**Приложение 1.**

***Форма открытия (продления) Темы /***

***Крупного инфраструктурного проекта***

**УТВЕРЖДАЮ**

**Вице-директор Института**

**/**

**“ “ \_\_\_ 2023 г.**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОТКРЫТИЯ / ПРОДЛЕНИЯ**

**ТЕМЫ / КРУПНОГО ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЕКТА**

**ПО НАПРАВЛЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ**

**1. Общие сведения о теме / крупном инфраструктурном проекте (далее КИП)**

**1.1. Шифр темы / КИП** (для продлеваемых тем) — *шифр темы включает дату открытия, дата окончания не указывается, т. к. она определяется сроками завершения проектов в теме.*

**Нейтронная ядерная физика**

**1.2. Лаборатория**

**ЛНФ**

**1.3. Научное направление**

**Ядерная физика**

**1.4. Наименование темы / КИП**

**Нейтронная ядерная физика**

**1.5. Руководитель(и) темы / КИП**

**Ю.Н.Копач, П.В.Седышев, В.Н.Швецов**

**1.6. Заместитель(и) руководителя темы / КИП**

**2. Научное обоснование и организационная структура**

**2.1. Аннотация**

Ядерно-физические исследования с нейтронами традиционно являются одним из приоритетных направлений, развиваемых в ОИЯИ. На сегодняшний день эти исследования проводятся в рамках научной темы «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» (03-4-1128-2017/2023). Комплексное использование базовых установок ЛНФ – импульсного источника резонансных нейтронов ИРЕН, импульсного реактора ИБР-2 и электростатического генератора ЭГ-5, а также установки ТАНГРА - позволяет проводить ядерно-физические исследования в широком диапазоне энергий нейтронов – от холодных нейтронов до ~20 МэВ, а использование внешних источников нейтронов, таких как n\_TOF (ЦЕРН), позволяет расширить диапазон энергий до нескольких сот МэВ.

Работы и исследования в рамках темы направлены на реализацию задач, сформулированных в предложениях в Семилетний план развития ОИЯИ 2024-2030 по направлению «Ядерная физика». Физические исследования можно разделить на три направления:

* исследование нарушений фундаментальных симметрий во взаимодействиях нейтронов с ядрами, получение ядерных данных;
* исследование фундаментальных свойств нейтрона, физика ультрахолодных и очень холодных нейтронов;
* прикладные и методические исследования.

Научная программа темы «Нейтронная ядерная физика» будет реализовываться в рамках трех проектов: двух научных («*Исследование взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона*» и «*ТАНГРА*») и одного научно-технического («*Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры*»). Работы по *разработке концепции источника УХН на импульсном реакторе* планируются выделить в отдельную активность.

**2.2. Проекты в теме / подпроекты КИП**

1. Исследование взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона.
2. Разработка и развитие метода меченых нейтронов для определения элементной структуры вещества и изучения ядерных реакций (проект ТАНГРА).
3. Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры.

**2.3. Научное обоснование** (не более 20 страниц)

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

Научная программа темы «Нейтронная ядерная физика» будет реализовываться в рамках следующих проектов:

«*Исследование взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона*»,

«*ТАНГРА*»,

«*Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры*». Работы по *разработке концепции источника УХН на импульсном реакторе* планируются выделить в отдельную активность.

В рамках проекта «*Исследование взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона»* будут решаться следующие задачи:

* Изучение свойств нейтронных резонансов, поиск и исследование эффектов нарушения четности и эффектов, указывающих на нарушение Т-инвариантности.
* Всестороннее исследование процесса деления ядер: изучение TRI и ROT эффектов в делении; измерение массово-энергетических и угловых распределений осколков, мгновенных нейтронов и гамма-квантов; измерения запаздывающих нейтронов и гамма-квантов; поиск редких и экзотических мод деления (четверное и пятерное деление; деление на три осколка сравнимой массы).
* Исследование индуцированных нейтронами реакций с вылетом заряженных частиц.
* Получение данных для ядерной энергетики и астрофизики: измерение интегральных и дифференциальных нейтронных сечений, угловых корреляций  в области энергии от холодных нейтронов до сотен МэВ.

Планируется возобновление измерений угловых корреляций и выходов гамма-квантов для уже известных p-волновых резонансов в различных ядрах. Также планируется измерение характеристик p-волновых резонансов, в том числе с целью последующей проверки соответствия распределений этих характеристик стандартным статистическим моделям; исследование эффектов интерференции как p- и s-волновых резонансов, так и s-волновых резонансов друг с другом, с выходом за пределы упрощённого приближения изолированных брейт-вигнеровских резонансов; изучение характеристик «отрицательных» s-волновых резонансов, проявляющихся в интерференции с р-волновыми резонансами, близкими к тепловой точке; поиск новых T-неинвариантных эффектов.

Исследования угловых распределений гамма-квантов будут начаты на неполяризованных нейтронах, и, впоследствии, будут развиваться путем добавления поляризации нейтронов, спиновой ориентации ядер-мишеней и измерений наблюдаемых в упругом канале взаимодействия нейтронов с ядрами, в том числе полных сечений взаимодействия. Для резонансов на ядрах актинидов в число измеряемых величин могут быть также включены наблюдаемые в канале деления.

Эксперименты по измерению формально Т-нечетных TRI и ROT эффектов в делении, проводимые на высокопоточных реакторах ИЛЛ (Гренобль) и FRM-II (Гархинг), будут продолжены в ОИЯИ на пучке поляризованных нейтронов реактора ИБР-2. В 2018 г. впервые удалось провести измерение ROT-эффекта для гамма-квантов в делении 235U в низколежащем резонансе 0,3 эВ. Полученные результаты согласуются с теорией, однако для дальнейшего изучения квантово-механических свойств процесса деления целесообразно продолжение этих работ с целью получения данных для более высоколежащих резонансов, а также для других ядер. В частности, в качестве кандидатов было предложены ядра 241Am и 245Cm. Несмотря на большую длительность импульсов реактора ИБР-2, разрешающая способность времяпролетной методики позволяет на пролетных базах порядка 15-30 м разрешать низколежащие резонансы до нескольких электронвольт. Дальнейшие работы могут быть продолжены на внешних источниках нейтронов, таких как nTOF (ЦЕРН) CSNS (Китай) или ESS (Швеция).

