изотопов новых элементов могут быть на 1-2 порядка ниже сечения образования самого тяжелого из известных изотопов 294Og. К настоящему времени нет экспериментальных данных по сечениям реакций частиц 50Ti и 54Cr с ядрами актинидных элементов. Для оценки масштаба падения сечений с этими частицами необходима серия экспериментов по синтезу более легких ядер. К таким реакциям относятся:

1. 244Pu(50Ti,3-4n)290,291Lv и/или 238U(50Ti,3-4n)284,285Fl. Измерение сечений этих реакций позволит более точно оценить вероятности образования изотопов новых элементов 119 и 120 в реакциях 249Bk и 249−251Cf с частицами 50Ti.

2. 238U(54Cr,3-4n)288,289Lv. Изучение реакции необходимо для определения возможностей синтеза новых элементов 119 и 120 в реакциях 243Am и 248Cm с частицами 54Cr. В реакции могут быть синтезированы новые изотопы 288,289Lv, распад которых ведет к известным ядрам 284,285Fl.

Для синтеза нового элемента 119 рассматриваются три реакции:

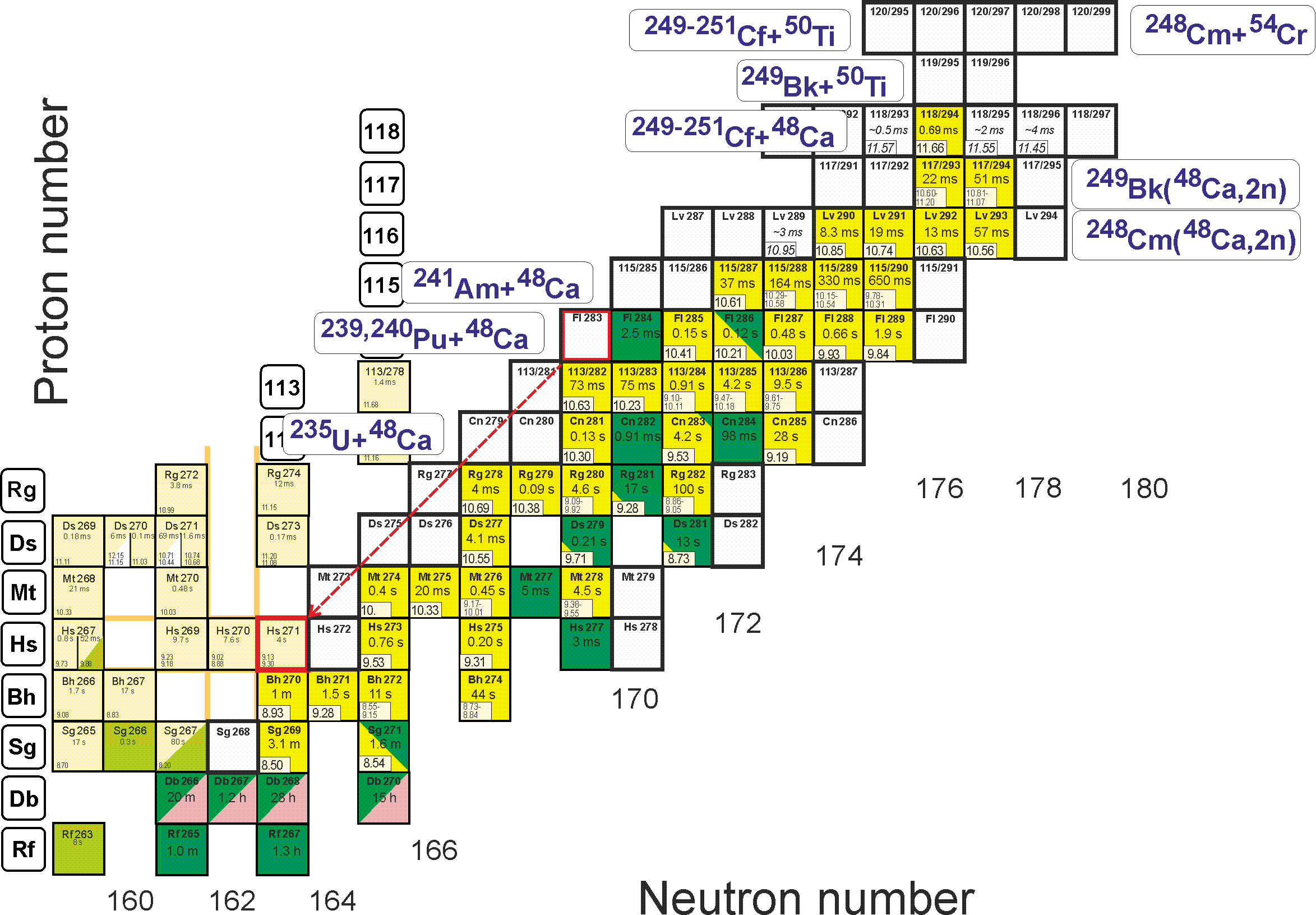
1. 249Bk(50Ti,3-4n)295,296119. Их -распад ведет к неизвестным ядрам 291,292Ts, но свойства распада их дочерних ядер 287,288Мс хорошо известны, что гарантирует надежную идентификацию изотопов 295,296119.

