

Форма открытия Проекта

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 (для продлеваемых проектов) – *шифр темы включает дату открытия, дата окончания не указывается, т. к. она определяется сроками завершения проектов в теме.*

02-1-1107-2024

1.2. Шифр проекта: —.

1.2. Лаборатория: ЛФВЭ

1.3. Научное направление

1.4. Наименование проекта: ARIADNA

1.5. Руководитель(и) проекта: Белов О.В., Тютюнников С.И.

1.6. Заместитель(и) руководителя проекта: нет

2. Научное обоснование и организационная структура

2.1. Аннотация

Проект ARIADNA имеет своей целью реализацию широкомасштабной научной программы прикладных исследований с использованием пучков тяжелых заряженных частиц комплекса NICA и развитие соответствующей исследовательской инфраструктуры вокруг облучательных установок, предназначенных для прикладных работ.

Комплекс NICA предоставляет уникальные возможности для проведения прикладных исследований с использованием пучков заряженных частиц с характеристиками, недоступными в иных научных центрах государств-членов ОИЯИ, стран СНГ и ближнего зарубежья. Ускоренные ионы высоких энергий (от сотен до 4 ГэВ/нуклон) являются уникальным инструментом для исследований в области наук о жизни, радиационной биофизики, космических исследований, разработки новых биомедицинских технологий, радиационного материаловедения, радиационной стойкости композитных материалов, интегральных микросхем и микропроцессорной техники, а также широкого круга смежных задач.

Исследовательская работа в рамках проекта будет концентрироваться на выполнении программы НИОКР по направлениям деятельности коллабораций ARIADNA. В частности,

запланированы прикладные исследования в области наук о жизни с использованием пучков ускоренных тяжелых ионов комплекса NICA, нацеленные на решение актуальных задач в области космической биологии и медицины, радиационной биофизики, методических задач ионной терапии и ядерной медицины. Существенный объем работ будет выполнен в рамках космических исследований в сотрудничестве с профильными организациями. Прикладные исследования в области радиационного материаловедения и тестирования электроники на радиационную стойкость с использованием ускоренных ионов в широком диапазоне зарядовых чисел и энергий частиц будут иметь своей целью получение новых результатов о радиационной стойкости высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), в том числе – изготовленных из них лент, а также о возможностях повышения критических токов за счет радиационных дефектов. Важной задачей исследований будет изучение радиомодификации новых композитных материалов и полимерных пленок с использованием пучков ионов высоких энергий, не достижимых на ускорителях других научных центров государств-членов ОИЯИ, а также тестирование микропроцессорной техники, микросхем и детекторов для задач космической отрасли и новых ядерно-физических установок.

С учетом проведенных ранее тестовых экспериментов проектом ARIADNA также будет предусмотрено дооборудование стенда для длительного облучения образцов в зоне установки VM@N в режиме параллельной работы с физической установкой. Будет разработан и смонтирован комплекс диагностического и дозиметрического оборудования для работы с образцами различных видов на остаточном пучке с энергиями порядка 3,8-4,0 ГэВ/нуклон, выведенном из установки VM@N.

Проект будет включать оборудование зоны для работы на остаточном пучке, выведенном из установки «Фаза», расположенной в корпусе 205. Данные работы будут включать создание стенда для размещения образцов и дозиметрического оборудования, демонтаж устаревшего оборудования, косметический ремонт помещения вокруг установки «Фаза». Такие подходы в совокупности с применением технологий отщепления и поворота пучка на установки корпуса 205 с использованием изогнутых кристаллов будут способствовать существенному снижению затрат на проведение прикладных исследований на пучках комплекса NICA. Задачами проекта также предусмотрено создание дополнительного оборудования для облучения образцов по индивидуальным техническим заданиям пользователей ARIADNA.

Важным элементом развития инфраструктуры проекта будет являться создание участков для оперативного развертывания пользовательского оборудования в непосредственной близости от места облучения для оперативной подготовки образцов и применения аналитических методов в первые минуты после облучения («экспресс-анализ»). При выполнении исследований будет широко задействована исследовательская инфраструктура сотрудничающих организаций, а также формат краткосрочных выездных экспериментов в Дубну со своим оборудованием.

Задачей, имеющей особую актуальность для современных космических исследований, будет являться проведение НИОКР по проработке возможностей ускорения и вывода пучков частиц в режиме быстрой смены типа иона и энергии (т.н. «многоионный» пучок), а также формулирование предложений по внедрению этих методов в ходе планируемой модернизации Нуклотрона.

Проект будет включать задачи организации и сопровождения пользовательской программы ARIADNA, включая запуск соответствующего web-портала, имеющего функции системы сбора и рассмотрения заявок о проведении экспериментов.

Комплементарной задачей в рамках проекта ARIADNA будет разработка прототипа системы протонной томографии на основании детекторных технологий, используемых при создании комплекса NICA.

Кадровый состав проекта включает опытных ученых, имеющих ученую степень доктора и кандидата наук по специальностям, соответствующим направлениям работ в рамках темы, а также из инженеров, специалистов и молодых ученых. Существенный объем работ будет выполняться с привлечением участников коллабораций ARIADNA, в том числе с использованием механизма ассоциированного персонала.

Срок реализации проекта составляет 4 года. Объем необходимого финансирования на 2024-2027 годы из бюджета ОИЯИ составляет 2 830 тыс. долл. США. Финансирование будет осуществляться в рамках новой темы Отделения научно-методических исследований и инноваций ЛФВЭ «Прикладные исследования на комплексе NICA». В ходе реализации проекта для создания некоторых подсистем и оборудования будут активно привлекаться внешние по отношению к бюджету ОИЯИ средства, в том числе в рамках грантов, целевых программ и иных источников финансирования.

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

Комплекс NICA предоставляет уникальные возможности для проведения научно-методических и прикладных исследований на пучках ионов высоких энергий, недоступных более нигде на территории государств-членов ОИЯИ, стран СНГ и ближайшего зарубежья. Основная цель проекта ARIADNA – реализация широкомасштабной научной программы прикладных исследований с использованием пучков тяжелых заряженных частиц комплекса NICA и развитие соответствующей исследовательской инфраструктуры вокруг облучательных установок, предназначенных для прикладных работ.

Проект ARIADNA включает выполнение прикладных исследований в области наук о жизни, радиационной биофизики, методических задач ионной терапии и ядерной медицины, космических исследований, реализацию работ в области радиационного материаловедения, тестирования электроники на радиационную стойкость, изучение защитных свойств материалов при воздействии ионизирующих излучений разного качества.

Актуальность исследований в области наук о жизни и развития новых биомедицинских технологий обосновывается возможностью изучения специфических механизмов биологического действия ускоренных ионов высоких энергий, разработкой перспективных мер защиты от космической радиации в условиях дальних внемагнитосферных полетов, созданием новых методов совершенствования подходов к радиационной терапии онкологических заболеваний.