Будут продолжены работы по измерению сечений реакций (n,p), (n,α) на различных изотопах. Эксперименты имеют значение как для фундаментальной ядерной физики, так и для ядерной астрофизики (уточнение параметров глобального α-частичного потенциала, используемого в расчетах различных астрофизических сценариев). В астрофизике сечения реакции (n,α) очень важны для понимания нуклеосинтеза элементов. Предполагается, что большинство элементов тяжелее железа производятся при захвате нейтронов и бета-распадах (s- и r– процессы), тогда как редкие протон-избыточные изотопы – в основном в реакциях с заряженными частицами (p-процесс). Измерения реакции (n,α) необходимы для лучшего понимания s-процесса в случае легких ядер, а для тяжелых – конструирование α-частичного потенциала, используемого для расчетов реакций, происходящих в p-процессе. Постановка экспериментов возможна на ИРЕН (En=th-100 кэВ); электростатических ускорителях ЭГ-5 ЛНФ, ЭГ-4.5 ПКУ, Пекин (En=3-6 МэВ); тандем ускоритель HI-13 CIAE, Пекин (En=8-11 МэВ) и CSNS в Китае.

Исследование свойств мгновенных нейтронов деления (МНД) представляет огромный интерес для общего понимания процесса деления и распределения энергии возбуждения между фрагментами деления (ФД) в частности. Исследования МНД в реакциях деления при низких энергиях проводятся в ОИЯИ на протяжении более 20 лет. Основным объектом этих исследований являлись МНД в реакциях 252Cf(sf) и 235U(nres,f) в области разрешенных резонансов. В реакции 235U(nres,f) наблюдались флуктуации в массовых и энергетических распределениях ФД в зависимости от энергии резонансных нейтронов.

В рамках темы планируется исследование корреляций между вариациями множественности МНД и массово энергетических распределений (МЭР) в делении, индуцированном резонансными нейтронами. Выполнение экспериментов планируются на канале №2 ИРЕН с помощью установки ЭНГРИН, созданной в 2021-23 гг и состоящей из 32 модулей нейтронных детекторов с жидким сцинтиллятором BC501, торцы детекторов расположены на поверхности сферы диаметром 1000 мм и с центром, совпадающим с центром ионизационной камеры (ИК). Величина геометрической эффективности регистрации МНД равна 0.18. В качестве спектрометра фрагментов деления может быть использована позиционно-чувствительная ионизационная камера, позволяющая измерение кинетических энергий, масс фрагментов деления и ориентации оси деления (углов оси деления по отношению к осям декартовой системы координат с началом в центре ИК). При этом ось пучка нейтронов проходит через геометрический центр ИК, а нейтронные детекторы располагаются компактно вокруг оси пучка нейтронов. Исследования МНД и МЭР предъявляют противоположные требования к делящейся мишени: в первом случае целесообразно использовать сравнительно толстую мишень для увеличения выхода нейтронов. Во втором же необходима тонкая мишень, обеспечивающая выход из нее осколков деления и возможность их раздельной регистрации. Таким образом, исследования корреляций вариаций полной кинетической энергии с МНД удобно разделить на два эксперимента: в первом эксперименте измеряются вариации МНД с «толстой» мишенью, а корреляции массово-энергетических распределений и множественности МНД измеряются с тонкой мишенью и позиционно-чувствительной ионизационной камерой.

В рамках деятельности по изучению физики ультрахолодных и очень холодных нейтронов (УХН и ОХН) можно выделить три основных направления: исследование квантовых явлений в нейтронной оптике; исследование взаимодействия медленных нейтронов с алмазными наночастицами и исследование взаимодействия холодных нейтронов с интеркалированным графитом.

Планируется продолжить работы по изучению нестационарной дифракции на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Современная техника рефлектометрических экспериментов позволяет с высокой точностью измерять в геометрии отражения угловое распределение и абсолютные амплитуды дифрагированных волн как первого, так и более высоких порядков. Измерения будут проведены для широкого набора образцов, в которых возбуждаются как бегущие, так и стоячие поверхностные волны. При этом предполагается, что частоты волн могут достигать величин порядка Гигагерц, а передаваемая нейтронам энергия будет достигать величины порядка 4 мкэВ. Передача нейтронам такой большой энергии в результате нестационарного воздействия ранее не наблюдалась.

Проведение такого рода экспериментов позволит также получить ответы еще на два важных вопроса: о времени отражения нейтронных и рентгеновских волн в условиях превышения углом скольжения критического угла полного внутреннего отражения, а также о справедливости общепринятых законов нейтронной оптики в случае больших ускорений (порядка 108 g).

Помимо исследования нестационарной дифракции на ПАВ в рамках предлагаемой темы предполагается предпринять работы, направленные на развитие нейтронной спиновой интерферометрии (НСИ) с ультрахолодными нейтронами (УХН). Физическая основа явления тесно связана с квантовой картиной прецессии спина в присутствии как постоянного магнитного поля, так и возмущающего потенциала, с которым нейтрон взаимодействует. Технически речь идет о создании миниатюрного спин-эхо спектрометра УХН, что представляет собой довольно трудную задачу.

Планируется использование развитой методики НСИ как для фундаментальных исследований, так и для создания новых методов прикладных исследований. В частности, для измерения времени взаимодействия нейтрона с квантовыми объектами планируется использовать метод ларморовских часов. Этот метод был предложен в качестве теоретического приема вычисления времени рассеяния нейтрона, а много позже возможность его практического применения была продемонстрирована в экспериментах с холодными нейтронами. Поскольку чувствительность метода пропорциональна кубу длины волны, использование УХН в такого рода экспериментах откроет совершенно новые экспериментальные возможности.

Для извлечения нейтронов из нейтронных источников, например активной зоны реактора, часто используются отражатели нейтронов, которые позволяют значительно (в некоторых случаях многократно) поднять интенсивность нейтронных пучков, доступных для проведения научных исследований. Однако, в настоящее время эффективных отражателей холодных нейтронов в мире нет. Одним из инновационных решений, предложенных сотрудниками ЛНФ ОИЯИ в сотрудничестве с коллегами из ИЛЛ, является разработка отражателей нейтронов на основе порошков детонационных наноалмазов (ДНА). Применение таких отражателей наиболее эффективно для нейтронов в диапазоне энергий от ~0,3 мкэВ до ~5,0 мэВ.

В результате комплексных исследований, проведенных с участием сотрудников ЛНФ, были разработаны технологии и методы, позволившие существенно улучшить качество порошков ДНА: понизить концентрации загрязнителей, уменьшающих альбедо нейтронов и примесей, которые активируются в интенсивных нейтронных полях. Чтобы снизить содержание химически связанного водорода в 30 раз (источника основных потерь ОХН и ХН), был предложен и реализован метод замещения с поверхности наноалмазов атомов водорода на атомы фтора, не изменяющий структуру порошка и отдельных наночастиц. Были также проведены процедуры структурных изменений ДНА: разбиение больших кластеров ДНА на отдельные наночастицы (деагломерация) и сепарация ДНА по размерам. Все перечисленные модификации порошков ДНА потенциально должны улучшить альбедо наноалмазных отражателей ОХН и ХН.