2. 243Am(54Cr,3-4n)293,294119. В реакции могут быть получены более легкие изотопы 293,294119. После их -распада образуются неизвестные ядра 289,290Ts, но свойства ядер в цепочке распада дочернего ядра 286Мс были недавно измерены, а свойства 285Мс могут быть установлены после изучения реакции 241Am+48Ca.

Таким образом, все перечисленные реакции позволяют однозначно идентифицировать изотопы нового элемента 119 (см. Рис. 2).

Для синтеза нового элемента 120 могут быть использованы следующие реакции: 249–251Cf+50Ti или 245,246,248Cm+54Cr. Окончательный выбор реакции для синтеза элемента 120 будет сделан как исходя из результатов предварительных экспериментов, так и из доступности мишеней и достигнутых интенсивностей необходимых пучков. Продуктами 3n и 4n каналов реакций с указанными мишенными изотопами являются ядра 295,296120, 296,297120 и 298,299120 соответственно. Их -распады приводят к известным изотопам 270–273Hs или более тяжелых ядер элементов – Ds, Cn, Fl, Lv, Og. Ряд пока неизвестных изотопов могут быть синтезированы и идентифицированы в экспериментах с легкими изотопами урана 233U(48Ca,3-4n)277,278Cn и 235U(48Ca,3-4n)279,280Cn.

Соответственно, идентификация всех перечисленных изотопов элемента 120 будет однозначной и основана на перекрестных реакциях и ранее установленных свойствах дочерних ядер.



**Рис. 2.** Верхняя часть карты ядер. Открытыми квадратами показаны некоторые новые изотопы СТЭ, которые могут быть синтезированы на Фабрике СТЭ.

**Спектроскопия радиоактивного распада тяжелых и сверхтяжелых ядер**

В последние годы, с развитием экспериментальных методов физики тяжелых ионов, область ядер тяжелее фермия (Z ≥ 100) стала доступна для спектроскопии. В ЛЯР ОИЯИ исследование характеристик радиоактивного распада тяжелых и сверхтяжелых ядер могут проводиться на фильтре скоростей SHELS (ускорительный комплекс У-400), а также на газонаполненном сепараторе GRAND Фабрики СТЭ, введенном в эксплуатацию в 2022 г. (рис. 3).

|  |
| --- |
|  |
| **Рис. 3** Сепаратор GRAND (ГНС-3). |

Реализуемая в ЛЯР научно-исследовательская программа существенно расширяет представление о свойствах ядерной материи в области тяжелейших, преимущественно нейтронодефицитных, ядер. Измерения парциальных периодов полураспада, энергии распада и изучение изомерии тяжелых ядер дают ценную информацию для развития моделей строения ядра и оценки границ существования ядерных систем. Изучение характеристик спонтанного деления и структуры ядер тяжелее фермия (до 257Db), выполненное ранее на сепараторе SHELS, позволило получить новые данные о ядрах с числом нейтронов от 149 до 155, расположенных вблизи деформированной нейтронной подоболочки *N* = 152. Эксперименты, которые можно проводить на сепараторе GRAND, дают возможность вплотную подойти к изучению структуры ядер вблизи подоболочки *N* = 162, что позволит с большей надежностью экстраполировать полученные данные в область изотопов сверхтяжелых элементов.

Данные исследования направлены, во-первых, на изучение характеристик радиоактивного распада, определение положения низколежащих энергетических уровней, определение изомерных состояний ядер. Созданные в ЛЯР экспериментальные комплексы сепараторов SHELS и GRAND в комбинации с детектирующей системой GABRIELA, включающей в себя 5 «клеверных» детекторов из сверхчистого германия, позволяют с рекордной эффективностью регистрировать альфа-, гамма-распады, пополняя данные о структуре тяжелейших ядер.

