Приложение 3.

Форма открытия (продления) Проекта

	УТВЕРЖДАЮ			
	Директор Института			
		/	/	
"	"		2025 г.	

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОТКРЫТИЯ / ПРОДЛЕНИЯ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА 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 указывается для инфраструктурной темы, т. к. она определяется сроками завершения проектов в теме).

02-2-1151-1-2025 Разработка современных детекторов и методов анализа, адронные и редкие лептонные процессы

1.2. Шифр проекта (для продлеваемых проектов / подпроектов)

02-2-1151-2-2026/2027

1.3. Лаборатория Лаборатория ядерных проблем им. В.П. Джелепова

1.4. Научное направление Физика элементарных частиц и физика тяжелых ионов высоких энергий (02)

1.5. Наименование проекта Разработка физической программы и детекторов для экспериментов на СЕРС

1.6. Руководители проекта Ю.И. Давыдов А. С. Жемчугов

1.7. Заместители руководителя проекта

Ю.А. Кульчицкий А.Б. Арбузов

1.8. Научный руководитель проекта

2. Научное обоснование и организационная структура

2.1. Аннотация

Открытие бозона Хиггса на LHC ознаменовало начало новой эры в физике высоких энергий. Точные измерения свойств бозона Хиггса и исследование новой физики за пределами Стандартной модели (СМ) с использованием бозона Хиггса в качестве инструмента кажутся естественным следующим шагом после LHC и высокой светимости LHC (HL-LHC). Наиболее привлекательными для этого являются электрон-позитронные коллайдеры, несколько проектов которых — ILC, CLIC и FCC-ее — были выдвинуты за последние два десятилетия. В 2012 году в Китае был предложен проект кольцевого электрон-позитронного коллайдера (СЕРС) с периметром по окружности 100 км. СЕРС это e⁺e⁻ фабрика Хиггсовских бозонов для рождения бозонов Хиггса/W/Z, которая предназначена для беспрецедентно прецизионных измерений характеристик бозона Хиггса, проверки предсказаний электрослабой теории, физики ароматов, КХД и исследования новой физики за пределами СМ. После модернизации и увеличения энергии пучков, СЕРС сможет рождать пары топ-кварков, а в будущем в тоннеле СЕРС может быть построен протон-протонный ускоритель. В настоящее время СЕРС находится на этапе завершения технического проектирования ускорителя, а конфигурация базового детектора близка к завершению. Ожидается, что проект СЕРС будет представлен правительству Китая на утверждение осенью 2025 года, а решение будет принято в начале 2026 года.

Группа ОИЯИ имеет большой интерес к участию в экспериментах на СЕРС и богатый опыт в области физики частиц высоких энергий, полученный в экспериментах ATLAS и CMS на LHC, а также на ускорителях HERA и LEP, в экспериментах CDF и BESIII. На протяжении нескольких лет группа ОИЯИ успешно сотрудничает с Институтом физики высоких энергий Китайской академии наук в подготовке программы физических исследований на CEPC, теоретической поддержке предстоящих экспериментов и разработке программного обеспечения. Однако возможность начала реализации проекта CEPC с 2026 года и, связанная с этим подготовка к созданию международных коллабораций экспериментов на базе CEPC, требуют существенного расширения участия ОИЯИ в проекте.

Данный проект является продолжением и развитием проекта № 02-2-1151-1-2025/2025 «Разработка методики регистрации частиц в будущих экспериментах с участием ОИЯИ» в рамках Тематического плана ОИЯИ на 2025 год с конкретными целями и задачами, включая разработку физической программы для выполнения задач экспериментов на СЕРС.

Целью данного проекта является внесение предложений в программу физических исследований, участие в разработке программного обеспечения и проведения вычислений, а также выполнения серии НИОКР по детекторам, направленным на дальнейшее использование в СЕРС. Таким образом, в течение следующих двух лет закладывается краеугольный камень для будущего полноценного участия ОИЯИ в экспериментах на СЕРС при условии одобрения строительства этого ускорителя правительством Китая.

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

Цель

Стандартная модель в физике элементарных частиц является теорией, которая с высокой точностью описывает большое количество независимых физических наблюдаемых. В то же время, СМ может считаться эффективным низкоэнергетическим приближением будущей более фундаментальной теории. Помимо того, что должны быть открыты новые физические явления при более высокой энергии, остается много вопросов к самой СМ. Прежде всего это вопрос о механизме образования бозона Хиггса. Открытие в 2012 году в экспериментах ATLAS и CMS бозона Хиггса со спином ноль ознаменовало начало новой эры в физике элементарных частиц и, в то же время, поставило новые важные вопросы. Очевидно, что поиск ответа на эти вопросы потребует дальнейших экспериментальных и теоретических исследований на границе электрослабой энергетической шкалы. Точное измерение свойств бозона Хиггса, топ-кварка и всех других параметров CM станет главной целью физики высоких энергий в ближайшие десятилетия. Прямое открытие физики за пределами CM было бы большим успехом, также как косвенное исследование CM посредством наблюдения экспериментальных отклонений от ее теоретических предсказаний имеет первостепенное значение.

Актуальность и научная новизна

Эксперименты ATLAS и CMS на HL-LHC будут измерять сечения рождения бозона Хиггса с точностью около 5%. Исследование новой физики, далеко выходящей за пределы досягаемости LHC, потребует измерений свойств бозона Хиггса с точностью менее процента. Для достижения такой точности измерений необходимы новые ускорители – кольцевой электрон-позитронный коллайдер (CEPC) в Китае и будущий электрон-позитронный коллайдер (FCC-ее) в ЦЕРН. Оба коллайдера будут работать при энергиях в системе центра масс 240 ГэВ, 91,2 ГэВ, 160 ГэВ и, после модернизации, 360 ГэВ, действуя как фабрика бозонов Хиггса, Z-терафабрика, пороговое сканирование WW и фабрика топ-кварков, соответственно.

Научная программа для коллайдеров СЕРС и FCC-ее хорошо проработана. Основными целями являются изучение физики бозона Хиггса, высокоточные измерения при энергии Z бозона, изучение физики топ-кварка и поиск новых физических явлений за пределами СМ [1–4].

Бозон Хиггса является уникальным по чувствительности зондом для проведения исследований физики за пределами СМ. Новые явления могут проявляться в виде отклонений в связях бозона Хиггса с другими известными частицами по отношению к предсказаниям СМ. В СЕРС большинство связей бозона Хиггса могут быть измерены модельно-независимым способом с точностью на уровне ниже процента. В экспериментах на СЕРС будут измерены многие ключевые свойства бозона Хиггса, такие как общая ширина и доли распадов, что значительно расширяет область исследований. Низкие фоновые загрузки для событий в экспериментах на СЕРС позволят детально изучить известные распады и идентифицировать потенциальные неизвестные распады, которые крайне трудно обнаружить на LHC. На рисунке 1 представлено сравнение относительной погрешности измерений связей бозона Хиггса в экспериментах на СЕРС с аналогичными результатами измерений в экспериментах на HL-LHC, которое возможно только с модельно-зависимыми предположениями. Даже при таком наборе ограничительных предположений видно существенное преимущество СЕРС, в частности, точность измерения κ_Z более чем в 10 раз превышает возможности HL-LHC. СЕРС также может значительно улучшить точность измерения параметров κ_b , κ_c и κ_g , на которые влияют значительно более худшие фоновые условия в протон-протонных взаимодействиях на LHC. Хорошо мотивирован прямой поиск распада бозона Хиггса на невидимые частицы из физики за пределами CM, который тесно связан с темным сектором материи.