Целью работ по исследованию взаимодействия холодных нейтронов с интеркалированным графитом является создание перспективного отражателя холодных нейтронов. В их основе лежит факт того, что брегговское рассеяние на кристалле возможно только в случае, если длина волны излучения не превышает двойного расстояния между кристаллическими плоскостями. Обычно в природных кристаллах межплоскостное расстояние не превышает ~2 Å, поэтому нейтроны с длиной волны более ~4 Å перестают на них рассеиваться. Именно благодаря этому свойству такие нейтроны выделяются в отдельную группу, называемую холодными нейтронами. Однако, можно создавать искусственные кристаллы с кратно большим межплоскостным расстоянием. Обычно при их производстве в качестве основы используется монокристалл графита и между его кристаллическими плоскостями внедряются атомы другого вещества, раздвигающие их. Таким образом получается интеркалированный графит, который может эффективно рассеивать холодные нейтроны. Однако, такие кристаллы не являются в достаточной мере радиационно-стойкими, чтобы их можно было использовать вблизи активной зоны реактора.

Недавно появилась технология внедрения между плоскостями графита цельной плоскости (или двух плоскостей) атомов фтора. Такой материал представляется перспективным в качестве отражателя холодных нейтронов, который можно использовать в сильных полях ионизирующего излучения. Исследование такого материала является одним из потенциальных направлений деятельности.

В рамках прикладных исследований планируется продолжение работ по мониторингу качества воздуха и состояния водных объектов стран-участниц ОИЯИ, используя целый ряд аналитических методов, в частности нейтронный активационный анализ на установке РЕГАТА реактора ИБР-2. Также будет развивается направление нанотоксикология, где в качестве объектов исследования будут использованы микроорганизмы, растения и животные. Особое внимание будет уделено разработке методов очистки вод и почв, а также оценке качества продуктов питания.

Будет продолжено использование ядерных и комплементарных методов для изучения монументальной живописи, строительных материалов прошлого, археологических артефактов, экологических, геологических и иных образцов. Для проведения массового многоэлементного нейтронного активационного анализа будут использованы возможности установки ИРЕН и реактора ИБР-2. Элементный состав по короткоживущим изотопам будут определять с применением пневмотранспортной системы РЕГАТА-2 на установке ИРЕН. Облучение образцов для элементного анализа по средне- и долгоживущим изотопам будут проводить с помощью установки на 3-м канале реактора ИБР-2, а также непосредственно на поверхности замедлителя установки ИРЕН. Кроме того, для полностью неразрушающего активационного анализа на мгновенных гамма квантах будут использовать канал 11б реактора ИБР-2.

Кроме того, для определения элементного состава будет использован рентгенофлуоресцентный анализ. Планируется применение взаимодополняющих методов инфракрасной и рамановской спектроскопии, оптической и поляризационной микроскопии, химического микроанализа, других методов и подходов.

В рамках темы запланированы методические работы по определению потенциальных возможностей проведения гамма-активационного анализа с применением пневмотранспортной системы РЕГАТА-2 и активационного анализа на мгновенных гамма квантах на 6-м канале установки ИРЕН, а также создание соответствующих методик.

*Проект «ТАНГРА»* посвящен решению фундаментальных и прикладных задач с применением метода меченых нейтронов (ММН). Суть этого подхода (в английской литературе используется также термин API-method (Associated Particles Imaging)) состоит в регистрации продуктов нейтрон-ядерной реакции в совпадениях с α-частицей, образующейся в реакции:

d +3Н → 4He (3.5МэВ)  + n (14.1МэВ).                                     (1)

В  силу закона сохранения импульса продукты этой реакции разлетаются практически в противоположных направлениях и поэтому, зная направление импульса α-частицы, можно с хорошей точностью определить направление вылета нейтрона. «Мечение» нейтронов  осуществляется с помощью позиционно-чувствительного α-детектора,  встроенного в портативный нейтронный генератор. Регистрируя сигналы с детекторов вторичного излучения в совпадении со срабатываниями α-детектора, можно разделять полезные и фоновые события, а также оценивать координаты точки, в которой произошла нейтрон-ядерная реакция. При этом, в зависимости от используемой конфигурации детекторных систем и алгоритмов обработки данных, подавление фона может достигать 200 раз по сравнению с экспериментом без мечения нейтронов.

Областью интереса проекта являются ядерные реакции, происходящие под действием нейтронов с энергией около 14 МэВ. Актуальность исследования этих процессов обусловлена появлением компактных нейтронных генераторов, позволяющих создавать установки для быстрого элементного анализа различных веществ, которые будут востребованы в различных областях промышленности (металлургия, производство минеральных удобрений), обеспечении безопасности (анализ потенциально опасных объектов), геологоразведке (анализ образцов) и сельском хозяйстве (анализ химического состава почв). К настоящему моменту одним из основных препятствий к широкому применению данных устройств является отсутствие релевантной базы данных по сечениям излучения характеристических γ-линий ядрами различных элементов. Доступные сейчас данные такого рода изобилуют неточностями и неполны.

Помимо информации о спектрах γ-квантов, востребованы сведения и об их угловых распределениях, необходимые, с одной стороны, для точного моделирования ядерно-физических экспериментов и оптимизации геометрии установок для элементного анализа с целью увеличения их эффективности. Угловые корреляции (n,γ) и (n,n’,γ) полезны для понимания свойств и механизмов ядерных реакций. Следует отметить, что используемые в настоящее время нейтронные генераторы способны производить достаточно интенсивный поток нейтронов, что позволяет использовать эти устройства для получения востребованных современной ядерной физикой и астрофизикой ядерных данных по реакциям (*n,n’*), (*n,p*), (*n,a*) и (*n,2n*) при сравнительно небольших финансовых затратах. Успешное решение задач по исследованию этих реакций способно существенно продвинуть как понимание о механизмах и процессах, происходящих при взаимодействии быстрых нейтронов с ядрами, так и улучшить точность моделирования ядерно-физических установок.

В рамках темы планируется реализация проекта «Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры». В результате его выполнения будут существенно улучшены параметры ускорителя, обновлена инфраструктура ускорительного комплекса, начато развитие установок неразрушающего элементного и структурного анализа различных объектов

**Цель проекта:** обеспечение технической возможности для реализации научной программы ПТП ОИЯИ по исследованию реакций с быстрыми квазимоноэнергетическими нейтронами, процессов взаимодействия ускоренных заряженных частиц с веществом, развитие ядерно-физических методов исследования элементного состава с использованием методов ионно-лучевого анализа, неупругого взаимодействия нейтронов с веществом и, решение задач нейтронного радиационного материаловедения, реализация практических приложений нейтронной физики; обеспечение технической возможности для реализации уникальных опций микропучкового спектрометра и перестраиваемого мощного квазимоноэнергетического нейтронного генератора на два энергетических диапазона (12 - 800 кэВ, 3,3-5,1 МэВ).