Во-вторых, ведется изучение спонтанного деления тяжелых ядер. В рамках этого направления, фундаментальный интерес представляют выходы мгновенных нейтронов деления, определение сечений реакций полного слияния, приводящих к образованию спонтанно делящихся ядер, стабильность ядер по отношению к спонтанному делению (парциальные периоды полураспада) по отношению к другим видам распада (альфа-, бета-распад). Для исследований в этой области используется комбинированная детектирующая система SFiNX, в которой фокальный многостриповый полупроводниковый детектор окружен сборкой из 114 нейтронных счетчиков.

Во время реализации данного Проекта (2024-2028 гг.) описываемые исследования будут в основном выполняться на сепараторе GRAND Фабрики СТЭ из-за остановки ускорителя У-400 на модернизацию. При этом планируется выполнить ряд работ по развитию узлов и систем сепаратора SHELS: разработка нового мишенного узла с увеличенной выходной апертурой, модернизация систем диагностики пучка, тесты детектирующих систем с использованием цифровой системы сбора данных. Ожидается, что результатом этих работ будет существенное увеличение трансмиссии (до 50%) сепаратора SHELS при переходе в область ассиметричных реакций «горячего» слияния (Ne,Mg + Th,U,Pu), позволяющих изучать трансфермиевые ядра в области деформированной подоболочки *N*=162.

Экспериментальный комплекс Фабрика СТЭ позволит проводить эксперименты по спектрометрии ядер с Z > 110. Эксперименты по синтезу изотопов флеровия (Z = 114), выполненные на сепараторе ГНС-2, показали, что выход сверхтяжелых ядер может составлять несколько событий в сутки. В 2024-2028 годах мы планируем выполнить ряд пионерских экспериментов по спектроскопии сверхтяжелых ядер. Первые эксперименты будут направлены на исследование ядер 286,287Fl и 288Mc, получаемых при облучении мишеней из 242Pu и 243Am высокоинтенсивными пучками ионов 48Ca с сечением несколько пикобарн. Возможности Фабрики СТЭ позволяют синтезировать указанные изотопы в количествах, достаточных для получения спектрометрической информации. Среди важнейших вопросов следует выделить измерение спектра низколежащих коллективных состояний, несущих прямую информацию о деформации ядер – одной из ключевых характеристик ядра.

**Измерение масс сверхтяжелых ядер**

Измеренные в экспериментах энергии альфа-частиц, испускаемых при радиоактивном распаде СТЭ, дают разность масс материнского и дочернего ядер вдоль этих цепочек распадов с точностью около 30 кэВ (некоторая дополнительная неопределенность измеряемой величины энергии альфа-распада может быть связна с тонкой структурой альфа-распада для нечетных и нечетно-нечетных ядер). Прямое экспериментальное определение массы даже одного ядра в цепочке распадов, если оно производится с точностью, близкой к 30 кэВ, позволит определить массы всех ядер в этой цепочке распада. Следует подчеркнуть, что теоретически предсказанные массы обычно имеют неопределенность по меньшей мере на порядок больше. Таким образом, экспериментальное определение масс сверхтяжелых ядер с точностью порядка 10-7 (30 кэВ), обеспечат прочную основу для дальнейшего совершенствования теоретических моделей масс.

В течение 2020-2022 годов в коллаборации с Институтом аналитического приборостроения (г. Санкт-Петербург) был разработан эскизный проект многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра, удовлетворяющего указанным выше требуемым характеристикам по точности измерения масс. Его создание планируется в ЛЯР ОИЯИ в течение семилетки 2024-2030 гг. Спектрометр должен быть установлен на Фабрике СТЭ после сепаратора GRAND и криогенной газовой ловушки. В рамках данного Проекта (в 2027-2028 гг.) планируется выполнить первые эксперименты с использованием нового масс-спектрометра.

**Исследование химических свойств СТЭ**

Важнейшая задача ядерной химии в исследовании СТЭ – выделение радиоизотопов СТЭ из сложной смеси продуктов ядерных реакций, химическая идентификация и изучение их свойств радиохимическими методами. Изучение химических свойств СТЭ (Z = 112-118) имеет важное фундаментальное значение для понимания структуры Периодической таблицы и выполнения Периодического закона Д.И. Менделеева. Предсказание поведения новых элементов и их химическая идентификация, проводимые на основе аналогий и закономерностей в Периодической таблице, существенно осложняются из-за усиления влияния релятивистских эффектов в области сверхтяжелых атомов на их электронную структуру и, как следствие, на их свойства.