Высокой актуальностью обладают задачи космических исследований на пучках ускорителей тяжелых заряженных частиц. Комплекс NICA является единственным ускорителем на территории Российской Федерации, других стран СНГ и ближнего зарубежья, параметры которого позволяют моделировать в наземных условиях эффекты воздействия тяжелых ионов в составе галактических космических лучей на биологические объекты, материалы и электронику в условиях полета в дальний космос. Актуальность работ по радиационной модификации материалов с использованием ионов высоких энергий определяется возможностью создания радиационных дефектов в относительно толстых мишенях, что является основой производства материалов с принципиально новыми свойствами, недостижимыми на пучках низких энергий.

С учетом имеющегося в мире ограниченного количества установок, сходных по своим характеристикам с комплексом NICA, и обусловленной этим слабой доступности пучков столь высоких энергий для проведения исследований в обозначенных направлениях, реализация программы работ на комплексе NICA с привлечением профильных научно-исследовательских организаций позволит сформировать в Дубне мощный кластер инновационных радиационных технологий, позволяющий проводить обладающие несомненной новизной эксперименты на уникальном оборудовании.

Сопутствующей, но не менее актуальной задачей проекта является развитие исследовательской инфраструктуры вокруг облучательных станций и каналов для прикладных исследований NICA в целях создания по крайней мере минимально необходимых условий для выполнения работ научными группами профильных организаций, сотрудничающих в рамках

коллабораций ARIADNA, в непосредственной близости от места облучения для адекватной подготовки образцов к облучению и выполнения экспресс-тестов в короткие сроки после облучения.

Стратегической задачей проекта также будет изыскание возможностей для проведения сеансов облучений в рамках прикладных исследований на «остаточных» пучках, доступных на выводе различных установок корпуса 205 ЛФВЭ, в целях проведения экспериментов параллельно с работой физических установок и сокращения затрат на использование пучкового времени. С учетом проведенных ранее методических исследований на пучке, доступном на выводе из установки BM@N, которые подтвердили возможность работы на остаточном пучке, будет дооборудован созданный прототип стенда для облучения в этой зоне. Также будет осуществлен комплекс работ на выводе из установки «Фаза» в целях размещения там стенда с советующим диагностическим оборудованием и системы автоматизированной смены образцов.

В совокупности с этим будут реализованы технологии отбора части пучка изогнутыми кристаллами для транспортировки на установки для прикладных исследований в целях сокращения времени специализированного поворота пучка на облучательные станции для прикладных работ.

С учетом имеющихся кадровых, интеллектуальных и материально-технических ресурсов, а также на основе планируемых мер по наращиванию научно-технического и кадрового потенциала за счет привлечения ученых и инженеров организаций, сотрудничающих в рамках коллабораций ARIADNA, предусматривается следующий перечень главных направлений деятельности в ходе реализации проекта, разделённых на два блока работ.

1. Научно-методический блок

Развитие и совершенствование исследовательской инфраструктуры ARIADNA.

Основой научно-методической части проекта будет являться развитие исследовательской инфраструктуры, включающей в том числе создание участков для оперативного развертывания пользовательского оборудования в непосредственной близости от места облучения для «быстрой» подготовки образцов и применения аналитических методов в первые минуты после облучения («экспресс-анализа»). В предыдущий период реализации работ, связанных с ARIADNA, был подготовлен эскизный проект оснащения ряда помещений минимально необходимой конфигурацией общелабораторного оборудования, необходимого для работы пользователей в рамках выездных экспериментов. Данный эскизный проект будет взят за основу для совершенствования и реализации в течение срока выполнения проекта. В частности, будет разработан дизайн-проект центральной части корпуса 216 в целях размещения в нем модульных лабораторных комнат для выполнения исследований по направлениям работ ARIADNA.

Важной частью работ по совершенствованию инфраструктуры проекта ARIADNA является дооборудование облучательного стенда на выводе из установки BM@N — единственной зоны на комплексе NICA, позволяющей реализовывать длительное облучение образцов пучками ионов высоких энергий порядка 3,8 ГэВ/нуклон (рис. 1). В эту задачу входит реализация на стенде дополнительных методов диагностики остаточного пучка на выходе из установки и разработка собственных дозиметрических систем, нацеленных на комплексную оценку радиационной обстановки в зоне нахождения образцов с учетом вторичного излучения, спектра нейтронов и иных факторов, связанных со спецификой воздействия тяжёлых ионов высоких энергий. Комплекс оборудования будет включать набор ионизационных камеры различных видов (в т.ч. TM30010-1, TM34001 Roos, TM34089), пиксельный детектор OCAVIUS Detector 1500 XDR, используемый в области ионной терапии для точного определения поглощенной дозы, с соответствующей электроникой, детекторы на основе тонких органических сцинтилляторов, профилометры, а также штатное дозиметрическое оборудование, в т.ч.

переносной замедлитель нейтронов (ДОЗА) с блоком детектирования БДМН-100, дозиметр ДКС-АТ5350/1, дозиметр гамма-излучения ДБГ-С11Д (рис. 2). Также в состав комплекса войдет управляемая дистанционно система смены образцов и ввода/вывода используемых детекторов изучения в/из поля облучения на основе двухкоординатных систем перемещения (рис. 3). С использованием разработанного комплекса будет производиться оптимизация методов проведения экспериментов на пучках и подбор оптимальных способов облучения образцов различных видов.

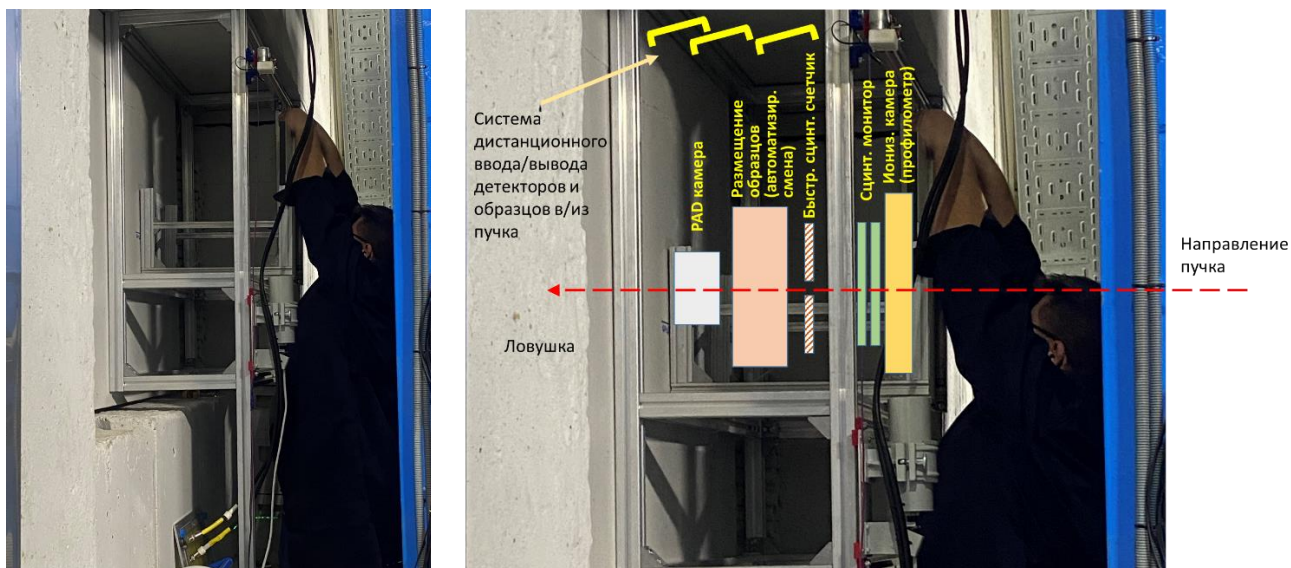


Рис. 1. Размещение стенда для длительного облучения в зоне установки ВМ@N (слева) и схема диагностического оборудования, планируемого к размещению на стенде (справа).