**Задачи проекта.** Основной технической задачей Проекта является восстановление диапазона энергий ускоренных частиц: 900 кэВ - 4,1 МэВ и повышение тока ионного пучка до 100-250 мкА при сохранении энергетической стабильности ионного пучка на уровне не хуже 15 эВ, обеспечение пространственной стабильности ионного пучка, достаточной для реализации опции микропучкового спектрометра / ядерного микрозонда. Основной организационной задачей является закладка и развитие кадрового потенциала для обеспечения полноценного выполнения цели проекта в перспективе минимум 3х семилеток.

В задачи проекта также входит усовершенствование основных систем электростатического ускорителя заряженных частиц ЭГ-5, создание на его базе нейтронного источника, позволяющего изучать нейтрон-ядерные реакции и выполнять исследование различных объектов ядерно-физическими методами. Также в его рамках планируется развитие комплементарных экспериментальных методик для исследования элементного состава и физических свойств приповерхностных слоев твердых тел. Уникальное свойство одноступенчатого ускорителя – высокая энергетическая стабильность (свыше 0,01%) ионного пучка позволяет с очень высокой точностью проводить исследования элементного состава поверхностных слоев материалов и обусловливает возможность создания на основе ЭГ-5 уникального микропучкового спектрометра с диаметром пучка менее 1мкм. Такие пучки не могут быть получены, например, на популярных сейчас перезарядных ускорителях — тандетронах. В рамках предлагаемого проекта предполагается выполнить, при поддержке ИЯФ им Будкера (г. Новосибирск), работы по замене устаревшей и утратившей работоспособность высоковольтной системы (ВЧ-источник ионов и ускорительная трубка), провести обновление и автоматизацию сервисных систем ускорителя, запустить нейтронный генератор, модернизировать комплекс ионно-лучевых спектрометров и развить комплементарную методологическую базу.

**План модернизации комплекса установок на базе ЭГ-5 предусматривает следующие работы:**

* 1. Замена ускоряющей трубки, резистивного делителя и ионного источника, выполнение сопутствующих сервисных работ.
  2. Автоматизация и оптимизация систем управления ускорителем, вакуумной и вентиляционной систем, замена источника питания анализирующего магнита.
  3. Создание нейтронного источника на базе ЭГ-5.
  4. Монтаж оборудования для подготовки и исследования образцов ионно-лучевыми методами, монтаж лаборатории и внедрение комплементарных исследовательских методик

В результате реализации проекта модернизации ускорителя ЭГ-5 ОИЯИ получит надежный компактный экономичный многофункциональный прибор для проведения уникальных научных исследований (глубинное элементное профилирование / картирование, радиационная стойкость материалов к потокам нейтронов, протонов, исследование гелиевой пористости, процессов деградации полупроводниковых переходов и др.) и технологических операций (ионная имплантация / резка, химическая модификация и кристаллохимический дизайн, наработка изотопов, мутагенез и др.). Будет реализована опция мощного оперативно перестраиваемого источника монохроматичеких нейтронов в диапазоне от тепловых (12 кэВ) до быстрых (3,3 - 5,5МэВ) нейтронов.

После завершения этого проекта программа модернизации ускорительного комплекса будет продолжена, для чего предполагается открытие в будущем двух дополнительных проектов внутри рассматриваемой темы. В рамках проекта «Глубокая модернизация ускорителя ЭГ-5» (2027-2028гг.) будет проведена замена зарядной ленты каскадным умножителем. Затем, при выполнении проекта «Ядерный микрозонд в ЛНФ ОИЯИ» (2029-2030гг.) при поддержке ИЯФ им Будкера будет реализована опция микропучкового спектрометра (2027-2030гг).

Модернизированный ускоритель будет оснащен мощным современным СВЧ - ионным источником с оптоволоконной системой управления, ускорительной трубкой с улучшенными ионно-оптическими характеристиками, компьютерной системой управления и по уровню рабочих характеристик (энергия ускоряемых частиц 4,1 МэВ при токе пучка до 200 мкА) будет соответствовать современным приборам данного класса.

Глубокая модернизация электростатического ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры обеспечит проведение в OИЯИ исследований реакций с быстрыми квазимоноэнергетическими нейтронами, возможность работы с биологическими объектами Будет в разы повышена производительность и разрешающая способность имеющихся ионно-лучевых спектрометров (RBS, ERDA, NRA, PIXE). Экспериментальная база будет дополнена комплементарными методами исследования электрических, оптических и электронных свойств поверхности (эллипсометрия, импедансная спектроскопия).

**Активность:** «Разработка концепции источника УХН на импульсном реакторе»

Целью данной активности является создание концептуального проекта источника ультрахолодных нейтронов (УХН) на импульсном реакторе. Таковым может быть являться как имеющийся в ЛНФ реактор ОИЯИ ИБР-2М так и проектируемый реактор НЕПТУН.

С момента открытия УХН в в мире появился целый ряд интенсивных источников УХН и ведется сооружение еще нескольких из них. В Дубне источник УХН отсутствует, что в значительной степени связано с особенностями реактора ИБР-2М. Его средняя мощность 2 МВт относительно мала для создания источника УХН непрерывного действия, а частота повторения 5 Гц слишком велика для того, чтобы можно было аккумулировать нейтроны, рожденные в каждом отдельном импульсе. Однако импульсный поток тепловых нейтронов этого реактора очень велик, поскольку интервал между импульсами в сотни раз превышает их длительность.

Особенностью будущего источника УХН в ОИЯИ является импульсный режим наполнения ловушки, при котором нейтроны поступают в нее только во время импульса, а остальное время ловушка остается изолированной. Практическое осуществление этой идеи затруднено тем обстоятельством, что из-за наличия биологической защиты ловушка оказывается удаленной от замедлителя, в котором генерируются УХН, и должна быть соединена с ним транспортным нейтроноводом. При этом разброс времен пролета транспорта может значительно превышать интервалы между импульсами, лишая смысла саму идею накопления. Для решения этой проблемы в работе предлагалось использовать специальное устройство — временную линзу, дозированно меняющее энергию нейтронов по мере их прихода в эту линзу. Такое устройство позволяет восстановить импульсную структуру нейтронного пучка непосредственно перед входом в ловушку. О первом опыте практической реализации этой идеи сообщалось в.