В настоящее время актуальным направлением исследований в химии трансактинидных элементов является экспериментальное изучение летучести и инертного поведения Cn, Nh и Fl (Z = 112-114) – самых тяжелых элементов доступных сегодня экспериментально. Результаты квантово-химических расчетов и пионерских термохроматографических экспериментов, проведенных в ЛЯР, показывают сильные отличия в поведении Fl и его ближайшего гомолога свинца. Это может свидетельствовать об аномально сильном влиянии релятивистских эффектов на электронную структуру атомов Fl, что приводит к его устойчивому элементарному состоянию, а возможно и его оксида при стандартных условиях. Эти исследования будут продолжены на модернизируемой установке «Криогенный детектор» после нового физического сепаратора GRAND (2024-2026 гг).

Особый интерес представляет химия элементов тяжелее Fl, т.е. элементов с атомными номерами 115-118, изучение которых классическими методами радиохимии существенно затрудняется низкими сечениями ядерных реакций синтеза и малыми периодами полураспада их изотопов (менее 0,1 с), что требует разработки новых подходов и установок.

Дальнейшее развитие исследований связано с созданием в ЛЯР экспериментальной базы – сверхпроводящего сепаратора GASSOL на основе газонаполненного соленоида, криогенной газовой ионной ловушки и новой химической установки. Создание в ЛЯР сепаратора GASSOL нацелено на исследования химических свойств нуклидов с временами жизни существенно меньше секунды. Первые эксперименты по изучению ионов Mс и, возможно, Lv планируются на 2027-2028 гг.

Изучение химических свойств сверхтяжелых элементов также требует проведения теоретических квантово-химических расчетов. Эти расчеты призваны не только помочь в планировании экспериментов и интерпретации их результатов, но и сделать вывод о тех свойствах СТЭ, которые на настоящий момент недоступны для прямого измерения. К таким свойствам относится способность атомов образовывать химические соединения, например, оксиды и гидроксиды. Результаты расчетов показывают, что энергия адсорбции оксидов FlO и CnO на золоте в два-три раза превышает энергию адсорбции атомарных коперниция и флеровия. Аналогично, энергия адсорбции NhOH на кварце выше, чем для атомарного нихония. Изменение условий эксперимента и сопоставление экспериментальных данных по адсорбции с теоретическим расчетом даст возможность также доказать либо опровергнуть возможность образования этих соединений в камере сбора ядер отдачи.

Крайне актуальной остается задача проведения модельных экспериментов с ультрамикроколичествами ближайших легких гомологов СТЭ (элементов 6 периода) для изучения особенностей применения хроматографического метода и развиваемых подходов при переходе к «химии одного атома». Для этого создается система облучения по наработке радиоизотопов Hg, Tl, Pb, Bi, At, Rn и др. на ускорителе У-400М. В модельных экспериментах с этими элементами будут проведены методологические разработки на уровне единичных атомов и выбраны перспективные химические реакции синтеза оксидов, гидроксидов, гидридов и прочих соединений, исходя из условий оптимальности выхода и равновесности предлагаемых систем.

Связанными с этим направлением будут исследования, направленные на разработку «мокрых» методов радиохимического выделения радиоизотопов, получаемых в реакциях многонуклонных передач или при изучении ядерных реакций с малыми выходами. Наиболее интересными в этом направлении представляются эксперименты по химической идентификации нового изотопа 264Lr с периодом полураспада около 5 ч. образующегося в результате альфа-распада 268Db. Изучение химических свойств дубния с его радионуклидом 268Db имеют самостоятельный интерес. Период полураспада 268Db около 16 ч и сечение реакции 243Am(48Ca,3*n*)288Mc, в которой происходит его образование имеют наивысшие значения среди всех изотопов СТЭ, что в сочетании с доступностью мишенного материала потенциально делает уникальными постановку исследований с этим радионуклидом.

Продолжится разработка методов изготовления ускорительных актинидных мишеней от Th до Cf для синтеза СТЭ, устойчивых к длительному облучению интенсивными пучками тяжелых ионов.

**Динамика ядерных реакций с тяжелыми ионами**

Реакции с тяжелыми ионами характеризуются сильным перекрытием нескольких конкурирующих каналов реакции, а именно: квазиупругое рассеяние, глубоконеупругие столкновения, квазиделение, слияние-деление и слияние-выживание. Эксперименты, которые планируется провести на модернизированном циклотроне У400Р, будут направлены на изучение механизмов реакций, а также на использование различных реакционных каналов в качестве метода получения и изучения новых ядер. При изучении реакций мы в основном сосредоточимся на изучении конкуренции процессов слияния-деления и квазиделения, а также на изучении реакций многонуклонных передач (МНП), которые рассматриваются как альтернативный и перспективный путь получения новых (особенно нейтронно-избыточных) ядер. В последнем случае ключевыми характеристиками реакций являются сечения (см. Рис. 4), угловые (см. Рис. 5, как пример предсказываемой сильной чувствительности угловых распределений к энергии реакции, а также к интересующему выходному каналу) и энергия распределения и т. д. Еще одно важная возможность, которую необходимо реализовать, — возможность регистрации бинарных и тройных (последовательное деление одного из осколков) выходных каналов. Это даст доступ к ядрам, получаемым при большом числе переданных нуклонов, которые в основном делятся (разница между пунктирной линией и жирной сплошной линией на Рис. 4). В качестве следующего шага можно изучить свойства распада (спектроскопия распада) новых ядер, образующихся в реакциях МНП. Особый интерес представляет область нейтроноизбыточных изотопов трансурановых и даже трансфермиевых элементов.