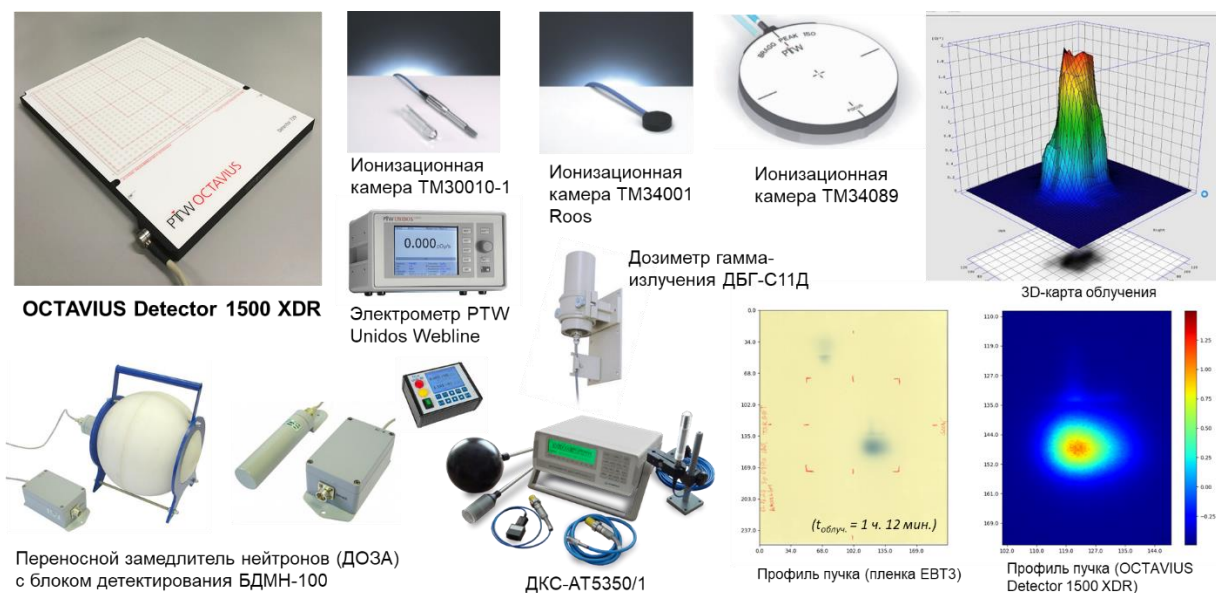


Рис. 2. Комплекс оборудования для диагностики пучка и дозиметрии, используемый на выводе из установке ВМ@N.

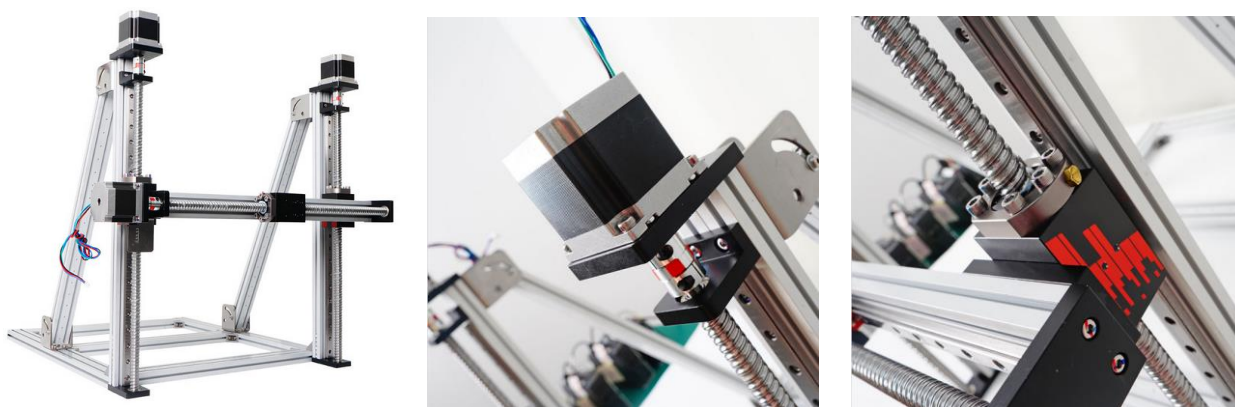


Рис. 3. Образец двухкоординатной системы перемещения для ввода/вывода образцов и детекторов в/из зоны облучения.

В рамках изыскания возможностей для проведения сеансов облучений для прикладных исследований на «остаточных» пучках других установок корпуса 205 ЛФВЭ предлагается осуществить комплекс работ на выводе из установки «Фаза» в целях размещения облучательного стенда с советующим диагностическим оборудованием и системы автоматизированной смены образцов (рис. 4). Данная зона обладает такими необходимыми параметрами для размещения стенда, как наличие достаточного пространства для размещения оборудования, отдельное помещение, образованное блоками биологической защиты, наличие затвора на пучке перед входом в зону установки, достаточное удаление «ловушки» от предполагаемого места размещения образцов и дозиметрического оборудования, готовая подводка основных коммуникаций, наличие дополнительных фокусирующих линз.

Обновление зоны установки «Фаза» для размещения на выводе из нее облучательного стенда будет включать работы по проверке подводимых в зону коммуникаций (электричество, вода, при необходимости – вакуум), демонтаж неиспользуемого оборудования в данной зоне, косметический ремонт внутреннего помещения, образованного биологической защитой, замену входной двери, монтаж современного освещения, проверку имеющихся и при необходимости установку новых блокировок, прокладку сетевых коммуникаций (витая пара) от места размещения стенда до подключения в общую сеть корпуса 205.

В рамках обновления данной зоны для целей задействования в проведении прикладных исследований будет проработана техническая возможность отщепления части пучка, идущего по направлению канала ВП-1, и отклонении его в направлении нового стенда в режиме параллельной работы с установкой VM@N. Для этого планируется применение методов, основанных на использовании изогнутых кристаллов для управления пучками заряженных частиц [Бирюков В.М., 1994; Денисов С.П., 1999; Бородина А.А. и Зверева Т.С., 2021]. Будет рассмотрена возможность установки системы кристаллов в специализированный разветвитель канала с возможностью ввода/вывода в/из канала и размещения разветвителя в точке Ф-5 (рис. 5). Разветвитель канала (1 входной патрубков и 3 выходных) планируется изготовить силами Белгородского государственного университета на основании технического задания, которое будет подготовлено в рамках выполнения проекта. Параллельно будет выполнена проверка герметичности и систем вакуумирования канала 3В и при необходимости – приняты меры по восстановлению герметичности.