В последнее время идея импульсного наполнение ловушки УХН является предметом интенсивного обсуждения в литературе. В результате появился значительный набор идей и предложений, которые могут быть положены в основу проекта нового источника УХН.

Целью работ в рамках «Активности» является формулировка концепции источника УХН на импульсном реакторе на основе анализа как уже сформулированных, так и некоторых новых идей касающихся транспорта УХН, эволюции длительности нейтронных сгустков, и формирования оптимальной временной структуры сгустков на входе в ловушку. Предполагается, что конечный спектр УХН на входе в ловушку будет сформирован путем замедления ОХН.

Основные задачи, выполнение которых планируется в рамках предлагаемой активности:

1. Необходимо произвести сравнительный анализ принципиально различных методов замедления.
2. Необходимо проанализировать несколько возможных подходов к созданию импульсного затвора на входе в ловушку, обладающего необходимым быстродействием и надежностью и минимально воздействующего на плотность хранящихся в ловушке нейтронов. Опыт создания таких затворов отсутствует.
3. Будет проведен анализ возможных вариантов конвертера-замедлителя УХН обеспечивающего наибольшую плотность потока УХН при нужной длительности импульса.

Результатом научной деятельности в рамках предлагаемой активности будет формулировка концепции интенсивного источника УХН на импульсных реакторах ОИЯИ. Основной целью работы является создание в ОИЯИ источника УХН с параметрами, соответствующими современному мировому уровню.

**Ожидаемые научные результаты:**

* Уточнение характеристик известных резонансов, обнаружение ранее неизвестных. Измерение сечений реакций и корреляций продуктов в резонансной области с точностью, достаточной для исследования P- и T-нечетных эффектов.
* Выполнение экспериментов по исследованию TRI и ROT эффектов в делении, измерению массово-энергетических и угловых распределений осколков, мгновенных нейтронов и гамма-квантов; поиску редких и экзотических мод деления, как с использованием ИБР-2, так и сторонних источников.
* Проведение экспериментальных и теоретических исследований нейтрон-ядерных реакций в широком диапазоне энергий налетающих частиц.
* Исследование картины нестационарной дифракции нейтронов на поверхностных акустических волнах. Проверка справедливости общепринятых законов нейтронной оптики в случае больших ускорений.
* Развитие моделей расчета транспорта ОХН и ХН в материале наноалмазных отражателей и расширение области их применимости на диапазон тепловых нейтронов.
* Изучение структуры графитов после их интеркалирования и измерение сечений рассеяния холодных нейтронов интеркалированными графитами.
* Получение данных для ядерной энергетики и астрофизики: измерение интегральных и дифференциальных нейтронных сечений, угловых корреляций  в области энергии от холодных нейтронов до сотен МэВ.
* Изучение радиационной стойкости различных материалов, в том числе, перспективных для применения в качестве отражателей и замедлителей нейтронов. Исследование радиационной стойкости электронных компонентов, в том числе, работающих на новых физических принципах.
* Получение новых данных и мониторинг экологической обстановки в отдельных регионах стран-участниц ОИЯИ с помощью НАА.
* Исследование влияния нейтронного облучения на свойства живых объектов
* Исследование слоистых структур, в том числе, высокотемпературных сверхпроводников с помощью методик RBS, ERD и PIXE.
* Выполнение элементного анализа различных объектов культурного наследия.
* Выполнение экспериментов по исследованию угловых распределений рассеянных быстрых нейтронов
* Экспериментальное исследование (n,γ) и (n’,γ)-корреляций.
* Теоретическое описание исследуемых ядерных реакций.
* Проведение экспериментов по исследованию реакции (n,2n)

**Ожидаемые методические результаты:**

* Развитие методики нейтронной спиновой интерферометрии с УХН.
* Определение оптимальных технологий синтеза и модификаций веществ для использования в качестве отражателей УХН и ХН.
* Создание концепции интенсивного источника УХН на импульсных реакторах.
* Разработка методов очистки вод и почв, оценки качества продуктов питания.
* Изучение процессов накопления наночастиц в органах животных и растений, оценка их влияния на здоровье изучаемых живых объектов.
* Разработка методики неразрушающего элементного анализа на мгновенных гамма-квантах. Усовершенствование существующих методик активационного анализа на тепловых и резонансных нейтронах.
* Создание интенсивного источника быстрых нейтронов на базе ЭГ-5.
* Выполнение работ по созданию электроники и датчиков ионизирующих излучений на новых физических принципах.
* Заключение о применимости ММН для выполнения элементного анализа почв. В случае положительного результата — создание прототипов стационарной и мобильной установок, а также методических рекомендаций по их использованию для целей сельского хозяйства и экологического мониторинга.

Полученные в ходе реализации исследований в рамках предлагаемой темы фундаментальные результаты будут иметь важное значение для понимания механизмов нейтрон-ядерных реакций и развития теоретических представлений об этих процессах. Исследование P- и T-нечетных эффектов даст информацию о величине вклада слабого взаимодействия в ядерные силы и может служить альтернативным методом определения коэффициента смешивания Vud СКМ-матицы. Получение новой информации о ROT и TRI-эффектах, а также экзотических модах деления  позволит прояснить особенности одного из этапов этого процесса - разрыва делящегося ядра на фрагменты. Данные, полученные при выполнении нейтронно-оптической части проекта, будут необходимы для создания новых замедлителей и отражателей нейтронов. Кроме того, они позволят существенно продвинуться в разработке методов нейтронной микроскопии и исследованиях магнитной структуры различных объектов.

Выполнение прикладной программы проекта будет способствовать прогрессу экологических, материаловедческих, археологических и нанотехнологических исследований. Создаваемые и модернизируемые методики элементного и структурного анализа будут востребованы во многих отраслях человеческой деятельности.

**Риски**

**ССВУ анализ**

Выполнение работ по теме предполагается силами коллектива ОЯФ ЛНФ, имеющего большой опыт в изучении нейтрон-ядерных реакций и проведении прикладных исследований. В его состав входит как большое число молодых, так и более опытных сотрудников. Многие имеют степени кандидатов и докторов наук. В распоряжении коллектива имеется значительное число детекторов различных типов, позволяющих регистрировать практически любые продукты нейтрон-ядерных взаимодействий. Некоторое оборудование (детекторные сборки, ионизационные камеры, мишени для ускорителей, оцифровщики, устройства автоматизации) может быть создано силами коллектива. Это, бесспорно, является сильной стороной проекта.

В ходе программы исследований предполагается использование большого числа объектов научной инфраструктуры как ЛНФ ОИЯИ (ИБР-2, ИРЕН, ЭГ-5, ТАНГРА), так и сторонних организаций: n\_TOF (CERN), ЭГ-4.5 (Пекинский университет, Китай), ускорители HI-13 (CIAE, Китай), что может привести к рискам сокращения научной программы из-за изменений международной обстановки, что можно отнести к умеренно слабой стороне проекта. В то же время, значительная часть экспериментов может быть проведена на установках, имеющихся в ОИЯИ.

Установки, имеющиеся в ЛНФ, нуждаются в текущем ремонте, модернизации и сертификации, что может быть фактором, затрудняющим выполнение проекта. Тем не менее, к настоящему моменту отсутствуют значительные проблемы в приобретении критически необходимых компонентов для проведения ремонтных работ и проведения сертификации объектов научной инфраструктуры, поэтому в случае осложнений можно ожидать лишь замедления исследований.

Конструкция ускорителя ЭГ-5 хорошо подходит для решения поставленных задач (создание ядерного микрозонда и нейтронного генератора). В проекте будут в полной мере реализованы уникальные возможности ускорителя ЭГ-5, в частности, возможность получения большой величины тока ионного пучка (до 250 мкА) и его малого разброса (<10еВ), что не может быть реализовано на установках тандемного типа. Конструкция ускорителя ремонтопригодна, сравнительно проста. В ОИЯИ имеется вся необходимая производственная инфраструктура и материальная база (запчасти, жидкий азот, сервисные системы и т.д.), необходимые для поддержания своими силами работоспособности установки. Коллектив, выполняющий работы по проекту, в нем представлены как молодые и активные сотрудники, так и более опытные, возрастные, кадры. Это, бесспорно, является сильной стороной проекта. К умеренно слабым сторонам проекта можно отнести устаревшую конструкцию большого числа систем и возможность наличия не выявленных к настоящему моменту неисправностей, что несколько увеличит объем необходимых при модернизации работ.

При выполнении проекта «ТАНГРА» предполагается использовать достаточно хорошо отработанную технологию ММН. Используемые в качестве источников нейтронов D-T — генераторы сравнительно недороги и безопасны при правильной эксплуатации. Коллектив проекта высококвалифицирован, хоть и включает в себя значительное количество молодых (до 35 лет) специалистов. У коллектива есть в распоряжении оборудование, которого уже достаточно для выполнения минимальной программы исследований. Сотрудники, участвующие в проекте, имеют большой опыт исследования реакций типа (n,Xγ), реализуемость программы по изучению сечений излучения  γ-квантов в этих реакциях не вызывает сомнений при наличии возможности закупки всех планируемых к исследованию образцов.

К несущественным недостаткам используемой методики можно отнести конечный срок службы нейтронных генераторов. К рискам при разработке методик элементного анализа на базе ММН стоит причислить возможное существование трудноконтролируемых факторов, влияющих на получаемые результаты.

**2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ**

ЛИТ, ЛТФ, ЛЯП, ЛЯР, ЛФВЭ, ЛРБ

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

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Страна или**  **международная**  **организация** | **Город** | **Институт или**  **лаборатория** | **Участники** | **Статус** |
| Австралия | Мельбурн | Ун-т | Клейн А.Г. + 3 чел. | Совместные работы |
| Австрия | Инсбрук | Ун-т | Цайлингер + 1 чел. | Совместные работы |
| Азербайджан | Баку | БГУ | Гаджиева С.Р. | Совместные работы |
| ИГГ НАНА  ИРП НАНА | Гусейнов Д.А.  Самедов О.А. | Совместные работы |
| Совместные работы |
| Албания | Тирана | UT | Лазо П. + 3 чел. | Совместные работы |
| Армения | Ереван | НИЦИКН | Симонян А.Е.  Ханзатян Г.А. | Протокол |
| Беларусь | Минск | БГУ | Ксеневич В.К. + 2 чел. | Совместные работы |
| НИИ ЯП БГУ | Максименко С.А. + 2 чел. | Совместные работы |
| НПЦ НАНБ по материаловедению | Игнатенко О.В. + 3 чел. | Совместные работы |
| Германия | Майнц | JGU | Рис Д. | Совместные работы |
| Мюнхен | TUM | Кленке Й. Лауэр | Совместные работы |
| Грузия | Тбилиси | AIP TSU | Джапаридзе Г. + 4 чел. | Совместные работы |
| Сапожникова Н.А. | Протокол |
| TSU | Шетекаури Ш. + 5 чел. | Совместные работы |
| Египет | Александрия | Ун-т | Бадави М.С. + 3 чел. | Совместные работы |
| Гиза | CU | Шериф М. | Совместные работы |
| Каир | NRC | Ибрагим М. + 3 чел. | Совместные работы |
| Шибин-эль-Ком | MU | Эль Самман Х. + 5 чел. | Совместные работы |
| Эль-Мансура | MU | Саллах М. + 2 чел. | Совместные работы |
| Индия | Варанаси | BHU | Кумар А. + 3 чел. | Совместные работы |
| Италия | Рим | ENEA | Карта М. + 2 чел. | Совместные работы |
| Казахстан | Алма-Ата | ИЯФ | Глущенко В.Н. | Совместные работы |
| Астана | ЕНУ | Ленник С.Г. | Протокол |
| Омарова Ню + 5 чел. | Совместные работы |
| Кызылорда | КазНИИР | Дуйсембеков Б.А. | Протокол |
| Китай | Пекин | IHEP CAS | Чаи Зифанг + 3 чел. Чжан Гуахуэй + 5 чел. | Совместные работы Совместные работы |
|  | Сиань | NINT | Сун Чжаохуэ + 3 чел. |  |
| МАГАТЭ | Вена | МАГАТЭ | Фесенко С. | Совместные работы |
| Молдова | Кишинев | ИМБ АНМ | Рудь Л.Б. | Протокол |
| ИХ | Чокырлан А.Г. | Протокол |
| Монголия | Улан-Батор | CGL | Балжинням Н. + 2 чел. | Обмен визитами |
| Совместные работы |
| NRC NUM | Хуухэнхуу Г. + 3 чел. | Совместные работы |
| Польша | Вроцлав | UW | Косиор Г. + 5 чел. | Совместные работы |
| Гданьск | GUT | Бизюк М. + 4 чел. | Совместные работы |
| Краков | INP PAS | Годзик Б. + 4 чел.  Юрковски Я. + 1 чел. | Совместные работы |
| Лодзь | UL | Анджеевски Ю. + 3 чел. | Совместные работы |
| Люблин | UMCS | Жук Е. + 3 чел.  Ясиньская Б. + 7 чел. | Совместные работы |
| Ополе | UO | Вацлавек М. + 5 чел. | Совместные работы |
| Отвоцк (Сверк) | NCBJ | Мияновский С.  Поланский А. + 2 чел. | Совместные работы |
| Познань | AMU | Блащак З. + 4 чел. Навроцик В. + 4 чел. | Совместные работы |
| Республика Корея | Пхохан | PAL | Ким Г. + 3 чел. | Совместные работы |
| Сеул | Dawonsys | Ким Донг Су | Совместные работы |
| Тэджон | KAERI | Чанг Д. | Совместные работы |
| Россия | Архангельск | САФУ | Есеев М.К. | Протокол |
| Борок | ИБВВ РАН | Цельмович В.А. + 2 чел. | Совместные работы |
| Владикавказ | СОГУ | Лабриненко Ю.В.  Тваури И.В. | Совместные работы |
| Воронеж | ВГУ | Вахтель В.М.  Кадменский С.Г. + 3 чел. | Совместные работы |
| Гатчина | НИЦ КИ ПИЯФ | Воробьев А.С. + 3 чел.  Воронин В.В. + 10 чел. | Совместные работы |
| Грозный | ЧГПУ | Оказова З.П. | Совместные работы |
| Долгопрудный | МФТИ | Рогачев А.В. | Протокол |
| Дубна | Гос. ун-т "Дубна" | Моржухина С.В. + 5 чел.  Сеннер А.Е. + 3 чел. | Совместные работы |
| Диамант | Сыроватская Т.Н. | Совместные работы |
| Екатеринбург | УрФУ | Кружалов А.В. + 5 чел. | Совместные работы |
| Иваново | ИГХТУ | Гриневич В.И.  Дунаев А.М. | Совместные работы |
|  |  |  |  |
| Ижевск | УдГУ | Бухарина И.Л.  Зубцовский Н. | Совместные работы |
| Иркутск | ЛИН СО РАН | Ходжер Т.В. | Совместные работы |
| Москва | АО "МНРХУ" | Серегина Е.И. | Протокол |
| ВНИИА | Боголюбов Е.П. + 1 чел. | Совместные работы |
| ГИИ | Царевская Т.Ю. | Протокол |
| ГИН РАН | Ляпунов С.М. + 3 чел. | Совместные работы |
| ИА РАН | Вдовиченко М.В. | Протокол |
| ИКИ РАН | Митрофанов И.Г. + 5 чел. | Совместные работы |
| ИОФ РАН | Михайлова Г.Н. | Совместные работы |
| ИТЭФ | Беда А.Г.  Данилян Г.В. + 3 чел. | Совместные работы |
| ИФХЭ РАН | Сафонов А.С. + 3 чел. | Совместные работы |
| МГМУ | Каралкин П.Д. | Протокол |
| МГУ | Бацевич В.А. + 2 чел. | Совместные работы |
| Белохин В.С. | Протокол |
| Бушуев В.А. | Совместные работы |
| Краснушкин А.Б. + 1 чел. | Совместные работы |
| НИИЯФ МГУ | Третьякова Т.Ю. + 2 чел. | Протокол |
| Чувильский Ю.М. + 1 чел. | Совместные работы |
| НИЦ КИ | Барабанов А.Л. + 2 чел. | Совместные работы |
| ФИЦ “Почвенный ин-т” | Болотов А.Г. | Протокол |
| Москва, Троицк | ИЯИ РАН | Джилкибаев Р.М. | Протокол |
| Кузнецов В.Л. | Совместные работы |
| Нижн. Новгород | ИФМ РАН | Салащенко Н.Н.  Чхало Н.И. + 1 чел. | Совместные работы |
| Обнинск | ФЭИ | Грудзевич О.Т. + 10 чел. | Совместные работы |
| Пермь | ПГНИУ | Гатина Е.Л. | Соглашение |
| С.-Петербург | Ботанический сад БИН РАН | Ткаченко К.Г. + 3 чел. | Совместные работы |
| НИИФ СПбГУ | Бунаков В.Е. + 1 чел. | Совместные работы |
| РИ | Смирнов А.Н. + 1 чел. | Совместные работы |
| СПбГЛТУ | Алексеев А.С. + 10 чел. | Совместные работы |
| СПГУ | Василенко Т.А. | Протокол |
| ФТИ им. А.Ф. Иоффе | Вуль А.Я. + 5 чел. | Совместные работы |
| Севастополь | ИнБЮМ | Мильчакова Н.А. + 2 чел. | Совместные работы |
| Тула | ТулГУ | Горелова С.В. | Совместные работы |
| Румыния | Бая-Маре | TUCN-NUCBM | Тодоран Р. + 3 чел. | Совместные работы |
| Бухарест | IFIN-HH | Гита Д. | Совместные работы |
| Дима О.  Михай О. | Протокол |
| Пантелика А. + 3 чел.  Сетнеску Р. | Совместные работы |
| IGR | Дулиу О. | Протокол |
| INCDIE ICPE-CA | Мирела М. + 5 чел. | Совместные работы |
| UB | Груя И.  Дулиу О.  Жила А.  Лазану И.  Тудора А. | Совместные работы |
| UPB | Фикай А. | Протокол |
| Галац | UG | Энэ А. + 3 чел. | Совместные работы |
| Клуж-Напока | INCDTIM | Соран Н.Л. | Совместные работы |
| Констанца | UOC | Белк М. + 2 чел. | Совместные работы |
| Мэгуреле | ISS | Потлог П.М. | Совместные работы |
|  | NIMP | Бадика П. + 6 чел.  Станкулеску А. + 4 чел. | Совместные работы |
| Орадя | UO | Опреа А. + 3 чел.  Филип С. | Совместные работы |
| Питешти | ICN | Преда М. | Совместные работы |
| Рымнику-Вылча | I.C.S.I. | Куруя М. + 3 чел.  Опря К.  Штефанеску И. | Совместные работы |
| Сибиу | ULBS | Бондреа И. | Протокол |
|  |  | Чисеа Д. + 8 чел. | Совместные работы |
| Тимишоара | UVT | Штеф М. + 4 чел. | Совместные работы |
| Тырговиште | VT | Бамвак М.  Бамкута И.  Радулеску К.  Сетнеску Т. | Совместные работы |
| Стихи С. + 4 чел. | Протокол |
| Яссы | NIRDTP | Чирах Х.+ 2 чел. | Совместные работы |
| UAIC | Кармен М. + 5 чел. | Совместные работы |
| Северная  Македония | Скопье | UKiM | Стафилов Т. + 3 чел. | Совместные работы |
| Сербия | Белград | IPB | Аничич М. + 5 чел. | Совместные работы |
|  | Ун-т | Попович Д. | Совместные работы |
| Нови-Сад | UNS | Крмар М. + 3 чел. | Совместные работы |
| Словакия | Братислава | CU | Кучерка Н. + 5 чел. | Совместные работы |
|  | Холи К. | Совместные работы |
| IEE SAS | Гуран Е. |  |
| IP SAS | Климан Я. + 3 чел. | Совместные работы |
| Словения | Любляна | GeoSS | Шайн Р. | Совместные работы |
| США | Дарем, NC | Duke | Гоулд К. + 2 чел.  Торноу В. | Договор |
| Лос-Аламос | LANL | Систрем С. + 5 чел. | Совместные работы |
| Ок-Ридж | ORNL | Келер П. | Совместные работы |
| Таиланд | Хатъяй | PSU | Бонгсуван Т. | Совместные работы |
| Турция | Чанаккале | COMU | Кошкун М. + 3 чел. | Совместные работы |
| Узбекистан | Ташкент | ИЯФ АН РУз | Артемов С.В. | Совместные работы |
| Финляндия | Йювяскюля | UJ | Тржаска В. | Совместные работы |
| Оулу | UO | Керонен А. + 3 чел. | Совместные работы |
| Франция | Гренобль | ILL | Гельтенборт П.  Йенчель М.  Несвижевский В. | Совместные работы |
|  | LPSC | Протасов К.В. + 2 чел. | Совместные работы |
| Кадараш | CC CEA | Соул Р. + 5 чел. | Совместные работы |
| Сакле | LLB | Лерой С. + 2 чел. | Совместные работы |
| Страсбург | IPHC | Стуттже Л. + 2 чел. | Совместные работы |
| Хорватия | Загреб | Oikon IAE | Спирич З. + 5 чел. | Совместные работы |
|  | RBI | Валкович + 2 чел. | Совместные работы |
| ЦЕРН | Женева | ЦЕРН | Киавери Э. + 12 чел. | Совместные работы |
| Чехия | Острава | VSB-TUO | Янчик П. | Совместные работы |
| Прага | CEI | Кучера Я. + 2 чел. | Совместные работы |
| CTU | Штекл И. + 15 чел. | Совместные работы |
| Ржеж | CVR | Патрик М. | Протокол |
| Швейцария | Виллиген | PSI | Лаусс Б. | Совместные работы |
| Шмидт-Веленбург Ф. | Совместные работы |
| ЮАР | Беллвилл | UWC | Петрик Л. + 5 чел. |  |
| Претория | UNISA | Софианос С. | Совместные работы |
| Стелленбос | SU | Безюденот Ж. + 3 чел. | Совместные работы |
| Япония | Киото | KSU | Кимура И. + 3 чел. | Совместные работы |
| Цукуба | KEK | Масуда Я. + 5 чел. | Совместные работы |

**2.6. 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).*

**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 | 66 |  |
| 2. | инженеры | 42 |  |
| 3. | специалисты | 11 |  |
| 4. | служащие | 0 |  |
| 5. | рабочие | 2 |  |
|  | **Итого:** | **121** |  |

**3.2. Доступные кадровые ресурсы**

**3.2.1. Основной персонал ОИЯИ** (общее количество участников)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Категория работников** | **ФИО** | **Подразделение** | **Должность** | **FTE** |
| Научные работники | Лычагин Е.В. | ЛНФ | директор лаборатории |  |
| Копач Ю.Н. | ЛНФ | зам. директора лаборатории по научной работе |  |
| Швецов В.Н. | ЛНФ | нач. отделения |  |
| Седышев П.В. | ЛНФ | зам. нач. отделения |  |
| Федоров Н.А. + 58 чел. | ЛНФ | нач. сектора |  |
| Кулин Г.В. + 18 чел. | ЛНФ | нач. сектора |  |
| Зиньковская И. + 23 чел. | ЛНФ | нач. сектора |  |
| Специалисты | Пятаев В.Г. + 28 чел. | ЛНФ | главный инженер установки |  |
| Рабочие |  |  |  |  |
|  | | | |  |

**3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Категория работников** | **Организация-партнер** | **Сумма FTE** |
| Научные  работники |  |  |
| инженеры |  |  |
| **Итого:** |  |  |

**4. Финансовое обеспечение**

**4.1. Полная сметная стоимость темы**

5925 тыс. долларов

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№№**  **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** |
| 1. | Международное сотрудничество (МНТС) | 525 | 95 | 95 | 105 | 110 | 120 |
| 2. | Материалы | 1255 | 245 | 255 | 295 | 230 | 230 |
| 3. | Оборудование и услуги сторонних организаций | 3425 | 585 | 715 | 775 | 650 | 700 |
| 4. | Пуско-наладочные работы |  |  |  |  |  |  |
| 5. | Услуги научно-исследовательских организаций | 240 | 140 | 30 | 30 | 20 | 20 |
| 6. | Приобретение программного обеспечения | 480 | 80 | 100 | 90 | 100 | 110 |
| 7. | Проектирование/строительство |  |  |  |  |  |  |
| 8. | Сервисные расходы (*планируются в случае прямой принадлежности к проекту)* |  |  |  |  |  |  |
| **ВСЕГО:** | | 5925 | 1145 | 1195 | 1295 | 1110 | 1180 |

**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**

**/ \_\_\_\_\_\_\_ / / \_\_\_\_ /**

**“ “ 2023г. “ “ 2023г.**

**Руководитель ДБиЭП Ученый секретарь лаборатории**

**/ \_\_\_\_\_\_\_ / / \_\_\_\_ /**

**“ “ 2023г. “ “ 2023г.**

**Руководитель ДНОД Экономист лаборатории**

**/ \_\_\_\_\_\_\_ / / \_\_\_\_ /**

**“ “ 2023 г. “ “ 2023г.**

**Руководитель ДкиД Руководитель темы**

**/ \_\_\_\_\_\_\_ / / \_\_\_\_ /**

**“ “ 2023г. “ “ 2023г.**

**Руководитель темы**

**/ \_\_\_\_ /**

**“ “ 2023г.**

**Руководитель темы**

**/ \_\_\_\_ /**

**“ “ 2023г.**

**Руководитель проекта (шифр проекта)/ (шифр подпроекта КИП)**

**/ \_\_\_\_/**

**“ “ 2023г.**

**/ \_\_\_\_/**

**“ “ 2023г.**

**Руководитель проекта (шифр проекта)/ (шифр подпроекта КИП)**

**/ \_\_\_\_/**

**“ “ 2023г.**

**Руководитель проекта (шифр проекта)/ (шифр подпроекта КИП)**

**/ \_\_\_\_/**

**“ “ 2023г.**