|  |
| --- |
|  |
| **Рис. 4.** Расчетные сечения для различных ядер, образуемых в столкновениях 238U+238U при энергии пучка 7 МэВ/нуклон, вплоть до 1 мкб. Штриховая кривая показывает уровень сечения 1μb для первичных (возбужденных) продуктов, а сплошные линии соответствуют конечным (выжившим) продуктам реакции. |

Изучение конкуренции процессов полного синтеза и квазиделения является важной задачей ядерной физики, позволяющей, в частности, оценить сечение синтеза сверхтяжелых элементов. Поскольку квазиделение, вероятно, можно наблюдать уже для достаточно легких систем с Z1Z2 ≈700, крайне важно измерить все возможные каналы, как для реакций, приводящих к образованию тяжелых и сверхтяжелых систем, так и для реакций с легкими и средними ядрами. Для оценки сечения процесса слияния-деления и более точного выделения осколков деления составного ядра необходимо измерить сечение остатков испарения. Измерения сечений образования остатков испарения, слияния-деления и квазиделения позволят установить эту зависимость и провести более глубокий теоретический анализ динамики изучаемой реакции. Крайне важно провести эти измерения в одном эксперименте при одних и тех же значениях энергии взаимодействия.

|  |
| --- |
| *E*c.m.=420 MeV MeV  450 MeV MeV  643 MeV MeVMeV |
| **Рис. 5.** Предсказываемые угловые распределения изотопов иридия, образующихся в реакции 136Xe+198Pt, при трех энергиях столкновения: Ec.m.=420, 450 и 643 МэВ. Толстые гистограммы соответствуют 203Ir126, а тонкие — расчеты для всех образующихся изотопов иридия. |

В период реализации проекта планируется:

1. Исследование оболочечных эффектов в реакциях многонуклонных передач с целью изучения возможности получения нейтроноизбыточных изотопов сверхтяжелых элементов в столкновениях актинидных ядер (реакции 238U+238U, 238U+248Cm).
2. Изучение свойств ядер вдоль нейтронной оболочки *N* = 126 также представляет большой интерес для понимания процессов астрофизического r-процесса, ответственного за нуклеосинтез наиболее тяжелых ядер (реакции 136Xe+176Yb, 198Pt, 238U+198Pt).

Во время модернизации ускорителя У-400 в У-400Р основной упор будет сделан на создание и развитие экспериментальных установок. Основной целью этих работ станет получение возможно полной информации об исследуемых реакциях, что предполагает одновременное измерение масс, атомных номеров, энергий и углов вылета продуктов реакции, а также характеристик сопутствующего излучения легких частиц (γ-квантов, нейтронов, α-частиц). Такой подход позволит дать более глубокое понимание особенностей протекания ядерных реакций с тяжелыми ионами, позволит уточнить параметры существующих теоретических моделей, описывающих динамику процесса взаимодействия тяжелых ионов, и расширить область их применения как по энергии взаимодействия ядер, так и по области рассматриваемых ядер.

Риски: поставки мишенных материалов и необходимое лицензирование, поставки материалов и оборудования, разработка технологий получения пучков ускоренных ионов 50Ti, 54Cr, 238U с высокой интенсивностью и стабильностью.