Рисунок 1. Точность измерения связей бозона Хигтса с другими известными частицами в экспериментах на СЕРС и HL-LHC [5]. Представлены результаты для СЕРС при энергии 240 ГэВ с интегральной светимостью 5.6 аb⁻¹. Результаты СЕРС без комбинации с входными данными HL-LHC показаны в виде светло-красных полос. Результаты LHC для интегральной светимости 300 fb⁻¹ показаны в виде светло-серых полос.



Рисунок 2. Верхние пределы 95% С.L. для отобранных распадов бозона Хигтса по экзотических модах в экспериментах на HL-LHC и CEPC [10]. Красные столбцы соответствуют результатам с использованием только лептонных распадов Z-бозона. Желтые столбцы включают дополнительно экстраполяцию с включением адронных распадов Z-бозонов.

Бозон Хиггса может стать важным порталом в новую физику за пределами СМ. Физика за пределами СМ может проявиться через экзотические распады бозона Хиггса, в случае, если некоторые степени свободы являются легкими. Имеется богатое разнообразие возможностей для таких распадов. Рассматриваются двухчастичные распады бозона Хиггса на частицы за пределами СМ, $H \rightarrow X_1 X_2$, где частицы X_i могут впоследствии распадаться. Исследование этих процессов хорошо мотивировано моделями за пределами СМ, такими как синглетные расширения СМ, модели с двумя дублетами Хиггса, SUSY, порталы Хиггса, калибровочные расширения СМ и т.д. [6–8]. Новые стратегии, с использованием последних достижений в создании детекторов [9], должны быть разработаны для поиска распада бозона Хиггса на долгоживущие частицы. Результаты по точности измерения верхней границы для ряда экзотических распадов бозона Хиггса, которые трудно зарегистрировать в экспериментах на LHC, представлены на рисунке 2. По сравнению с HL-LHC для рассматриваемых каналов улучшение точности измерения верхней границы обнаружения экзотических распадов бозона Хиггса является значительным и варьируется от одной до четырех порядков величины. Для экзотических распадов бозона Хиггса в адронные конечные состояния плюс недостающая энергия, $bb+ME_T$, $jj+ME_T$ и $\tau^+\tau^-+ME_T$ эксперименты на СЕРС улучшают чувствительность экспериментов на HL-LHC на тричетыре порядка величины.

Методы и подходы

Ускоритель СЕРС

Ускоритель СЕРС представляет собой 100-километровый коллайдер с двумя точками пересечения пучков и мощностью синхротронного излучения 30 МВт, в качестве базового варианта, с возможностью модернизации до 50 МВт. Поперечное сечение туннеля составляет 6 метров в ширину и 5 метров в высоту, что позволит разместить бустер, СЕРС и будущий протон-протонный коллайдер SppC. Коллайдер рассчитан на работу при энергиях в центре масс 240 ГэВ (фабрика бозонов Хиггса), около 91,2 ГэВ (фабрика Z), около 160 ГэВ (сканирование порога WW) и, после модернизации, до 360 ГэВ (пара топ-кварков) [11]. Ожидается, что на коллайдере будет рождено ~4 М бозонов Хиггса, ~20 М WW и ~4 T Z-бозонов, что позволит измерять их свойства с беспрецедентной точностью и исследовать физику за пределами CM.

Детекторы СЕРС

В настоящее время разработка конструкции двух детекторов, которые будут установлены в точках пересечения пучков СЕРС, еще не завершена. Рассматриваются несколько возможных конфигураций детекторов, выбор между которыми будет сделан позже, на этапе формирования коллабораций экспериментов и технического проектирования установок детекторов, в соответствии с имеющимися технологиями и результатами НИОКР.

Концепция детектора СЕРС основана на необходимости обеспечения высокой производительности, которая требуется для реализации программы прецизионных физических исследований, связанных с систематической проверкой СМ и поиском новых физических явлений за ее пределами в широком диапазоне энергии в системе центра масс и при высокой светимости пучков коллайдера. Эти требования включают в себя большой и четко определенный телесный угол регистрации событий, превосходную идентификацию частиц, точные измерения энергии и импульса частиц, точную реконструкцию вершин, превосходную реконструкцию струй и маркировку ароматов. Физическая программа требует, чтобы все возможные конечные состояния от распадов промежуточных векторных бозонов, W и Z, и бозонов Хиггса были идентифицированы и реконструированы с высоким разрешением. В частности, необходимо четко различать конечные состояния распадов $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4j$ и $H \rightarrow WW \rightarrow 4j$ для чего энергетическое разрешение калориметрической системы СЕРС для адронных струй должно быть лучше, чем у существующих на данный момент калориметрических систем. Распад бозона Хиггса на два фотона и поиск невидимых распадов бозона Хиггса накладывают дополнительные требования на разрешение измерений энергии и недостающей энергии. Измерение связи бозона Хиггса с очарованным кварком требует, чтобы детекторы СЕРС отличали b-струи, с-струи и легкие струи друг от

друга с высокой эффективностью. Чувствительность к распадам Хиггса на мюонные пары требует высокого импульсного разрешения. Два последние условия определяют требования к вершинному детектору и трековой системе.

Концептуальный проект СЕРС [1] содержит три возможные конфигурации детекторов. Базовая концепция детектора СЕРС была разработана на основе концепции детектора ILD проекта ILC, оптимизированной для условий СЕРС. В этом детекторе используется сверхвысокогранулированная калориметрическая система для эффективного разделения ливней частиц в конечном состоянии, трековая система с низким бюджетом материала для минимизации взаимодействий частиц конечного состояния и соленоид с напряженностью магнитного поля в 3 Тесла, который окружает калориметрическую систему. Рассматриваются два варианта трековой системы. Вариант по умолчанию — это комбинация кремниевого трекера и время-проекционной камеры (ТРС). Другой вариант полностью кремниевый трекер. Альтернативная концепция детектора, IDEA, использует калориметр с двойным считыванием для достижения превосходного энергетического разрешения как для электромагнитных, так и для адронных ливней. По сравнению с базовым детектором, IDEA имеет более низкое соленоидальное поле в 2 Тесла, но это компенсируется большим объемом трековой системы. IDEA также был предложен в качестве одного из детекторов для проведения исследований на FCC-ее [12].

Кроме того, недавно была разработана новая конструкция калориметра на основе алгоритма по реконструкции потока частиц (PFA), который улучшает разрешение по массе бозона с 4% до 3% [13]. Основная идея заключается в использовании длинных кристаллов в ECAL для получения гораздо лучшего электромагнитного разрешения (~3%/ \sqrt{E}), а также в использовании сцинтилляционного стекла высокой плотности в качестве активного материала HCAL для достижения лучшего коэффициента дискретизации и, следовательно, лучшего разрешения по адронной энергии (~40%/ \sqrt{E}). Основная цель системы калориметра PFA — достичь разрешения по энергии струи около 30-40%/ \sqrt{E} для удовлетворения требований физической программы. Объединение кремниевого трекера с TPC или дрейфовой камерой позволяет улучшить разрешения импульса заряженных частиц и добиться лучшей идентификации частиц (~3 $\sigma \pi/K$ разделения для частиц с импульсом до 20 ГэB/с).

Методики

Работы по проекту 1151 начаты в 2025 году и основные направления будут продолжены в ближайшие годы. Ниже представлены использованные методики и полученные результаты.