В ходе реализации проекта также будут продолжены работы по модернизации спектроаналитического комплекса для активационных измерений, имеющегося в Отделении научно-методических исследований и инноваций ЛФВЭ.

Корпус 205,
зона установки «Фаза»

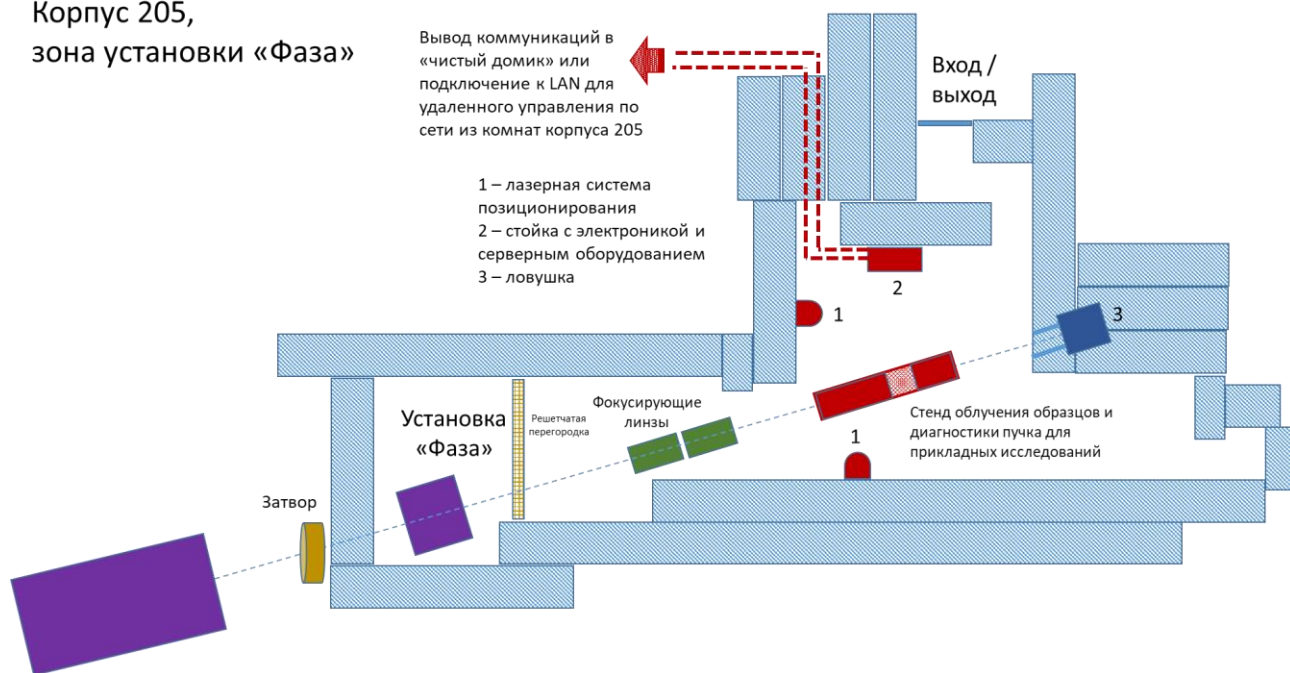


Рис. 4. Концептуальный проект оборудования зоны установки «Фаза» в целях размещения стенда для прикладных исследований на выводе из данной установки.

Корпус 205,
зона Ф-5

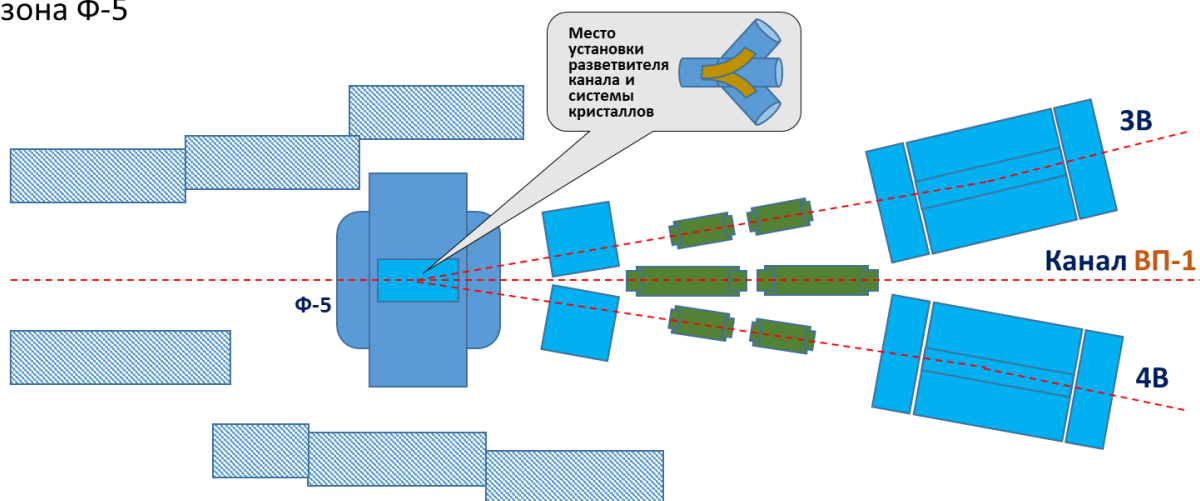


Рис. 5. Схема размещения разветвителя канала и системы кристаллов для отщепления части пучка в зоне Ф-5 для транспортировки на другие установки корпуса 205.

Научные и научно-методические исследования по тематике работы коллабораций ARIADNA (в тесном взаимодействии с организациями-участниками коллабораций)

В рамках проекта прикладные исследования на пучках комплекса NICA будут выполняться в соответствии с широкомасштабной Программой исследований коллабораций (“ARIADNA White Book”), закрепленной в соглашениях о сотрудничестве с заинтересованными организациями. Данная программа включает, в частности, следующие направления работ, планируемых к реализации в рамках первых этапов проекта.

В области космических исследований в экспериментах на пучках тяжелых заряженных частиц комплекса NICA в наземных условиях будет проводиться моделирование воздействия спектра ТЗЧ с использованием пучков заряженных частиц комплекса NICA. Использование такой модели позволит максимально приблизиться к изучению нейробиологических и биофизических эффектов галактических космических лучей (ГКЛ). Будут изучаться нейробиологические эффекты действия космического излучения с проработкой возможности применения многоионных пучков заряженных частиц, включая тяжелые ионы с $Z > 20$, а также комбинированного действия тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) и моделируемой гипогравитации в экспериментах на грызунах (АнОВ) и приматах (АНОГ). Планируется исследование механизмов и интегративных эффектов воздействия ТЗЧ и моделируемой гипогравитации на ЦНС экспериментальных животных. Оценка взаимно модифицирующего влияния радиационных и нерадиационных ФКП на функции ЦНС. Предполагается изучение молекулярных, нейрохимических и нейрофизиологических механизмов эффектов ТЗЧ и комбинированного действия ТЗЧ и моделируемой микрогравитации в экспериментах на мелких лабораторных животных, а также исследование воздействия данных факторов на когнитивные функции приматов с помощью компьютеризированного моделирования базовых элементов операторской деятельности космонавта. Результаты подобных исследований позволят наиболее адекватно моделировать условия реального межпланетного космического полета, количественно оценить радиационный риск и создать основу для экстраполяции экспериментальных данных на человека.

Программа экспериментов будет включать изучение роли типологических характеристик высшей нервной деятельности (ВНД) животных (включая приматов) в их реакциях на комбинированное действие гипогравитации и космической радиации, моделируемых в наземных экспериментах. Возможности максимально адекватного моделирования ГКЛ, предоставляемые комплексом NICA, позволят оценить реальный вклад этой характеристики ЦНС в модификацию нейробиологического эффекта ГКЛ, что представит важнейший материал для экстраполяции экспериментальных данных на человека и оценки радиационного риска. Будут исследованы роль типологических характеристик ВНД крыс и обезьян в их реакциях на изучаемые воздействия: насколько данный фактор определяет их неспецифическую резистентность и радиорезистентность; молекулярные, нейрохимические и нейрофизиологические механизмы, лежащие в основе этих явлений. Также будут исследованы отдаленные эффекты данных воздействий.

Будет осуществляться разработка метода определения индивидуальной неспецифической резистентности и радиорезистентности организма на основе показателей регуляторных систем организма и эффективности молекулярных механизмов репарации радиационных повреждений ДНК (в том числе двунитевых разрывов) с использованием возможности оценки радиобиологических эффектов ГКЛ, предоставляемой комплексом NICA.

Особо важным направлением работ в области радиационной защиты в космосе будет тестирование защитных свойств новых материалов в смешанных полях излучений для последующего использования в качестве дополнительной и локальной защиты от ионизирующего космического излучения на борту космических комплексов. Параллельно будет

осуществляться тестирование защитных свойств элементов конструкции космических кораблей и элементов носимой экипировки космонавтов для выхода в открытый космос и работы на поверхности небесных тел для разработки практических рекомендаций по обеспечению радиационной безопасности космических полетов с учетом уточненных защитных свойств элементов космических комплексов. С использованием пучков комплекса NICA будут отрабатываться методы регистрации радиационных нагрузок на космонавтов в смешанных полях ионизирующих космических излучений.

В области наук о жизни и биомедицинских технологий во взаимодействии с профильными организациями будет осуществляться развитие высокочувствительных методов детекции радиационно-индуцированных биологических повреждений на молекулярном и клеточном уровне: с использованием пучков ионов высоких энергий будет исследована кинетика индукции и элиминации соответствующих флуоресцентных маркеров, характеризующих присутствие того или иного связанного состояния белка-участника репарации ДНК. Планируется идентифицировать временные профили белков и белковых комплексов, участвующих в репарации двунитевых разрывов ДНК.

Связанной с этим задачей будет являться изучение особенностей образования сложных и кластерных повреждений ДНК в нормальных и опухолевых клетках млекопитающих при воздействии пучков тяжелых заряженных частиц с различной энергией и Z, а также исследование механизмов отклика нормальных и опухолевых клеток млекопитающих (репарация ДНК, контроль клеточного цикла, клеточная гибель) на воздействие пучков тяжелых заряженных частиц с различной энергией и Z.

Программа работ будет включать исследование модификаций механизмов связывания белков и белковых комплексов систем репарации ДНК при воздействии ионизирующих излучений с различными физическими характеристиками: экспериментальные и расчетные методы получения трёхмерных структур белков и белковых комплексов репарации двунитевых разрывов ДНК. С помощью метода рентгеновской кристаллографии — одного из главных методов определения трехмерной структуры биологических макромолекул — планируется также исследовать наиболее значимые сайты связывания белков и белковых комплексов репарации и определить возможность и характеристики изменений в механизмах их взаимодействия при воздействии корпускулярных видов ионизирующих излучений.

Запланированы работы по изучению фундаментальных биофизических механизмов воздействия заряженных частиц и пострадиационного восстановления на клеточном уровне: планируется создание атласа структурных компонентов (белков и белковых комплексов) репарации двунитевых разрывов ДНК в клетках млекопитающих и человека. Создание методов реалистичного моделирования биологического действия космических видов излучений с использованием пучков заряженных частиц комплекса NICA. Создание подходов к разработке новых методов профилактики, диагностики и лечения лучевых поражений. Будут исследованы связи процессов репарации ДНК с актуальными на сегодняшний день вопросами радиационно-индуцированных нарушений функций центральной нервной системы.

Сопутствующей задачей большинства проводимых экспериментов будет исследование относительной биологической эффективности (ОБЭ) пучков ускоренных заряженных частиц в широком диапазоне зарядовых чисел и энергий по целому ряду биологических эффектов. В частности, интерес представляет исследование ОБЭ тяжёлых ядер, которые будут ускоряться до энергии вплоть до 4,5 ГэВ/нуклон, на биологических моделях *in vitro* и *in vivo*.

Одной из актуальных задач станет совершенствование технологий ионной лучевой терапии злокачественных новообразований, включая конкурентную химиолучевую терапию. В рамках ожидаемых экспериментов планируется оценить возможности использования заряженных тяжелых частиц с различными энергиями для целей лучевой флеш-терапии, как

одного из интенсивно обсуждаемых в настоящее время возможных подходов к лечению онкологических заболеваний.

Запланированы комплексные исследования поведенческого паттерна грызунов после облучения, как нового подхода к комплексной оценке относительной биологической эффективности пучков заряженных частиц, доступных на пучках комплекса NICA. Данное направление может быть перспективным для целей изучения влияния космических заряженных частиц на ЦНС и ВНД при оценке радиационной опасности длительных пилотируемых космических полетов.

Одной из перспективных задач программы работ станет исследований влияния пучков заряженных частиц высоких энергий на физико-химические характеристики и биологическую активность *in vitro* и *in vivo* наночастиц редкоземельных металлов в различных модификациях для их возможного использования в качестве радиопротекторов/радиосенсибилизаторов.

Научные группы, имеющие опыт в области теоретических исследований, разработке и создании детекторных систем, мишенных и пучковых технологий, в том числе реализованных в экспериментах ALICE в ЦЕРН, Радиевый Институт РОСАТОМ, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ПИЯФ НИЦ «Курчатовский институт», планируют осуществить разработку и создание приборов для протонной томографии и связанных с этим систем диагностики пучков заряженных частиц и тяжелых ионов. С использованием пучков заряженных частиц комплекса NICA будут проводиться исследования в области радиационного материаловедения с целью создания новых многофункциональных материалов для детекторных систем, используемых в ядерной медицине.

В области наук о материалах и строения вещества запланированы научно-методические работы по обоснованию возможности применения ионно-облученного ТРМ-ПТФЭ в качестве платформы для создания новых метаматериалов квантовой микроэлектроники, радиозащитных покрытий, протон-проводящих мембран датчиков атмосферной влаги и микроконцентраций целевых органических соединений в контролируемом объеме, в детекторах элементарных частиц и т.д. Планируется обосновать оптимальные режимы и разработать новые методы высокотемпературной радиационной модификации ПТФЭ при воздействии ионизирующих излучений с различными ЛПЭ (от 0,2 до ≈ 5000 эВ/нм).

Сопутствующими работами станут моделирование процессов взаимодействия ионизирующих излучений с ПТФЭ, протекающих на физической, физико-химической и химической стадиях радиолитического разложения полимеров и обоснование вклада ридберговских состояний атомов углерода и фтора, диенов и триенов в радиационно-химические превращения ПТФЭ и других фторполимеров и/или фтортеломеров.

В части комплементарных технологий профильными организациями будет осуществляться разработка радиационно-химических аппаратов и установок для радиационной модификации ПТФЭ для облучательных станций ARIADNA.

На основе выполненных исследований будет осуществляться создание новых высоконаполненных радиационно-защитных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и эффективных поглотителей гамма- и нейтронного излучений в качестве наполнителей — смеси микро- и нано-размерных частиц бора при степени наполнения до 60 объемных % методом полимеризационного наполнения, т.е. путем синтеза СВМПЭ на поверхности каталитически активированных частиц наполнителей. Будут проведены работы, нацеленные на выявление фундаментальных связей между условиями процесса синтеза композиционных материалов, степенью наполнения и соотношением между объемом микро- и наночастиц бора, особенностями структуры синтезируемых композитов,

молекулярно-массовыми характеристиками матрицы и уровнем достигаемых механических и радиационно-защитных свойств нанокompозитов.

Пучки комплекса NICA позволят провести исследование радиационной стойкости нанокompозиционных материалов для радиационной защиты с помощью длительного воздействия пучков ионов комплекса NICA в условиях, приближенных к воздействию ионизирующего излучения от ядерных установок и галактических космических лучей, а также исследование изменения молекулярно-массовых характеристик матрицы и прочности материала. Сопутствующей задачей фундаментального характера станет формулировка и решение кинетического уравнения распространения излучения в радиационно-защитном материале полимерного нано композита.

На основе полученных в экспериментах данных планируется создание комплекса компьютерных программ для проведения численных расчётов распространения излучения в материале нанокompозита на основе СВМПЭ с помощью статистических методов имитационного моделирования Монте-Карло.

В целях повышения радиационно-защитных свойств параллельно с проводимыми исследованиями будет осуществляться оптимизация параметров наполнителя композита: определение оптимальных размеров и соотношений объёмов микро- и наночастиц наполнителя в конечном материале для эффективной радиационной защиты. Будут проводиться расчёты эффективности получаемых радиационно-защитных нанокompозитов, оптимизация технологии создания материалов, их радиационной стойкости, массогабаритных и других свойств.

В части конечного применения разрабатываемых подходов планируется исследовать возможность создания высокочастотных графеново-полимерных транзисторов на основе ионно-транспортных мембран, полученных из пленок терморационномодифицированного политетрафторэтилена, обработанных пучками ускоренных частиц различных энергий.

В работах по радиационному материаловедению будут облучены образцы высокоэнтропийных сплавов Fe-Ni-Co-Mn-Vn и Gf- Zr-Nb-Mg-Vn с последующим измерением активности образцов.

Будет осуществляться разработка физико-технологических подходов для получения пористых (ядерных) мембран из пленок лавсана (иных полимеров) для создания и производства газоразрядных детекторов, а также отработка режимов облучения для формирования оптимальной морфологии пор.

Совместно с партнерскими организациями будет осуществляться разработка ядерно-физической технологии создания ВТСП кабелей с необходимыми электрофизическими характеристиками, а также изучаться возможности внедрения методики и расчетов критических параметров ВТСП лент в целях создания кабелей с необходимыми электрофизическими характеристиками для применения в компактных ускорителях частиц.

С использованием имеющейся в ОИЯИ и у партнерских организаций аналитической инфраструктуры, в частности, сканирующего электронного микроскопа LEO 1455 VP будет производиться исследование морфологии и элементного состава облучаемых образцов. С применением методов рентгеновской дифракции (дифрактометр высокого разрешения Rigaku Ultima IV) будет проводиться исследование фазового состава веществ. Имеющиеся в распоряжении научных групп стенды для тестирования электрофизических и иных характеристик позволят изучать электросопротивление и осуществлять проведение макетных испытаний прототипов детекторов с усилительным элементом из ядерной мембраны. Автоматизированные комплексы HFMS Cryogenics и Quantum Design VSM-PPMS будут иметь важное значение для проведения магнитометрии и исследования электрофизических свойств образцов в диапазоне температур 2-300 К и магнитных полей до 14 Тл.

Участвующими научными группами с применением развиваемых на комплексе NICA радиационных технологий будет проводиться разработка новых функциональных материалов в целях: производства реакторов четвертого поколения; производство термостойких защитных покрытий, толерантных материалов для защиты ТВЭЛОВ при экстренном сбросе теплоносителя, создания газоразрядных детекторов, разработки и создания компактных ускорителей частиц.

В части экспериментального исследования влияния облучения на сверхпроводящие свойства высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) лент 2-го поколения будут определяться уровни доз облучения, при котором происходит изменение токонесущих свойств ВТСП лент 2-го поколения, будут проводиться исследования механизма пиннинга вихревой структуры ВТСП-лент, подверженных радиационному облучению. Важным этапом будут работы по исследованию влияния радиационного облучения на свойства ВТСП кабелей различной конструкции, а также исследование морфологии и микроструктуры ВТСП лент после облучения, определение радиационной стойкости ВТСП-композитов по критической температуре и критическому току.

Смежной методической задачей станет разработка программного обеспечения для проведения экспериментальных исследований ВТСП лент 2-го поколения и токонесущей способности моделей кабелей различной конструкции, подверженных радиационному облучению. В дополнение к этому планируется разработать *in-situ* и *ex-situ* методики измерения свойств облученных ВТСП лент и токонесущей способности моделей кабелей различной конструкции. Также будут создаваться испытательные стенды для проведения экспериментов на основе разработанных методик.

В части практического применения будут прикладываться усилия, направленные на повышение критического тока высокотемпературных сверхпроводящих композитов с применением радиационных технологий. Будет подвергнуто исследованию радиационно-стимулированное изменение критического тока ВТСП композитов в особых условиях радиационных воздействий (наличие фонового магнитного поля и низкой температуры). В части развития сопутствующей инфраструктуры будет проводиться разработка, проектирование, изготовление и тестирование радиационных камер. Программой исследований в направлении работ по ВТСП предусмотрено проведение большого комплекса расчетов по различным аспектам изучаемых эффектов.

Методическое сопровождение пользовательской программы ARIADNA

В рамках проекта будет осуществлен запуск веб-портала ARIADNA и соответствующей системы сбора и рассмотрения заявок пользователей о проведении экспериментов.

Будет осуществляться организация работы экспертного комитета и пула технических специалистов для определения целесообразности и возможности проведения заявленного пользователем эксперимента наряду с мониторингом эффективности реализации пользовательской программы через отчетность участвовавших групп исследователей.

Развитие коллабораций ARIADNA

Проектом предусмотрена организационная и методическая поддержка работы коллабораций ARIADNA-LS, ARIADNA-MSTE, ARIADNA-NPT, включая проведение регулярных совещаний коллабораций, актуализацию научных программ коллабораций в соответствии с новыми возможностями для прикладных исследований, возникающими на комплексе NICA (во взаимодействии с организациями-участниками коллабораций).

Исследования в области инновационных ускорительных технологий для прикладных задач

Задачами проекта предусмотрено проведение работ по изучению возможностей ускорения частиц на комплексе NICA в режиме быстрой смены типа иона и энергии (т.н. «многоионный» пучок) и по формулировке предложений о внедрении этих методов в ходе планируемой модернизации Нуклотрона.

Риски

Главные риски при выполнении темы связаны с ограниченным количеством пучкового времени для выполнения исследований на комплексе NICA и других ускорителях ОИЯИ.

Библиографические ссылки

1. Бирюков В.М. Управление пучками заряженных частиц высоких энергий при помощи изогнутых монокристаллов / В.М. Котов, Ю.А. Чесноков // Успехи физических наук. - 1994. - №10. - С. 1017 - 1040.
2. Денисов С.П. Отклонение заряженных частиц кристаллами / С.П. Денисов // Соросовский образовательный журнал. - 1999. - №2.- С. 84 - 90.
3. Бородина А.А., Зверева Т.С. Отклонение пучков заряженных частиц кристаллами. Теория и практика современной науки. 8 (74). 2021 С. 76-79.

2.3. Предполагаемый срок выполнения: 2024–2027 гг.

2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ: ЛФВЭ, ЛЯП, ЛНФ.

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	10	20	25	30	—
Tier 1 (ядро-час)	0	0	0	0	—
Tier 2 (ядро-час)	0	0	0	0	—
СК «Говорун» (ядро-час) - CPU - GPU	0	0	0	0	—
Облака (CPU ядер)	0	0	0	0	—

2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

Организация	Страна	Город	Участники	Тип соглашения
Институт медико-биологический проблем РАН	Российская Федерация	Москва	А.С. Штемберг, В.А. Шуршаков, А.А. Переверзенцев, А.А. Раковская, А.А. Иванов, Т.М. Бычкова, О.В. Никитенко, Я.В. Сидакова, И.А. Кузнецова	Меморандум о взаимопонимании
Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России	Российская Федерация	Москва	А.Ю. Бушманов, А.Н. Осипов	Соглашение о научном сотрудничестве
Санкт-Петербургский государственный университет	Российская Федерация	Санкт-Петербург	В.И. Жеребчевский, С.Н. Иголкин, В.П. Кондратьев, Н.А. Мальцев, В.В. Петров, Н.А. Прокофьев, Г.А. Феофилов, Е.О. Землин, А.А. Марова, И.И. Ерыгин, Д.А. Комарова	Меморандум о взаимопонимании
Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН	Российская Федерация	Москва	М.Н. Ларичев, Л.И. Трахтенберг, А.С. Смолянский	Меморандум о взаимопонимании
Московский физико-технический институт	Российская Федерация	Долгопрудный	С.В. Леонов, Д.В. Кузьмин, А.В. Рогачев, М.В. Пустовалова	Меморандум о взаимопонимании
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН	Российская Федерация	Пуцдино	И.И. Селезнева, Н.Р. Попова, А.Л. Попов, С.С. Сорокина	Меморандум о взаимопонимании
Национальный исследовательский ядерный университет	Российская Федерация	Москва	И.А. Руднев, С.В. Покровский, И.В. Мартиросян	Меморандум о взаимопонимании

«МИФИ»				
Объединенный институт высоких температур РАН	Российская Федерация	Москва	П.Н. Дегтяренко	Меморандум о взаимопонимании
НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова	Российская Федерация	Дубна	Л.Г. Ткачев, Д.М. Подорожный	Соглашение о научно-техническом сотрудничестве
Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета	Республика Беларусь	Минск	Ю.А. Федотова	Меморандум о взаимопонимании
Научно-производственная компания ООО «Квант-Р»	Российская Федерация	Москва	В.В. Слесаренко	Меморандум о взаимопонимании
Научно-производственная компания «С-Инновации»	Российская Федерация	Москва	П.Н. Дегтяренко	Письмо о намерениях
МРНЦ им. Цыба	Российская Федерация	Обнинск	В.О. Сабуров	Письмо о намерениях
ИФТП	Российская Федерация	Дубна	А.Н. Смирнов	Договоры о выполнении НИОКР
ИЯФ АН РУз	Узбекистан	Ташкент	С.В. Артемов, Э. Ибрагимова, Г.А. Кулабдуллаев, Г. Абдуллаева	Протокол о сотрудничестве
СОГУ	Российская Федерация	Владикавказ	Н.Е. Пухаева, И.Н. Гончаров, Ю.Н. Касумов, Д.А. Лазаров	Протокол о сотрудничестве

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)

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	19,9	41
2.	инженеры	8	10,5

3.	специалисты	4,5	0
4.	служащие	0	0
5.	рабочие	0	0
	Итого:	32,4	51,5

*Включая сотрудников, привлекаемых в рамках коллабораций на основании подписанных с организациями соглашений, протоколов и МоУ.

3.2. Доступные кадровые ресурсы

3.2.1. Основной персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	ФИО	Подразделение	Должность	Сумма FTE
1.	научные работники	Белов О.В.	ОНМИИИ ЛФВЭ	Зам. нач. отделения по научной работе	1
2.		Тютюнников С.И.	ОНМИИИ ЛФВЭ	Начальник отделения	1
3.		Шаляпин В.Н.	ОНМИИИ ЛФВЭ	Начальник сектора	1
4.		Артюх В.А.	ОНМИИИ ЛФВЭ	Старший научный сотрудник	1
5.		Стегайлов В.И.	НЭОЯСР ЛЯП	Научный сотрудник	1
6.		Параипан М.	ОНМИИИ ЛФВЭ	Старший научный сотрудник	1
7.		Мицын Г.В.	ОФ ЛЯП	Начальник отдела	0,5
8.		Белокопытова К.В.	ОФ ЛЯП	Научный сотрудник	0,7
9.		Агапов А.В.	ОФ ЛЯП	Старший научный сотрудник	0,5
10.		Шипулин К.Н.	ОФ ЛЯП	Научный сотрудник	0,5
11.		Рзянина А.В.	ОФ ЛЯП	Старший научный сотрудник	0,3
12.		Мурин Ю.А.	ОНМИИИ ЛФВЭ	Начальник отдела	0,6
13.		Себаллос С.	ОНМИИИ ЛФВЭ	Ведущий научный сотрудник	0,4
14.		Дементьев Д.В.	ОНМИИИ ЛФВЭ	Научный сотрудник	0,3
15.		Крячко И.А.	ОНМИИИ ЛФВЭ	Научный сотрудник	1

16.		Ковалев Ю.С.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший научный сотрудник	1
17.		Ефимов В.В.	ОНМИИ ЛФВЭ	Научный сотрудник	0,4
18.		Булавин М.В.	СНИиКЗ ЛНФ	Начальник сектора	0,5
19.		Новиков М.С.	Ускор. отделение ЛФВЭ	Начальник сектора	1
20.		Шемчук А.В.	Ускор. отделение ЛФВЭ	Начальник группы	1
21.		Пухаева Н.Е.	ОФА ЛФВЭ	Старший научный сотрудник	0,5
22.		Рогов Ю.Н.	ОНМИИ ЛФВЭ	Научный сотрудник	0,5
23.		Слепнев В.М.	ОНМИИ ЛФВЭ	Начальник отдела	0,6
24.		Сапожников М.Г.	ОНМИИ ЛФВЭ	Главный научный сотрудник	0,4
25.		Садыгов З.	ОНМИИ ЛФВЭ	Главный научный сотрудник	0,4
26.		Рогачев А.В.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший научный сотрудник	0,8
27.		Жежер В.Н.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший научный сотрудник	0,4
28.		Шереметьев А.Д.	ОНМИИ ЛФВЭ	Младший научный сотрудник	0,4
29.		Маковеев Е.П.	ОНМИИ ЛФВЭ	Лаборант физической лаборатории	0,4
30.		Меркин М.М.	ОНМИИ ЛФВЭ	Ведущий научный сотрудник	0,4
31.		Леонтьев В.В.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший научный сотрудник	0,4
32.	инженеры	Джавадова В.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший инженер	1
33.		Артече Д.	ОНМИИ ЛФВЭ	Ведущий инженер	0,4
34.		Родригес А.	ОНМИИ ЛФВЭ	Ведущий инженер	0,4
35.		Андреев Д.И.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший инженер	0,4
36.		Пенкин В.А.	ОНМИИ ЛФВЭ	Инженер	0,6
37.		Воронин А.Л.	ОНМИИ ЛФВЭ	Инженер	0,4
38.		Цапулина Е.А.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший инженер	0,4
39.		Андреев Д.И.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший	0,4

				инженер	
40.		Панфилов А.А.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший инженер	0,4
41		Лыгденова Т.З.	ОНМИИ ЛФВЭ	Инженер	0,4
42.		Коложвари А.А.	ОНМИИ ЛФВЭ	Инженер-электроник 1 категории	0,4
43.		Рейес П.	ОНМИИ ЛФВЭ	Инженер	0,4
44.		Шитенков М.О.	ОНМИИ ЛФВЭ	Инженер	0,4
45.		Чан Нгок Т.	ОНМИИ ЛФВЭ	Инженер	0,4
46.		Эррера Б.	ОНМИИ ЛФВЭ	Инженер	0,4
47.		Воронин А.Л.	ОНМИИ ЛФВЭ	Инженер	0,4
48.		Матюханов Е.С.	Ускорительное отд.	Инженер	0,8
49.	специалисты	Цаплина Ю.А.	ОНМИИ ЛФВЭ	Специалист по работе с документами	1
50.		Марьин И.И.	Отделение №2 ЛФВЭ	Слесарь по контрольно-измерительным приборам и автоматике	0,7
51.		Андреева Т.В.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший техник	0,4
52.		Семчукова Т.В.	ОНМИИ ЛФВЭ	Старший техник	0,4
53.		Патронова С.В.	ОНМИИ ЛФВЭ	лаборант	0,4
54.		Гаганова М.А.	ОНМИИ ЛФВЭ	Специалист	0,4
55.		Гореликов И.П.	ОНМИИ ЛФВЭ	Специалист	0,4
56.		Перес М.	ОНМИИ ЛФВЭ	Специалист	0,4
57.		Удовенко С.Ю.	ОНМИИ ЛФВЭ	Специалист по материальном у учету и контролю	0,4
	Итого:	57	–	–	32,4

3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ (Включая сотрудников, привлекаемых в рамках коллабораций на основании подписанных с организациями соглашений, протоколов и MoU)

№№ п/п	Категория работников	Организация-партнер	Сумма FTE
1.	научные работники	Институт медико-биологический проблем РАН	4,5
2.		Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.	3,5

		Бурназяна ФМБА России	
3.		Санкт-Петербургский государственный университет	4,5
4.		Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН	5,5
5.		Московский физико-технический институт	3,5
6.		Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН	2,5
7.		Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»	3
8.		Объединенный институт высоких температур РАН	2
9.		НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова	1
10.		Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета	3
11.		МРНЦ им. Цыба	2
12.		ИЯФ АН РУз	3
13.		СОГУ	3
14.	инженеры	Институт медико-биологический проблем РАН	2
15.		Московский физико-технический институт	3,5
16.		Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»	2
17.		Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета	1
18.		Научно-производственная компания ООО «Квант-Р»	1
19.		ИФТП	1
	Итого:	—	51,5

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.

2 830 тыс. долл.

4.2. Внебюджетные источники финансирования

Предполагаемое финансирование со стороны соисполнителей/заказчиков — общий объем.

~ 60 тыс. долл. Предполагается задействовать финансирование в рамках целевых программ, грантов и иных внешних источников. Со стороны сотрудничающих организаций предполагается вклад в форме «in kind».

Руководитель проекта / подпроекта КИП _____/О.В. Белов/

Дата представления проекта / подпроекта КИП в ДНОД _____

Дата решения НТС Лаборатории _____, номер документа _____

Год начала проекта / подпроекта КИП 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)	230	55	55	60	60	—	
	Материалы	385	90	95	100	100	—	
	Оборудование и услуги сторонних организаций	1060	260	265	265	270	—	
	Пуско-наладочные работы	120	30	30	30	30	—	
	Услуги научно- исследовательских организаций	300	80	80	70	70	—	
	Приобретение программного обеспечения	50	10	15	15	10	—	
	Проектирование/строительство	185	90	95	0	0	—	
	Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)	0	0	0	0	0	—	
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы					—	
		– сумма FTE,	327,2	75,7	80,5	85,4	85,6	—
		– ускорителя Нуклотрон (каналы для прикладных иссле- дований)	144 ч	24 ч	24 ч	48 ч	48 ч	—
		– ускорителя Нуклотрон (установка VM@N)	2700 ч	600 ч	600 ч	700 ч	800 ч	—
		– ускорителя Фазотрон	400 ч	100 ч	100 ч	100 ч	100 ч	—
Источники финансирования	Бюдже- тные	Бюджет ОИЯИ (<i>статьи бюджета</i>)	2330	615	635	540	540	—
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей	0	0	0	0	0	—
		Средства по договорам с заказчиками	0	0	0	0	0	—
		Другие источники финансирования	60	30	10	10	10	—

Руководитель проекта / подпроекта КИП _____/_____/

Экономист Лаборатории _____/_____/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

ARIADNA

02-1-1107-2024

ФИО РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА: Белов О.В., Тютюнников С.И.

СОГЛАСОВАНО

ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ИНСТИТУТА

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ЛАБОРАТОРИИ

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ / КИП

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА /
ПОДПРОЕКТА КИП

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА

ОДОБРЕН ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ

ПОДПИСЬ

ФИО

ДАТА