**2.3. Предполагаемый срок выполнения** 2024-2028 гг.

**2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ** ЛЯР

**2.4.1. Потребности в ресурсах МИВК**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вычислительные ресурсы** | **Распределение по годам** | | | | |
| 1 год | 2 год | 3 год | 4 год | 5 год |
| Хранение данных (ТБ)  - EOS  - Ленты | - | - | - | - | - |
| Tier 1 (ядро-час) | - | - | - | - | - |
| Tier 2 (ядро-час) | - | - | - | - | - |
| СК «Говорун» (ядро-час)  - CPU  - GPU | - | - | - | - | - |
| Облака (CPU ядер) | - | - | - | - | - |

**2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Организация** | **Страна** | **Город** | **Участники** | **Тип соглашения** |
| INRNE BAS | Болгария | София | Тонев Д. + 3 чел. | Протокол |
| GSI | Германия | Дармштадт | Дикель Т. | Совместные работы |
| GSI | Германия | Дармштадт | Першина В. | Совместные работы |
| MPIK | Германия | Гейдельберг | Блаум К. + 1 чел. | Протокол |
| IUAC | Индия | Нью-Дели | Мадхаван Н. + 4 чел. | Совместные работы |
| MU | Индия | Манипал | Гупта М. + 5 чел. | Совместные работы |
| VECC | Индия | Калькутта | Тилак Гош Кумар + 3 чел. | Совместные работы |
| IIT Ropar | Индия | Рупнагар | Синх П.П. + 5 чел. | Совместные работы |
| IIT Roorkee | Индия | Рурки | Маити М. + 5 чел. | Совместные работы |
| Unina | Италия | Неаполь | Вардачи Э. + 2 чел. | Совместные работы |
| ИЯФ | Казахстан | Алма-Ата | Бутербаев Н. +3 чел. | Соглашение,Совместные работы |
| ИЯФ | Казахстан | Алма-Ата | Алимов Д.К. + 3 чел. | Соглашение |
| IMP CAS | Китай | Ланьчжоу | Лю З. + 4 чел. | Протокол |
| IMP CAS | Китай | Ланьчжоу | Ган З. + 6 чел. | Совместные работы |
| IMP CAS | Китай | Ланьчжоу | Чин Ж. + 1 чел. | Совместные работы |
| ЦГЛ | Монголия | Улан-Батор | Балжинням Н. + 3 чел. | Соглашение |
| ГНЦ НИИАР | Россия | Димитровград | Тузов А.А. + 5 чел. | Совместные работы |
| ИФТП | Россия | Дубна | Смирнов А.А. + 2 чел. | Соглашение |
| ИНЭОС РАН | Россия | Москва | Трифонов А.А. | Договор |
| МГУ | Россия | Москва | Калмыков С.Н. + 3 чел. | Соглашение |
| НИИЯФ МГУ | Россия | Москва | Еременко Д.О. + 3 чел. | Соглашение |
| НИЦ КИ | Россия | Москва | Алиев Р.А. + 1 чел. | Совместные работы |
| ИЯИ РАН | Россия | Троицк | Жуйков Б.Л. + 1 чел. | Соглашение |
| ИАП РАН | Россия | С.-Петербург | Явор М.И. + 8 чел. | Совместные работы |
| РИ | Россия | С.-Петербург | Хлебников С.В. + 2 чел. | Совместные работы |
| СПбГУ | Россия | С.-Петербург | Шабаев В.М. + 3 чел. | Совместные работы |
| ФТИ им. А.Ф.Иоффе | Россия | С.-Петербург | Еремин В.К. + 1 чел. | Совместные работы |
| ВНИИЭФ | Россия | Саров | Завьялов Н.В. + 5 чел. | Совместные работы |
| IFIN-HH | Румыния | Бухарест | Борча К. + 2 чел. | Совместные работы |
| CU | Словакия | Братислава | Анталиц С. + 2 чел. | Совместные работы |
| PSI | Швейцария | Виллиген | Айхлер Р. + 5 чел. | Совместные работы |
| iThemba LABS | ЮАР | Сомерсет-Уэст | Д. Принц | Совместные работы |

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

**Нет**

**3. Кадровое обеспечение**

**3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№№ п/п** | **Категория работника** | **Основной персонал, сумма FTE** | **Ассоциированный персонал, сумма FTE** |
| 1. | научные работники | 41 | - |
| 2. | инженеры | 21.2 | - |
| 3. | специалисты | ~~-~~ | ~~-~~ |
| 4. | служащие | ~~-~~ | ~~-~~ |
| 5. | рабочие | ~~-~~ | ~~-~~ |
|  | **Итого:** | **62.2** | **-** |