Исследованы возможности улучшении базовых характеристик электромагнитных калориметров типа шашлык в условиях ограниченной эффективности спектросмещающих волокон (файберов). С этой целью проведено систематическое Монте-Карло исследование в рамках разработанной модели базовых характеристик электромагнитного калориметра типа "шашлык", который, в частности, может быть применен в эксперименте SPD на коллайдере NICA. В модели Рb-сцинтилляционном калориметра используются волокна, имеющие небольшую длину затухания. Это приводит к ухудшению линейности отклика и энергетического разрешения электромагнитного калориметра. Для улучшения характеристик подобных электромагнитных калориметров был предложен инновационный метод, в котором используется упорядоченное по мере уменьшения эффективности светосбора расположение сцинтилляционных пластин. С использованием Монте-Карло модели показано, что данный метод позволяет существенно улучшить линейность отклика (рисунок 3) и энергетическое разрешение электромагнитного калориметра для пучков электронов и гамма-квантов с энергией от 0.05 до 8 ГэВ. На рис. 3 приведены сравнения

идеального волокна (без затухания), Kuraray Y11 и OLS-8. Предложенный метод позволяет, в условиях ограниченной инструментальной базы, сократить финансовые затраты на производство электромагнитного калориметра при улучшении его базовых характеристик.

По результатам данного исследования подготовлена к отправке в журнал статья, результаты докладывались на IX Совещании коллаборации SPD 12-16 мая 2025, в Ереване, Армения.



Рисунок 3. Линейность отклика модуля электромагнитного калориметра с использованием корректирующей модели и без нее для случаев облучения электронами (слева) и гамма-квантами (справа) в зависимости от энергии пучка.

В рамках работ по исследованию радиационной стойкости неорганических сцинтилляторов изучается влияние гамма-облучения на BaF_2 . Исследуемые образцы – кристаллы чистого и легированного иттрием фторида бария в форме куба с размерами $10x10x10 \text{ мм}^3$. Все грани образцов оптически отполированы. Для проведения эксперимента были отобраны 24 образца и выделены в 6 групп, каждая из которых состояла из чистого образца и легированных с содержанием иттрия 1, 3 и 5 молярных процента. Характеристики образцов измерялись до и после облучения на гамма-облучательном комплексе в Институте радиационных проблем (Баку) радиоактивным источником ⁶⁰Со с общей активностью на момент облучения 3586,5 Ки. У образцов измерялись полный световыход в течение 3 мкс после начала сцинтилляционной вспышки, световыход быстрой компоненты вспышки в первые 20 нс, энергетическое разрешение при регистрации гамма-квантов с энергией 511 кэВ от источника ²²Na. Также измерялось светопропускание образцов в диапазоне длин волн 200-600 нм.

Каждая группа образцов была облучена до соответствующей поглощенной дозы: 29 рад, 290 рад, 2,9 крад, 29 крад, 290 крад, 2,9 Мрад в аланиновом эквиваленте. Для расчета истинных значений поглощенных доз кристаллами было проведено компьютерное моделирование с использованием реальной геометрии облучательной установки РХМ-гамма-25. Результаты моделирования показали, что коэффициент пересчета мощности дозы для фторида бария относительно аланина составляет 1,25 и реальные значения поглощенных доз для каждой группы образцов составили соответственно 36 рад, 360 рад, 3,6 крад, 36 крад, 360 крад.

Результаты исследования показывают, что после облучения световыходы всех образцов падают. Наибольший интерес представляет поведение быстрой компоненты высвечивания. Отношение быстрой компоненты высвечивания к полному сигналу после облучения падает у всех образцов, но наибольшее падение демонстрируют образцы с 3% добавками иттрия. У этих же образцов - наибольшее падение световыхода быстрой компоненты, как видно на рис. 4. Этот результат совпадает с наблюдавшимся нами ранее падением световыходов аналогичных образцов после облучения в пучке нейтронов реактора ИБР-2М.



Рис. 4. Световыходы быстрой компоненты высвечивания всех образцов до и после облучения, в фотоэлектронах/МэВ.

Предварительные результаты этих исследований были представлены на сессииконференция секции ядерной физики ОФН РАН в феврале 2025 г. (Москва). В настоящее время нами готовится статья для отправки в журнал.

Проведено исследование влияния гамма-излучения на свойства GaN транзисторов и усилителей для SiPM на их основе. В качестве исследуемых образцов были использованы силовые GaN транзисторы IGLR60R260D1 производства Infineon (Германия). Образцы были облучены гамма-источником ⁶⁰Со дозами до 3 Мрад.

На рис. 5 приведен сравнительный анализ характеристик транзисторов до и после облучения, а также сопоставление этих характеристик со схемотехнической моделью.

Из необлученных и облученных транзисторов были изготовлены разработанные для SiPM EQR20 11-6060D-S усилители, для которых были проведены измерения и сравнение AЧХ, полосы частот и спектров шумов (рис. 6). Исследование показало достаточную радиационную стойкость выбранных GaN транзисторов при поглощенной дозе до ~3 Мрад. Это позволяет предложить использовать GaN как перспективный радиационно-стойкий материал для разработки усилителей для современных высокозагруженных детекторов.



Рис. 5. Передаточные и выходные характеристики транзистор. Для передаточной характеристики $V_{DS} = 5$ B, для выходной характеристики $V_{GS} = 1,3$ B.



Рис. 6. Сравнение АЧХ и спектра шумов усилителей из облученных и необлученных транзисторов

Предварительные результаты данного исследования были представлены на сессииконференция секции ядерной физики ОФН РАН. В настоящее время готовится публикация по теме проведенного исследования.

В рамках работ с микроструктурными газовыми детекторами разработаны и произведены тестовые платы с резистивным покрытием из алмазоподобного углерода (DLC) для изготовления детекторов Микромегас. На основе данных плат произведены прототипы детекторов Микромегас для проведения эксперимента по накоплению множественных пробойных событий (порядка 100 миллионов на кв.см.) и исследования их влияния на характеристики детектора с резистивным анодом из DLC-покрытия.

На измерительном стенде в ЛЯП ОИЯИ проведено тестирование таких прототипов по накоплению множественных пробойных событий от высокоионизирующих частиц. Продемонстрирована устойчивость микроструктурного детектора с резистивным анодом из DLC-покрытия ко множественным пробойным событиям и возможность его применения в условиях больших загрузок высоко ионизирующими частицами (например, условия, ожидающиеся во внутреннем трекере эксперимента SPD). На основе полученных результатов готовится публикация.

Разработаны и произведены гибкие полиимидные платы толщиной 50 мкм со считывающими электродами для изготовления прототипа микроструктурного газоразрядного детектора по технологии Bulk MicroMegas с малым количеством вещества. Разработан дизайн детектора, изготовлен макет прототипа детектора и готовится производство и тестирование прототипа детектора по технологии Bulk MicroMegas с малым количеством вещества. Разработан способ создания микроструктурного диэлектрического шаблона для изолирования анодного высоковольтного сетчатого электрода с помощью метода фотолитографии для изготовления электронного умножителя «колодезного» типа с резистивным анодом (RWELL). Изготовлен прототип такого детектора с изолирующей микроструктурой для сетчатого высоковольтного электрода. Вскоре начнутся испытания прототипа.

В мюонных системах современных установок часто используются длинные сцитилляционные стрипы со считыванием сигналов при помощи спектросмещающих волокон. Стрипы могут иметь различные геометрии сечений и способы размещения волокон. Важной задачей является надежная регистрация сигналов с длинных счетчиков и обеспечение высокой эффективности при прохождении мюона через любую точку поперечного сечения стрипа. Эти исследования проводятся в этом году и будут продолжены в следующие годы.

Нами сделан поперечный скан стрипа треугольного сечения на космических мюонах. Сечение стрипа имеет форму прямоугольного треугольника с основанием 33 мм и

высотой 17 мм, волокно вставлено в продольное отверстие в центре стрипа. Общий триггер от космических мюонов запускался от совпадений двух сцинтилляционных счетчиков размерами 80х80х10 мм³. Толщина триггерных счетчиков 10 мм определяла размер области вдоль стрипа, где регистрировались проходящие мюоны. Мюоны регистрировались трековым детектором, состоящим из двух 32-канальных годоскопов со сцинтилляционными волокнами Kuraray SCSF-81J сечением 2х2 мм² (левая часть рисунка 7).Свет собирался с помощью матриц из 16 SiPM SensL MicroFJ-SMA-30020 с рабочей поверхностью 3х3 мм².

Был проведен долговременный набор данных, набрано примерно 36 тыс. событий. Во время анализа данных отбирались вертикально проходящие мюоны из общего числа путем выбора совпадений сигналов с соответствующих волокон с верхнего и нижнего годоскопов. Такой подход позволил отобрать космические мюоны с расходимостью в ± 0.04 радиан (2.3 градусов) поперек стрипа и в ± 0.11 радиан (6.5 градусов) вдоль стрипа. В среднем отобрано около 120 событий на позицию или примерно 3.5 тысяч событий из 36 тысяч набранных.



Рис. 7. Вид сборки при наборе данных на космике (слева) и предварительный результат поперечного скана стрипа треугольного сечения (справа).

На основании полученных результатов для светосбора от прохождения мюонов была построена зависимость светосбора от позиции поперек стрипа (правая часть рис. 7). Дальнейшие планы исследования стрипов включают изучение светосбора и длины затухания стрипов прямоугольного сечения с различным расположением и диаметрами волокон.

В ходе выполнения проекта проводилось моделирование гетерогенных детекторов нейтронов большой толщины. Рассматривался композит, который включает зерна стеклянного литийсодержащего сцинтиллятора NE 912 в поддерживающем оптическом связующем. Целью исследований было определение максимальной конверсионной эффективности нейтронов и минимальной γ – чувствительности детектора при вариации параметров структуры композита – размера зерен, концентрации стекла и полной толщины. Для расчетов энергии, переданной сцинтиллятору при экспозиции тепловыми нейтронами и γ -квантами, была разработана компьютерная программа моделирования методом Монте Карло.

Моделирование показало, что эффективность конверсии нейтронов имеет максимум в области размера зерен от 400 до 500 мкм для тонких композитов и малых концентраций NE 912 (рис. 8). При компромиссном значении эффективности конверсии нейтронов равном 0,7 для композита толщиной 15 мм можно получить γ -чувствительность на уровне около S = 7×10^{-8} , на порядок ниже, чем у NE 912 толщиной 1 мм.

В рамках проекта были разработаны и созданы образцы нейтронных сцинтилляторов на основе кристаллов сульфида цинка, фтористого лития и оксида бора, произведенных в России («Люминофор», Ставрополь). В настоящее время проведены измерения

прозрачности произведенных образцов. Дальнейшие исследования будут проведены на пучке тепловых нейтронов реактора ИБР-2М.



Рис. 8. Зависимость эффективности конверсии нейтронов от размера зерен для толщин сцинтиллятора 2, 5 и 10 мм. Концентрации зерен стеклянного сцинтиллятора: 10, 20 и 30%.

Предварительные результаты моделирования были представлены на сессииконференция секции ядерной физики ОФН РАН. Работа подготовлена к публикации. Исследования гетерогенных детекторов нейтронов будут завершены в 2025 году.

Строу-трубки представляют из себя однокоординатные проволочные детекторы. Координата прохождения частицы определяется по времени дрейфа электронов, а для определения второй координаты вдоль проволоки обычно используются ортогонально раположенные трубки. Мы проводим исследования строу-трубок со съемом информации о координате вдоль проволоки по наведенным сигналам на сегментированных катодных поверхностях строу-детекторов. Изготовленный и испытанный ранее прототип строудетектора со стрипами на внешней поверхности катода (Рис. 9, слева) показал возможность получения информации о координате вдоль детектора по центру тяжести заряда с высокой точностью до 100 мкм. При этом внутренняя поверхность катода должна иметь конечную проводимость для возможности регистрации наведенного заряда на внешних стрипах. Недостаток такого метода и конструкции – большое количество электроники и трудности подсоединения контактов к сегментам тонкостенного катодной трубки. Для уменьшения числа каналов нами предложен двухэтапный способ определения координат вдоль строудетектора методом «двойного клина». Внутренняя часть катода имеет проводящее покрытие на основе графита с сопротивлением 3 кОм/квадрат и разделена по длине на два клина. Наружная поверхность катода имеет золотое покрытие, разделённое на две части с повторяющейся структурой «двойной клин» с шагом 27 мм (Рис 9, справа). По соотношению зарядов на внутренних клиньях определяется координата прохождения частицы с низким разрешением, данные с внешних клиньев позволят получить точность лучше 0.5 мм.



Рис. 9. Двухкоординатные строу-детекторы с катодом с сегментированными стрипами (слева) и с катодом «двойной клин» (справа).

Начаты первые испытания изготовленного прототипа. Результаты показали сильное влияние друг на друга внутренних и внешних катодных электродов. По-видимому, емкостная связь электродов искажает сигналы. Несмотря на это, метод выглядит очень перспективным и мы планруем продолжение этих работ.

Работы по разработке методов калибровки электромагнитных и адронных калориметров, исследованию радиационной стойкости неорганических сцинтилляторов и элементов электроники, по созданию прототипов калориметров и исследованию их параметров, оптимизации детекторов мюонной системы, разработке микроструктурных газовых детекторов будут продолжены в рамках проекта.

Ниже представлены планы работ в рамках проекта.

1. Разработка экспериментальной программы

Исследование физических характеристик нескольких задач будет проведено для экспериментов на СЕРС с использованием Монте-Карло моделирования и будут разработаны эффективные процедуры анализа.

Физика бозонов Хиггса является основной задачей экспериментов на СЕРС на протяжении всех 10 лет набора данных. Процессы, происходящие с образованием бозона Хиггса в СЕРС при энергии $\sqrt{s} \sim 240-250$ ГэВ, это $e^+e^- \rightarrow ZH$, $e^+e^- \rightarrow v\bar{v}H$ и $e^+e^- \rightarrow e^+e^-H$. Кандидаты в бозоны Хиггса могут быть идентифицированы с использованием метода отдачи массы, без маркировки их распадов. Доли распада бозона Хиггса могут быть определены путем изучения его отдельных мод распада. Распады бозона Хиггса, которые можно идентифицировать по их уникальным сигнатурам, будут изучаться в следующих режимах: $H \rightarrow b\bar{b}/c\bar{c}/gg$, $H \rightarrow WW^*$, $H \rightarrow WZ^*$, $H \rightarrow W\gamma$, $H \rightarrow \tau^+\tau^-$, $H \rightarrow \mu^+\mu^-$, $H \rightarrow inv$. Будет проведено систематическое исследование процессов $e^+e^- \rightarrow ZX$ с целью прецизионного определения свойств бозонов Хиггса и поиска новых физических явлений за пределами СМ с использованием генераторов Монте-Карло с полным моделирования сигнальных и фоновых событий детектора. В результате будут разработаны алгоритмы для достижения наилучшего соотношения сигнал/фон для выбранных процессов. На основе этого анализа ожидается, что значения характеристик бозона Хиггса будут получены с точностью на порядок лучше, чем в экспериментах на HL-LHC, и откроется возможность для открытия новых физических явлений за пределами СМ.

Ожидаемая большая выборка $B_s^0 \, u \, B_c^+$ мезонов позволяет измерять СР-нарушающую фазу ϕ_s в распаде $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi(1020)$ с беспрецедентной точностью. Превосходная идентификация частиц, точная реконструкция треков и вершин, а также большой геометрический акцептанс планируемых детекторов на СЕРС позволят измерить фазу ϕ_s в другом B_s^0 канале распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$.

Кроме того, существует значительный интерес к процессам, происходящим с образованием тяжелых (*c*, *b*) ароматов и их связанных состояний в e^+e^- аннигиляции в целом. Такие процессы, в частности, являются фоном для многих процессов новой физики за пределами СМ, которые будут изучаться в экспериментах на СЕРС. Их сечения огромны; например, вблизи массы Z-бозона они на два порядка больше сечения процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$

Z. Важно, что прямая информация о функциях фрагментации тяжелых кварков в мезоны может быть получена в результате прецизионных измерений полных и дифференциальных сечений образования D- и B-мезонов в e^+e^- аннигиляции, что позволит существенно повысить точность измерения функций фрагментации. Экспериментальные исследования реакций при столкновениях виртуальных фотонов, образующихся в e^+e^- взаимодействиях, наряду с изучением процессов образования связанных состояний тяжелых кварков (кваркониев), позволят получить информацию о динамике взаимодействия кварков и глюонов в новой кинематической области. Именно изучая эти реакции, мы можем извлечь новую информацию о поведении электромагнитных форм-факторов во времениподобной области переданных импульсов, $Q^2 > 0$.

Наконец, двухфотонные столкновения предлагают множество физических явлений, которые могут быть изучены на будущих электрон-позитронных коллайдерах [14]. Используя планируемые параметры СЕРС в качестве ориентира, будут рассмотрены несколько задач в рамках двухфотонных столкновений. При полностью интегрированной светимости может надежно наблюдаться фоторождение бозона Хиггса, в результате может быть набрана большая статистика по различным состояниям кваркония. Результаты LEP для структурной функции фотона и аномального магнитного момента тау-лептона могут быть улучшены на 1-2 порядка.

2. Высокоточные теоретические расчеты, теоретическая поддержка экспериментов

Теоретическая поддержка экспериментов на коллайдере сосредоточена на прецизионном моделировании процессов в e^+e^- ускорителях, достигая точности вплоть до двухпетлевого уровня. Группа ОИЯИ имеет значительный опыт теоретической поддержки экспериментов в области физики высоких энергий: ZFITTER (LEP1, LEP2) и HECTOR (HERA). Интегратор MCSANC и генератор ReneSANCe используются при анализе данных Дрелла-Яна в эксперименте ATLAS.

Система SANC (Support for Analytic and Numeric Computations), разработанная группой ОИЯИ, широко используется для расчетов в рамках физических исследований СЕРС [15-19]. Однако необходимы дальнейшие усовершенствования, реализация новых процессов в рамках вычислительной структуры, оценка поправок за пределами ведущего порядка и включение поляризационных эффектов в процесс моделирования. В рамках данного проекта разработка будет сосредоточена на следующих исследованиях:

- Теоретическая поддержка оценки светимости коллайдера. Прецизионное измерение массы бозона Хигтса.
- Измерение поляризации топ-кварка и определение аномальных форм-факторов топ-кварка.
- Разработка генератора Монте-Карло ReneSANCe с учетом начальных и конечных состояний поляризации для процессов $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ ($\mu\mu$, $\tau\tau$, $t\bar{t}$, HZ, $H\gamma$, ZZ, $Z\gamma$, $H\mu\mu$, $H\nu\nu$, $ff\gamma$, $\gamma\gamma$), $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma(Z\gamma, ZZ)$.
- Разработка дополнительных конструкционных блоков для расчета радиационных поправок высшего порядка.

3. Программное обеспечение и вычисления

Значительный объем данных, которые будут производиться в экспериментах на СЕРС, требует большой распределенной вычислительной инфраструктуры для хранения и обработки данных. Более того, эта инфраструктура понадобится задолго до начала набора масштабного моделирования, необходимого разработки данных из-за для экспериментальной программы исследований производительности обработки. И

Основываясь на опыте, полученном в эксперименте ATLAS и в проектировании вычислительной системы для NICA/SPD, группа ОИЯИ будет участвовать в проектировании, разработке и вводе в эксплуатацию вычислительной системы СЕРС. Будут проработаны варианты присоединения ОИЯИ к вычислительной системе СЕРС, возможно, с интеграцией с системой обработки данных NICA. Также планируется участие в моделировании физических процессов, моделировании детекторов и разработке алгоритмов и автономного программного обеспечения для экспериментов на СЕРС.

4. НИОКР детекторов

Калориметрическая система в детекторе на СЕРС обеспечивает максимальный аксептанс для измерений энергий электронов, фотонов, тау-лептонов и адронных струй с высоким разрешением. В калориметрах экспериментов на СЕРС используются два различных подхода. Первый из них направлен на измерение отдельных частиц в струе с использованием трековой системы и калориметрической системы с очень высокой гранулярностью на основе алгоритма потока частиц (PFA), а второй метод нацелен на однородное и интегрированное решение на основе концепции калориметра с двойным считыванием.

Для разделения адронных распадов W- и Z-бозонов требуется разрешение по инвариантной массе 3–4% для двухструйных систем. Решение такой задачи требует калориметрического разрешения по энергии струи ~ 30%/√Е при энергиях ниже 100 ГэВ.

В качестве базового детектора для СЕРС предлагается высокогранулярный HCAL на основе PFA со сцинтилляционным стеклом и сталью в качестве поглотителя. Сцинтилляционное стекло имеет плотность около 6,0 г/см³, световой выход более 1000 фотонов/МэВ и время затухания более 100 нс. В данное время не имеется технологий для производства образцов сцинтилляционного стекла большого размера (более 10x10 см²). НСАL имеет 48 слоев стальных поглотителей/сцинтилляционных стеклянных пластин общей толщиной $6\lambda_I$, как показано на рисунке 10. Сцинтилляционный слой состоит из стеклянных пластин размером 4x4x1 см³.



Рисунок 10. Модуль HCAL имеет 48 слоев стальных поглотителей/сцинтилляционных стеклянных пластин; общая толщина составляет 6λ₁.

Калориметр на основе сцинтилляционных кристаллов оксида бериллия-германия (BGO) считается базовой конструкцией ECAL (кристаллы BSO рассматриваются как альтернативный вариант). Длина барреля ECAL равна 580 см, а внутренний и внешний диаметры составляют 366 см и 426 см. Баррель состоит из отдельных модулей трапециевидной формы. Модули торцевой части калориметра изготовлены из кристаллов BGO размером 1x1x40 см³, расположенных ортогонально в каждом из двух слоев, что обеспечивает тонкую сегментацию. Модули имеют толщину 24 радиационных длины. Схема модуля торцевой части ECAL представлена на рисунке 11.



Рисунок 11. Схема модуля торцевой крышки ECAL.

10x10x400 мм³ обеспечивают Кристаллы BGO размерами поперечную гранулярность 10x10 мм². В настоящее время рассматривается альтернативный вариант использования кристаллов размером 15х15х400 мм³. Этот вариант значительно сокращает общее количество каналов считывания, экономит затраты на электронику и SiPM и существенно снижает рассеиваемую мощность. Однако это приводит к некоторому ухудшению параметров ECAL. Распад Хигтса на два фотона, $H \rightarrow \gamma \gamma$, является физическим критерием, который имеет решающее значение для конструкции ECAL. Гранулярность незначительному ухудшению эффективности электромагнитного 15 мм приводит к калориметра по разделению гамма-квантов. Эффективность регистрации π^0 ухудшается при увеличении энергии для кристаллов с поперечным сечением 15×15 мм², но может быть улучшена с помощью метода дискриминации γ/π^0 . Для оптимизации эффективности требуется проведение дальнейшего моделирования калориметра ECAL и тестирование прототипов. Кроме того, необходимо провести исследования радиационной стойкости кристаллов BGO.

Участники проекта имеют большой опыт в моделировании, создании, исследовании характеристик и обслуживании электромагнитных и адронных калориметров [20], в разработке различных методов калибровки калориметров [21, 22], в исследовании характеристик кристаллов и электромагнитных кристаллических калориметров [23], как и в исследовании их радиационной стойкости [24]. Все этапы этих исследований будут выполнены в ходе проекта, включая разработку методов калибровки калориметров, полное моделирование калориметрической системы, изготовление прототипов и их тестирование на стендах и в пучках ускорителей.

Снаружи соленоида находится железное ярмо, замыкающее магнитный поток соленоида. Ярмо будет оснащено мюонным детектором, предназначенным для идентификации мюонов. Однако его также можно использовать для обнаружения утечек адронных ливней за пределы HCAL, для триггерных и других задач. Детектор мюонов должен обеспечивать перекрытие телесного угла $0.98 \times 4\pi$, эффективность регистрации мюонов более 95%, пространственное разрешение ~1 *cm* и временное разрешение ~1 *ns*. В базовом варианте детектор мюонов будет использовать пластиковые сцинтилляционные стрипы со спектросмещающими волокнами (WLS) со считыванием при помощи SiPM. В качестве альтернативы также рассматриваются резистивные плоские камеры (RPC) и микроструктурные газовые детекторы µ-RWELL.

Для производства сцинтилляционных стрипов будет использоваться технология экструдирования пластикового сцинтиллятора. Рассматриваются различные геометрии стрипов: прямоугольные, квадратные или треугольные сечения с волокнами, вклеенными в канавки или помещенными в отверстия внутри сцинтилляционных стрипов (рисунок 12). Сцинтилляционные стрипы собираются в суперслои в ортогональных направлениях (X, Y), и два суперслоя (каждый примерно в половину длины ярма) вставляются в каждый зазор между железными слоями ярма.



Рисунок 12. Сцинтилляционные стрипы с WLS-волокнами в качестве кандидатов для использования в мюонной системе.

Для улучшения характеристик мюонного детектора и выбора оптимальных параметров детектора требуется дополнительное моделирование и тестирование прототипов. В настоящее время базовым вариантом является стрип сечением 10х40 мм² с вклеенным в канавку волокном. Для увеличения сбора света со стрипов рассматриваются варианты использования WLS-волокон большего диаметра. Будут промоделированы, созданы и протестированы различные прототипы с вышеперечисленными вариантами. Участники проекта имеют большой опыт в разработке мюонных систем на основе длинных сцинтилляционных стрипов с WLS-волоконным считыванием и в исследовании их характеристик [25, 26].

Система трекового детектора экспериментов на СЕРС использует кремниевые вершинные детекторы в сочетании с газовым детектором для восстановления треков и идентификации частиц (PID). По умолчанию время-проекционная камера (TPC) является опцией внешнего трекера для концепции базового детектора СЕРС.

ТРС имеет цилиндрический дрейфовый объем с внутренним радиусом 0.63 м, внешним радиусом 1.8 м и полной длиной 4.7 м. Центральная катодная плоскость поддерживается при потенциале 50 кВ, а два анода на двух концевых пластинах находятся при потенциале земли с высокооднородным электрическим полем 300 В/см между электродами. Дрейфовый объем заполнен газовой смесью Ar/CF4/i-C₄H₁₀ в соотношении 95%/3%/2%. ТРС будет работать при атмосферном давлении и иметь вещество на пути частиц менее $1\% X_0$ в центральной области.

Съем сигналов с ТРС при помощи многопиксельного детектора Micromegas является базовым в СЕРС. Он может обеспечить разрешение <3% dN/dx за счет подсчета кластеров и разрешение 5.4% dE/dx за счет измерения заряда. Предварительные результаты моделирования показывают, что можно достичь разделения $3\sigma \pi/K$ при 20 ГэВ на длине дрейфа 50 см. Однако некоторые ключевые вопросы должны быть промоделированы и протестированы с использованием прототипов. Участники проекта имеют большой опыт в проектировании, создании и исследовании детекторов Micromegas. Мы планируем изготовить прототипы микроструктурированного газового детектора Micromegas и протестировать их в прототипе СЕРС ТРС. Участники группы ОИЯИ имеют высокую квалификацию для выполнения этих задач [27].

Ожидаемые результаты

В результате выполнения проекта будет:

- Проведено систематическое исследование процессов e⁺e⁻→ZX с целью прецизионного определения свойств бозонов Хиггса и поиска новых физических явлений за пределами СМ с использованием генераторов Монте-Карло.
- Осуществлена теоретическая поддержка оценки светимости коллайдера.
- − Проведено моделирование поляризации топ-кварка и определены аномальные формфакторы топ-кварка. Разработан генератор Монте-Карло ReneSANCe с учетом начальных и конечных состояний поляризации для процессов $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ (µµ, $\tau\tau$, $t\bar{t}$, HZ, Hγ, ZZ, Zγ, Hµµ, Hvv, ffγ, γγ), $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma(Z\gamma, ZZ)$.
- Проведено проектирование, разработка и подготовка к вводу в эксплуатацию вычислительной системы СЕРС, проработаны варианты присоединения ОИЯИ к вычислительной системе СЕРС с возможной интеграцией с системой обработки данных NICA.
- Разработаны методы калибровки электромагнитного и адронного калориметров, проведено моделирование калориметрической системы, изготовлены прототипы и протестированы на стендах и в пучках ускорителей.
- Промоделированы, созданы и протестированы различные прототипы мюонного детектора, предложены решения для создания детектора.
- Изготовлены прототипы микроструктурированного газового детектора Micromegas и протестированы в прототипе CEPC TPC.

Риски

Сильные стороны проекта:

- Обширный опыт участников проекта в методах моделирования, анализе данных, разработке программного обеспечения и внедрении машинного обучения в анализ данных
- Опыт участников проекта в разработке различных типов инновационных детекторов и электроники, а также опыт их использования в экспериментах.
- Возможности разработки новых методов и технологий

Слабые стороны проекта:

 Возможные проблемы с приобретением и получением необходимых материалов и оборудования для выполнения задач проекта

Возможности:

 Проект предусматривает видную роль для молодых ученых и возможность стать частью ведущего эксперимента в ближайшие десятилетия

Угрозы:

– Непредвиденные изменения в мировой обстановке

Литература:

- 1. CEPC Study Group, CEPC Conceptual Design Report: Volume 2, arXiv: 1811.10545 [hep-ex]
- 2. F. An, et al., Precision Higgs physics at the CEPC, Chin. Phys. C 43 (2019) 4, 043002
- 3. X. Ai, et al., Flavor Physics at CEPC: a General Perspective, arXiv:2412.19743 [hep-ex]

- 4. Y. Zhu, et al., The Higgs→bb, cc, gg measurement at CEPC, JHEP 11 (2022) 100
- 5. ATLAS Collaboration, Projections for measurements of Higgs boson signal strengths and coupling parameters with the ATLAS detector at a HL-LHC, ATL-PHYS-PUB-2014-016 (2014).
- 6. "Measurement of time-dependent CP violation in B_s^0 $\rightarrow J/\psi \phi(1020)$ decays with the CMS detector". In: (2024)
- 7. Fenfen An, et al., Precision Higgs physics at the CEPC, Chinese Physics C Vol. 43, No. 4 (2019) 043002
- ATLAS Collaboration, Projections for measurements of Higgs boson signal strengths and coupling parameters with the ATLAS detector at a HL-LHC, ATL-PHYS-PUB-2014-016 (2014)
- 9. LHC Higgs Cross Section Working Group, Handbook of LHC Higgs Cross Sections: 4. Deciphering the Nature of the Higgs Sector, arXiv:1610.07922 [hep-ph]
- 10. Z. Liu, L.-T. Wang, and H. Zhang, Exotic decays of the 125 GeV Higgs boson at future e+e- lepton colliders, arXiv:1612.09284 [hep-ph]
- CEPC Study Group, CEPC Technical Design Report: Accelerator, Radiat. Detect. Technol. Methods 8 (2024) 1, 1-1105, Radiat. Detect. Technol. Methods 9 (2025) 1, 184-192 (erratum)
- 12. M. Abbrescia, et al., The IDEA detector concept for FCC-ee, arXiv:2502.21223 [physics.ins-det]
- 13. CEPC Study Group, Status of the CEPC Project, PoS ICHEP2024 (2025) 821
- 14. I. Boyko, V. Bytev, A. Zhemchugov, Two-photon physics at future electron-positron colliders, Chin. Phys. C 47 (2023) 1, 013001
- 15. A. Arbuzov, et al., Monte Carlo programs for small-angle Bhabha scattering, Chin. Phys. C 48 (2024) 4, 043002
- 16. S. Bondarenko, et al., Two-Loop QED/QCD Corrections for the Polarized γγ→γγ Process in SANCphot, JETP Lett. 120 (2024) 11, 795-799
- 17. S. Bondarenko, et al., One-loop electroweak radiative corrections to polarized process, Phys. Rev. D 109 (2024) 3, 033012
- 18. S. Bondarenko, L. Kalinovskaya, A. Sapronov, Monte-Carlo tool SANCphot for polarized γγ collision simulation, Comput. Phys. Commun. 294 (2024) 108929
- 19. A. Arbuzov, et al., Electroweak Effects in e⁺e⁻→ZH Process, Symmetry 13 (2021) 7, 1256
- 20. P. Adragna et al., The ATLAS hadronic tile calorimeter: From construction toward physics; Trans. Nucl. Sci. 53 (2006) 1275-1281
- Y.A. Kulchitsky, V.B. Vinogradov, Analytical representation of the longitudinal hadronic shower development, NIM A413 (1998) 484-486, hep-ex/9903019
- 22. ATLAS Collaboration; Results from a new combined test of an electromagnetic liquid argon calorimeter with a hadronic scintillating-tile calorimeter, NIM A 449 (2000) 461-477
- 23. N. Atanov et al. The Mu2e Crystal Calorimeter: An Overview, Instruments 6 (2022) 4, 60
- 24. V. Baranov, Yu.I. Davydov, I.I. Vasilyev, Light outputs of yttrium doped BaF_2 crystals irradiated with neutrons, JINST 17 (2022) 01, P01036
- 25. A. Artikov et al., Photoelectron yields of scintillation counters with embedded wavelengthshifting fibers read out with silicon photomultipliers, NIM A890 (2019), 84-95
- 26. A. Artikov et al., High efficiency muon registration system based on scintillator strips, NIM A1064 (2024) 169436
- 27. D. Dedovich et al., Bulk Micromegas fabrication at JINR, JINST 14 (2019) 07, T07004

2.3. Предполагаемый срок выполнения

2027

2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ

ЛЯП ЛТФ ЛФВЭ ЛИТ

2.4.1. Потребности в ресурсах МИВК

	Распределение по годам		
Вычислительные ресурсы	1 год	2 год	
Хранение данных (ТБ)	10	20	
- EOS			
- Ленты			
Tier 1 (ядро-час)	-	-	
Tier 2 (ядро-час)	20000	20000	
СК «Говорун» (ядро-час)	-	-	
- CPU			
- GPU			
Облака (СРИ ядер)	-	-	

2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

Организация	Страна	Город	Участники	Тип
организация	Cipana			соглашения
ИФВЭ	Китай	Пекин	Y.F. Wang M.Q. Ruan W.D. Li X.C. Lou M. Chen	Соглашение о сотрудничестве
Шандонгский	Китай	Куиндао	X.T. Huang	Соглашение о
университет				сотрудничестве
Фудан	Китай	Шанхай	X. Wang	Соглашение о
университет				сотрудничестве
ВШЭ, МФТИ	Россия	Москва	Т. Аушев	Соглашение о
			Р. Пахлов	сотрудничестве
ПИЯФ НИЦ КИ	Россия	Гатчина	О.К. Федин	Соглашение о
				сотрудничестве
ИЯФ РАН	Россия	Новосибирск	А. Барняков	Соглашение о
				сотрудничестве
ИФ НАНБ	Беларусь	Минск	Ю.А. Курочкин	Соглашение о
				сотрудничестве
ИЯП БГУ	Беларусь	Минск	О.В. Мисевич	Соглашение о
			В.В. Макаренко	сотрудничестве
ИЭ НАНБ	Беларусь	Минск	В.Г. Баев	Соглашение 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)

ИФВЭ Китайской Академии наук

3. Кадровое обеспечение

3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации

(общее количество участников)

№№ п/п	Категория работника	Основной персонал Сумма FTE	Ассоциированный персонал Сумма FTE
1.	научные работники	25.4	
2.	инженеры	1.8	
3.	специалисты	0	
4.	служащие	0	
5.	рабочие	0.4	
Итого:		27.6	

3.2. Доступные кадровые ресурсы

3.2.1. Основной персонал ОИЯИ (общее количество участников)

No.	Категория	ФИО	Подраз-	Должность	Сумма
	работников		деление		FTE
1	Научные	Давыдов Ю.И.	ЛЯП	Начальник отдела,	0.7
	работники			руководитель проекта	
2		Жемчугов А.С.	ЛЯП	Заместитель начальника	0.4
				отдела, руководитель	
				проекта	
3		Кульчицкий Ю.А.	ЛЯП	Начальник сектора, зам.	0.7
				руководителя проекта	
4		Гуськов А.В.	ЛЯП	Заместитель директора	0.1
5		Калиновская Л.Н.	ЛЯП	Начальник сектора	0.8
6		Гонгадзе А.	ЛЯП	Начальник сектора	0.4
7		Елецких И.В.	ЛЯП	Начальник сектора	0.3
8		Лыкасов Г.И.	ЛЯП	Главный научный	0.5
				сотрудник	
9		Артиков А.М.	ЛЯП	Ведущий научный	0.7
				сотрудник	
10		Бойко И.Р.	ЛЯП	Старший научный	0.7
				сотрудник	
11		Чохели Д.	ЛЯП	Начальник сектора	0.6

12	Суслов И.А.	ЛЯП	Старший научный	0.5
13	Гусейнов Н.А.	ЛЯП	Старший научный	0.5
14	Любушкин В.В.	ЛЯП	Старший научный сотрудник	0.5
15	Симоненко А.В.	ЛЯП	Старший научный сотрудник	0.6
16	Гладилин Л.К.	ЛЯП	Старший научный сотрудник	0.3
17	Дыдышко Е.В.	ЛЯП	Старший научный сотрудник	0.8
18	Ермольчик В.Л.	ЛЯП	Старший научный сотрудник	0.8
19	Сапронов А.А.	ЛЯП	Старший научный сотрудник	0.8
20	Садыков Р.Р.	ЛЯП	Старший научный сотрудник	0.8
21	Румянцев Л.А.	ЛЯП	Старший научный сотрудник	0.3
22	Прохоров А.А.	ЛЯП	Старший научный сотрудник	0.8
23	Ли Р.Н.	ЛЯП	Старший научный сотрудник	0.1
24	Малыше В.Л.	ЛЯП	Научный сотрудник	0.6
25	Атанов Н.В.	ЛЯП	Научный сотрудник	0.7
26	Зимин И.Ю.	ЛЯП	Научный сотрудник	0.7
27	Плотникова Е.М.	ЛЯП	Научный сотрудник	0.5
28	Терешко П.В	ЛЯП	Научный сотрудник	0.5
29	Баранов В.Ю.	ЛЯП	Научный сотрудник	0.7
30	Васильев И.И.	ЛЯП	Научный сотрудник	0.7
31	Лелович Л.В.	ЛЯП	Научный сотрудник	0.4
32	Москаленко В.Д.	ЛЯП	Младший научный сотрудник	0.7
33	Бойков А.В.	ЛЯП	Младший научный сотрудник	0.5
34	Кисеева В.И.	ЛЯП	Младший научный сотрудник	0.6
35	Доловова О.А.	ЛЯП	Младший научный сотрудник	0.5
36	Тропина А.Д.	ЛЯП	Младший научный сотрудник	0.6
37	Любушкина Т.В.	ЛЯП	Младший научный сотрудник	0.3
38	Кампф А.А.	ЛЯП	Младший научный сотрудник	0.8
39	Арбузов А.Б.	ЛТФ	Начальник сектора, зам. руководителя проекта	0.4

40		Бондаренко С.Г.	ЛТФ	Head of sector	0.3
41		Зыкунов В.А.	ЛТФ	Ведущий научный	0.1
				сотрудник	
42		Савина М.В.	ЛТФ	Старший научный	0.1
12		From an D D	ПТФ	сотрудник	0.5
43		DETERB D.D.	$M\Psi$	сотрудник	0.5
44		Возная У.Е.	ЛТФ	Стажер-исследователь	0.3
15		Vanwanuu P IO	ПФРЭ	Чанали илис отлана	0.1
43		Каржавин Б.Ю.		Пачальник огдела	0.1
40		ЧМИЛЬ Б.Б.	ЛФВЭ	сотрудник	0.4
47		Ахмадов Ф.Н.	ЛФВЭ	Старший научный	0.4
				сотрудник	
48		Ланев А.В.	ЛФВЭ	Старший научный	0.1
10				сотрудник	0.1
49		Шалаев В.В.	ЛФВЭ	Старший научный	0.1
50		Переци цана В В	ΠΦΒЭ	сотрудник Стариций научиций	0.1
50			NAD?	старший научный сотрудник	0.1
51		Жижин И.А.	ЛФВЭ	Научный сотрудник	0.1
52		Шматов С.В.	ЛИТ	Директор	0.1
53		Войтишин Н.Н.	ЛИТ	Заместитель директора	0.1
54		Никитенко А.Н.	ЛИТ	Ведущий научный	0.1
				сотрудник	
55		Кодолова О.Л.	ЛИТ	Ведущий научный	0.1
<i></i>			пит	сотрудник	0.1
56		Олеиник Д.А.	ЛИТ	Старшии научныи	0.1
57		Петросян A III	ЛИТ	Спрудник научный	0.1
01			,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	сотрудник	0.1
58		Пелеванюк И.С.	ЛИТ	Научный сотрудник	0.1
59		Слижевский К.В.	ЛИТ	Стажер-исследователь	0.1
60		Корсаков Ю.В.	ЛИТ	Стажер-исследователь	0.1
61	engineers	Атанова О.С.	ЛЯП	Инженер	0.5
62		Рогозин В.А.	ЛЯП	Инженер	0.6
63		Шалюгин А.Н.	ЛЯП	Старший инженер	0.4
64		Будковский Д.В.	ЛФВЭ	Инженер	0.1
65		Голунов А.О.	ЛФВЭ	Ведущий инженер	0.1
66		Ершов Ю.В.	ЛФВЭ	Ведущий инженер	0.1
67	technicians	Дадашова А.Э.	ЛЯП	Лаборант	0.3
68	technicians	Козлов Д.Н.	ЛФВЭ	Лаборант	0.1
	Total:				27.6

3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ (общее количество участников)

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

4. Финансовое обеспечение

4.1. Полная сметная стоимость проекта

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

Детализация приводится в отдельной форме.

600 к\$US

4.2. Внебюджетные источники финансирования

Предполагаемое финансирование со стороны соисполнителей/заказчиков (общий объем).

Руководитель проекта <u>Мавондов М. 1</u> Руководитель проекта <u>Менчую Л.</u>

Дата представления проекта в ДНОД 20.05.2025 Дата решения НТС Лаборатории <u>17.04.2025</u>, номер документа <u>2025-8</u> Год начала проекта 2026

(для продлеваемых проектов) — год начала работ по проекту ____2025___

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в	Стоимость, распределение по годам		
		ресурсах	1 год	2 год	
	Международное сотрудничество (МНТС)		200	100	100
		Материалы	100	50	50
		Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы) Пуско-наладочные работы	300	150	150
		Услуги научно- исследовательских организаций			
		Приобретение программного обеспечения			
		Проектирование/строительство			
		Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)			
əle		Ресурсы			
димн рсы	Нормо-час	– сумма FTE,	28.0	28.0	28.0
o6xo pecy		– ускорителя/установки,	200	100	100
He		– реактора,	600	300	300
нансирования	Бюджетные средства	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)	600	300	300
Источники фи	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования	. 0	0	0

Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления Проекта

Руководитель проекта

Руководитель проекта

Экономист Лаборатории

Cork Mengel Cet

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

НАИМЕНОВАНИЕ ПРОЕКТА: Разработка физической программы и детекторов для экспериментов на СЕРС

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА: СЕРС

ШИФР ПРОЕКТА: 02-2-1151-1-2026/2027

ШИФР ТЕМЫ: 02-2-1151-1-2025/2027

ФИО РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА: Давыдов Ю.И., Жемчугов А.С.

СОГЛАСОВАНО:

ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА подпись ФИО ДАТА ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ подпись ИНСТИТУТА ФИО ДАТА ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР подпись ФИО ДАТА ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ полпись ЛАТА ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ CHO подпись ДАТА ФИО Cunonenko U.B. liquouen УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ЛАБОРАТОРИИ подпись ДАТА <u>васть Ю.Ц.</u> ФИО РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ подпись ЛАТА Macury 1A1 РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА полпись ЛАТА РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

ОДОБРЕН ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ

подпись

ФИО

ДАТА