**3.2. Доступные кадровые ресурсы**

**3.2.1. Основной персонал ОИЯИ**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№№ п/п** | **Категория работников** | **ФИО** | **Подразделение** | **Должность** | **Сумма FTE** |
|  | научные работники | Дмитриев Сергей Николаевич | Дирекция ОИЯИ | Вице-директор Института |  |
|  | научные работники | Еремин Александр Владимирович | ЛЯР | Заместитель директора лаборатории по научной работе |  |
|  | научные работники | Попеко Андрей Георгиевич | ЛЯР | Заместитель директора лаборатории |  |
|  | научные работники | Утенков Владимир Климентьевич | ЛЯР | Начальник сектора |  |
|  | научные работники | Свирихин Александр Игоревич | ЛЯР | Начальник сектора |  |
|  | научные работники | Аксенов Николай Викторович | ЛЯР | Начальник сектора |  |
|  | научные работники | Козулин Эдуард Михайлович | ЛЯР | Начальник сектора |  |
|  | научные работники | Воинов Алексей Анатольевич | ЛЯР | Начальник группы |  |
|  | научные работники | Малышев Олег Николаевич | ЛЯР | Начальник группы |  |
|  | научные работники | Попов Юрий Анатольевич | ЛЯР | Начальник группы |  |
|  | научные работники | Мадумаров Александр Шавкатович | ЛЯР | Начальник группы |  |
|  | научные работники | Сабельников Алексей Валентинович | ЛЯР | Начальник группы |  |
|  | научные работники | Бодров Александр Юрьевич | ЛЯР | Начальник группы |  |
|  | научные работники | Родин Александр Михайлович | ЛЯР | Начальник группы |  |
|  | научные работники | Субботин Владимир Георгиевич | ЛЯР | в.н.с. |  |
|  | научные работники | Изосимов Игорь Николаевич | ЛЯР | в.н.с. |  |
|  | научные работники | Чепигин Виктор Иванович | ЛЯР | с.н.с. |  |
|  | научные работники | Сокол Евгений Александрович | ЛЯР | с.н.с. |  |
|  | научные работники | Божиков Господин Апостолов | ЛЯР | с.н.с. |  |
|  | научные работники | Княжева Галина Николаевна | ЛЯР | с.н.с. |  |
|  | научные работники | Крупа Любош | ЛЯР | с.н.с. |  |
|  | научные работники | Абдуллин Фарид Шамильевич | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Поляков Александр Николаевич | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Цыганов Юрий Сергеевич | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Сагайдак Роман Николаевич | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Халешаппа Маллигенхалли Девардж | ЛЯР | н.с. Постдок |  |
|  | научные работники | Иткис Юлия Михайловна | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Рачков Владимир Александрович | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Сатьян Санила | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Сайко Вячеслав | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Саламатин  Владимир Степанович | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Чернышева Елена Владимировна | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Когоут Павел | ЛЯР | н.с. |  |
|  | научные работники | Шумейко Максим Владимирович | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Коврижных Никита Дмитриевич | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Соловьев Дмитрий Игоревич | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Ибадуллаев Дастан | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Исаев Андрей Владимирович | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Кузнецова Алена Алексеевна | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Тезекбаева Мерейгуль | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Астахов Андрей Алексеевич | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Пищальникова Елизавета Васильевна | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Альбин Юрий Валерианович | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Абдусамадзода Далер | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Новиков Кирилл Владимирович | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Богачев Алексей Анатольевич | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Веденеев Вячеслав Юрьевич | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Новоселов Алексей Сергеевич | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Когоутова Алена | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | научные работники | Опихал Антонин | ЛЯР | м.н.с. |  |
|  | инженеры | Кузнецов Дмитрий Анатольевич | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Сайлаубеков Бекзат | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Мухин Роман Станиславович | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Чупраков Илья | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Бубликова Наталья Сергеевна | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Гольцман Андрей Иванович | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Савельева Екатерина Олеговна | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Куркова Наталья Юрьевна | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Абакумов  Алексей Михайлович | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Петрушкин Олег Викторович | ЛЯР | ведущий инженер |  |
|  | инженеры | Челноков Максим Львович | ЛЯР | ведущий инженер |  |
|  | инженеры | Стародуб Геннадий Яковлевич | ЛЯР | ведущий инженер |  |
|  | инженеры | Рыхлюк Ангелина Васильевна | ЛЯР | ведущий инженер |  |
|  | инженеры | Козулина Нина Ивановна | ЛЯР | ведущий инженер |  |
|  | инженеры | Подшибякин Александр Владимирович | ЛЯР | ведущий инженер |  |
|  | инженеры | Востокин Григорий Константинович | ЛЯР | старший инженер |  |
|  | инженеры | Воронюк Марина Геннадьевна | ЛЯР | старший инженер |  |
|  | инженеры | Пчелинцев Иван Валерьевич | ЛЯР | старший инженер |  |
|  | инженеры | Воробьев Игорь Владимирович | ЛЯР | старший инженер |  |
|  | инженеры | Гуляев Александр Валерьевич | ЛЯР | старший инженер |  |
|  | инженеры | Юхимчук Сергей Аркадьевич | ЛЯР | старший инженер |  |
|  | инженеры | Комаров Александр Борисович | ЛЯР | старший инженер |  |
|  | инженеры | Тихомиров Роман Сергеевич | ЛЯР | старший инженер |  |
|  | инженеры | Зубарева Алла Михайловна | ЛЯР | Инженер-электроник |  |
|  | инженеры | Вакатов Виктор Иванович | ЛЯР | Инженер-электр.2 кат. |  |
|  | инженеры | Катрасев Денис Евгеньевич | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Муравьев Игорь Витальевич | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Поробанюк Лидия Сергеевна | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Красноярова Елена Витальевна | ЛЯР | инженер |  |
|  | инженеры | Гуляева Анна Владимировна | ЛЯР | инженер |  |
|  | **Итого:** |  |  |  | **62.2** |

**3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№№ п/п** | **Категория работников** | **Организация-партнер** | **Сумма FTE** |
| 1. | научные работники | - | - |
| 2. | инженеры | - | - |
| 3. | специалисты | - | - |
| 4. | рабочие | - | - |
|  | **Итого:** | **-** | **-** |

**4. Финансовое обеспечение**

**4.1. Полная сметная стоимость проекта**

Прогноз полной сметной стоимости (указать суммарно за весь срок, за исключением ФЗП).

Детализация приводится в отдельной форме.

**9 000 000 USD**

**4.2. Внебюджетные источники финансирования**

Предполагаемое финансирование со стороны соисполнителей/заказчиков — общий объем.

**Руководитель проекта** \_\_\_\_\_\_\_\_\_/Иткис М.Г./

**Руководитель проекта** \_\_\_\_\_\_\_\_\_/Карпов А.В./

Дата представления проекта в ДНОД \_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата решения НТС Лаборатории 11.03.2023, номер документа \_\_\_\_\_\_\_\_\_

Год начала проекта 2024

(для продлеваемых проектов) –– год начала работ по проекту \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления   
Проекта**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименования затрат, ресурсов,**  **источников финансирования** | | | **Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах** | **Стоимость,**  **распределение по годам** | | | | |
| 1 год | 2 год | 3 год | 4 год | 5 год |
|  | | Международное сотрудничество (МНТС) | 1 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Материалы | 3 000 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| Оборудование и услуги сторонних организаций  (пуско-наладочные работы) | 6 000 | 1 200 | 1 200 | 1 200 | 1 200 | 1 200 |
| Услуги научно-исследовательских организаций | - | - | - | - | - | - |
| Приобретение программного обеспечения | 175 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Проектирование/строительство | - | - | - | - | - | - |
| Сервисные расходы (*планируются в случае прямой принадлежности к проекту)* | - | - | - | - | - | - |
| **Нормо-час** | Ресурсы |  |  |  |  |  |
| **Необходимые ресурсы** | **Нормо-час**  **Бюджетные средства** | сумма FTE, |  | 62.2 | 62.2 | 62.2 | 62.2 | 62.2 |
| * ускорителя/установки, |  |  |  |  |  |  |
| * реактора,….. | - | - | - | - | - | - |
| * Бюджет ОИЯИ *(статьи бюджета)* | ст. 4 - 1250  ст. 5,6 – 9000  ст. 11 – 175 |  |  |  |  |  |
| **Источники финансирования** | **Внебюджет (доп. смета)** | Вклады соисполнителей  Средства по договорам  с заказчиками  Другие источники финансирования | - | - | - | - | - | - |
| **Внебюджет (доп. смета)** |  | - | - | - | - | - | - |

Руководитель проекта \_\_\_\_\_\_\_\_\_/Иткис М.Г./

Руководитель проекта \_\_\_\_\_\_\_\_\_/Карпов А.В./

Экономист Лаборатории \_\_\_\_\_\_\_\_\_/Мамонова Т.В./

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА**

НАИМЕНОВАНИЕ ПРОЕКТА: ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА

ШИФР ПРОЕКТА

ШИФР ТЕМЫ: 03-5-1130-2024

ФИО РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА: ИТКИС М.Г., КАРПОВ А.В.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | |
| СОГЛАСОВАНО |  |  |  | |
| ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | С.Н. Дмитриев | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ИНСТИТУТА | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | С.Н. Неделько | \_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | Б.Н. Гикал | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | С.И. Сидорчук | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | И.В. Калагин | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ЛАБОРАТОРИИ  РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | А.В. Карпов  С.И. Сидорчук | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА  \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| РУКОВОДИТЕЛИ ПРОЕКТА | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | М.Г. Иткис | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | А.В. Карпов | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ОДОБРЕН ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |