

## Методы, алгоритмы и программное обеспечение для моделирования физических систем, математической обработки и анализа экспериментальных данных

**Руководители темы:** Шматов С.В.  
Чулуунбаатар О.

**Заместители:** Войтишин Н.Н.  
Зрелов П.В.

### Участвующие страны и международные организации:

Армения, Беларусь, Болгария, Великобритания, Грузия, Египет, Италия, Казахстан, Китай, Мексика, Монголия, Россия, Сербия, Словакия, США, Узбекистан, Франция, ЦЕРН, ЮАР.

### Изучаемая проблема и основная цель исследований:

Тема направлена на организацию и обеспечение вычислительной, алгоритмической и программной поддержки подготовки и реализации экспериментальных и теоретических исследований, проводимых с участием ОИЯИ, разработку, развитие и использование вычислительных методов для моделирования сложных физических систем, изучаемых в рамках проектов ПТП ОИЯИ. В рамках темы будет осуществляться разработка математических методов и программного обеспечения, в том числе на основе алгоритмов машинного и глубокого обучения с использованием рекуррентных и сверточных нейронных сетей, для моделирования физических процессов и экспериментальных установок, обработки и анализа данных экспериментов в области физики элементарных частиц, ядерной физики, физики нейтрино, радиобиологии и др. Особое внимание будет уделено созданию систем распределенной обработки и анализа данных экспериментов и информационно-вычислительных платформ поддержки исследований, проводимых в ОИЯИ и других исследовательских центрах.

Основные направления работы – математическая и вычислительная физика для поддержки крупных инфраструктурных проектов ОИЯИ, в первую очередь, флагманский проект ОИЯИ NICA в режиме работы на фиксированной мишени (BM@N) и в режиме коллайдера для столкновений релятивистских тяжелых ионов (MPD) и на поляризованных пучках (SPD), нейтринный телескоп Baikal-GVD. Также будет продолжено сотрудничество с экспериментами в мировых ускорительных центрах (ЦЕРН, BNL и др.), экспериментами в области физики нейтрино и астрофизических экспериментах, программами радиобиологических исследований. Рассматривается возможность применения разрабатываемых методик и алгоритмов в рамках других проектов.

Главным направлением в моделировании сложных физических систем, включая состояния плотной ядерной материи и квантовые системы, будет разработка методов, комплексов программ и проведение численного исследования на основе решения соответствующих систем нелинейных, пространственно-многомерных интегральных, интегродифференциальных или дифференциальных уравнений в частных производных с большим количеством параметров, характеризующихся наличием критических режимов, бифуркаций и фазовых переходов с комплексным применением методов вычислительной физики, квантовой теории информации и гибридных квантово-классических методов программирования.

Также в рамках темы предполагается развитие работ по квантовому интеллектуальному управлению технологическими процессами и физическими установками в ОИЯИ и квантовым вычислениям в квантовой химии и физике.

Кроме того, будет продолжена подготовка специалистов в области вычислительной физики и информационных технологий в рамках IT-школы.

### Проекты по теме:

Наименование проекта	Руководители проекта	Шифр проекта
1. Математические методы, алгоритмы и программное обеспечение для моделирования физических процессов и экспериментальных установок, обработки и анализа экспериментальных данных	Шматов С.В. Заместители: Айриян А.С. Войтишин Н.Н.	06-6-1119-1-2024/2026

2. Методы вычислительной физики для исследования сложных систем

Земляная Е.В.  
Чулуунбаатар О.  
Заместители:  
Калиновский Ю.Л.  
Хведелидзе А.

06-6-1119-2-2024/2026

**Проекты:**

Наименование проекта	Руководители проекта	Статус
Лаборатория (Подразделение)	Ответственные от лаборатории	
<b>1. Математические методы и программное обеспечение для моделирования, обработки и анализа экспериментальных данных</b>	<b>Шматов С.В.</b> Заместители: <b>Айриян А.С.</b> <b>Войтишин Н.Н.</b>	Реализация
ЛИТ	Акишин П.Г., Акишина Е.П., Александров Е.И., Александров И.Н., Аникина А.И., Баранов Д.А., Бежанян Т.Ж., Бутенко Ю.А., Буша Я., Гнатич С., Гребень Н.В., Гончаров П.В., Григорян О.А., Дереновская О.Ю., Дидоренко А.В., Дикусар Н.Д., Злоказов В.Б., Зуев М.И., Иванов В.В., Казаков А.А., Казымов А.И., Кодолова О.Л., Конак А.С., Корсаков Ю.В., Костенко Б.Ф., Минеев М.А., Мусульманбеков Ж.Ж., Нечаевский А.В., Никитенко А.Н., Никонов Э.Г., Олейник Д.А., Ососков Г.А., Пальчик В.В., Папоян В.В., Пелеванюк И.С., Петросян А.Ш., Подгайный Д.В., Пряхина Д.И., Сатышев И., Слепнев С.К., Слижевский К.В., Соловьев А.Г., Соловьева Т.М., Стрельцова О.И., Тухлиев З.К., Ужинский А.В., Ужинский В.В., Хабаев З.К., Шарипов З.А., Яковлев А.В.	
ЛФВЭ	Алексахин В.Ю., Апарин А.А., Беспалов Ю.В., Будковский Д.В., Бычков А.В., Габдрахманов И.Р., Галоян А.С., Герценбергер К.В., Головатюк В.М., Дряблов Д.К., Жижин И.А., Жежер В.Н., Зинченко А.И., Зинченко Д.А., Зыкунов В.А., Капишин М.Н., Каржавин В.Ю., Коробицин А.А., Крылов А.В., Ленивенко В.В., Ланёв А.В., Лобастов С.П., Мерц С.П., Мошкин А.А., Мудрох А.А., Никифоров Д.Н., Пацюк М., Рогачевский О.В., Рябов В.Г., Шалаев В.В., Шульга С.Г.	
ЛТФ	Казаков Л.И., Савина М.В., Теряев О.В., Тонеев В.Д.	
ЛНФ	Балашою М., Вергель К.Н., Дима М.-О., Дима М.-Т., Иванов А.И., Исламов А.Х., Ковалев Ю.С., Куклин А.И., Пепельшев Ю.Н., Рижиков Ю.Л., Рогачев А.В., Ской В.В., Фронтасьева М.В.	
ЛЯП	Бедняков В.А., Белолаптиков И.А., Борова И.В., Бородин А.Н., Дик В., Елзов Т.В., Гринюк А.А., Гуськов А.В., Денисенко И.И., Жемчугов А.С., Звездов Д.Ю., Крылов В.А., Курбатов В.С., Наумов Д.В., Пан А.Е., Сеитова Д., Сиренко А.Э., Сороковиков М.Н., Ткачев Л.Г., Храмов Е.В., Шайбонов Б.А., Шолтан Е.	
ЛРБ	Колесникова И.А., Северюхин Ю.С., Утина Д.М.	
УНЦ	Верхеев А. Ю., Каманин Д.В., Юлдашев Б.С.	

**Краткая аннотация и научное обоснование:**

Проект направлен на организацию и обеспечение вычислительной поддержки подготовки и реализации физической программы исследований, проводимых с участием ОИЯИ, разработку и развитие математических методов и программного обеспечения для моделирования физических процессов и экспериментальных установок, обработки и анализа данных экспериментов в области физики элементарных частиц, ядерной физики, физики нейтрино, радиобиологии и др. Особое внимание будет уделено созданию систем распределенной обработки и анализа данных экспериментов и информационно-вычислительных платформ поддержки исследований, проводимых в ОИЯИ и других исследовательских центрах.

Основные направления работы – математическая и вычислительная физика для поддержки крупных инфраструктурных проектов ОИЯИ, среди которых, в первую очередь, флагманский проект ОИЯИ NICA в режиме работы на фиксированной мишени (BM@N) и в режиме коллайдера для столкновений релятивистских тяжелых ионов (MPD) и на поляризованных пучках (SPD), нейтринный телескоп Baikal-GVD. Также будет продолжено

сотрудничество с экспериментами в мировых ускорительных центрах (ЦЕРН, BNL и пр.), экспериментами в области физики нейтрино и астрофизических экспериментах, программами радиобиологических исследований.

Рассматривается возможность применения разрабатываемых методик и алгоритмов в рамках других проектов мегасайенс (Супер чарм-тау фабрика, СКИФ и др.).

**Ожидаемые результаты по завершении проекта:**

1. Ревизия генераторов взаимодействий и их развитие для моделирования процессов взаимодействий легких и тяжелых ядер, в том числе при энергиях NICA (FTF, QGSM, DCM-QGSM-SMM и др.), и процессов за рамками Стандартной модели, таких как рождения частиц-кандидатов на роль темной материи, дополнительных хиггсовских бозонов и процессов, идущих с нарушением лептонного числа и пр. (QBH, Pythia, MadGraph и др.) для условий LHC при номинальной энергии и полной интегральной светимости до  $450 \text{ фбн}^{-1}$ .
2. Разработка алгоритмов реконструкции треков заряженных частиц для экспериментальных комплексов, в том числе на NICA и LHC, создание соответствующего программного обеспечения и его применение для обработки и анализа данных, изучения физико-технических характеристик детекторных систем
3. Разработка масштабируемых алгоритмов и программного обеспечения для обработки многопараметрических, многомерных, иерархических наборов данных эксабайтного объема, в том числе на основе рекуррентных и сверточных нейронных сетей, для задач машинного и глубокого обучения, предназначенных в первую очередь для решения различных задач в экспериментах по физике частиц, в том числе для мегапроекта NICA и нейтринных экспериментов.
4. Создание и развитие систем обработки и анализа данных и современных инструментов исследований для международных коллабораций (NICA, нейтринная программа ОИЯИ, эксперименты на LHC).
5. Разработка алгоритмов и программного обеспечения для исследовательских проектов ОИЯИ в области нейтронной физики.
6. Разработка алгоритмов, программного обеспечения и информационно-вычислительных платформ для радиобиологических исследований, прикладных исследований в области протонной терапии и экологии.

**Ожидаемые результаты по проекту в текущем году:**

1. Ревизия программной реализации моделей FTF и QGSM, анализ информации по структуре легких гипер-ядер, создание дополнительных программных модулей.
2. Учет различных эффектов в генераторе DCM-QGSM-SMM: зависимости времени жизни резонансов от плотности ядерной среды, подавление сечения рождения псевдоскалярных мезонов и усиление рождения гиперонов в плотной ядерной среде, деформации ядер.
3. Разработка программы моделирования событий, указанных в предыдущем пункте, с учётом физических характеристик установки NICA SPD.
4. Оценка сечений и проведение моделирования процессов рождения частиц темной материи в рамках расширенной двухдублетной хиггсовской модели (генератор MadGraph).
5. Отладка процедуры тестирования чувствительных элементов калориметра высокой гранулярности эксперимента CMS, включая реконструкцию треков и оценку эффективности каждой ячейки детектора.
6. Разработка и отладка алгоритмов и методов реконструкции траекторий мюонов в катодно-стриповых камерах (КСК) мюонной системы эксперимента CMS для сравнения непрерывного и дискретного подходов вейвлет-анализа для разделения перекрывающихся сигналов, оценки пространственного разрешения камер КСК и эффекта их старения на данных, полученных в 2024 году на установке GIF++ в ЦЕРН и в протон-протон соударениях пучков LHC.
7. Оптимизация на наборах данных 2022–2023 годах алгоритмов локальной реконструкции треков в дрейфовых камерах DCH и CSC эксперимента BM@N, их сшивка с сцинтилляционными детекторами для глобальной реконструкции и идентификации частиц, юстировка детекторов и оценка параметров их работы.
8. Нахождение и проверка поправочных параметров для детекторов STS и GEM эксперимента BM@N, разработка и программная реализация методов моделирования и обработки данных, а также их развитие и адаптация для актуальных конфигураций ряда трекинговых детекторов GEM и Silicon Profilometer в 2023–2024 годах.
9. Исследование эффективности применения методов машинного обучения, основанных на деревьях решений, для задачи идентификации частиц в эксперименте MPD.
10. Оптимизация программной платформы эксперимента MPD: разработка и внедрение в MPDRoot основных правил ООП, унифицированных тестов алгоритмов и взаимодействия классов и пр.

11. Разработка и обучение нейросети для поиска и восстановления треков в вершинном детекторе и треkere установки SPD, восстановления кластеров в электромагнитном калориметре и в мюонной системе SPD.
12. Разработка модели обработки и хранения данных эксперимента SPD: конкретизация типов и форматов данных, оценка вычислительных затрат на обработку на каждом этапе преобразования данных, формулировка технических требований к системе отбора данных в режиме реального времени, распределенной системе обработки и хранения данных и программному обеспечению для оффлайн-обработки.
13. Создание прототипа системы, обеспечивающей многоступенчатую обработку данных на кластере фильтрации событий в режиме реального времени SPD OnLine Filter.
14. Создание прототипов системы управления задачами SPD на основе пакета PanDA и системы управления данными на основе пакета RUCIO DDM.
15. Завершение разработки прототипа системы обработки данных Байкальского телескопа.
16. Создание тестового пакета программ первичной обработки малоугловых экспериментальных данных спектрометра ЮМО для многодетекторной системы с позиционно-чувствительным детектором.
17. Разработка библиотеки C++ по конвертации в JSON данных состояний (condition data), получаемых в онлайн режиме, реализация преобразования данных DCS в CREST. Модификация алгоритмов пакета Athena, использующих COOL, под CREST. Развитие и поддержка эксплуатации информационных систем экспериментов BM@N, MPD для описания геометрии установок, конфигурации детекторов, процесса менеджмента.
18. Исследование уровня фона от космических протонов для обсерватории TAIGA, оценка числа испарительных нейтронов и изучение их взаимодействия в детекторе ОЛБЭ-HERO.
19. Анализ тестовых данных прототипа цифрового калориметра для протонной терапии, разработка алгоритма на основе клеточного автомата для распознавания и реконструкции треков.
20. Применение кусочно-полиномиальной аппроксимации на основе метода базисных элементов высоких порядков для обработки и анализа нейтронных шумов реактора ИБР-2М.
21. Разработка модуля для поведенческого анализа, который позволит автоматизировать анализ видеоданных, получаемых при тестировании лабораторных животных в различных тест-системах.
22. Применение алгоритмов автоматического подбора оптимальных политик аугментации данных, апробирование различные функции минимизации потерь, определение наиболее эффективных методов классификации изображений с болезнями растений.
23. Улучшение существующего функционала и предоставление новых возможностей для контроля и прогнозирования состояния окружающей среды. Автоматизация процесса мониторинга с использованием моделирования.

**2. Методы вычислительной физики для исследования сложных систем**

**Земляная Е.В.**  
**Чулуунбаатар О.**

*Заместители:*  
**Калиновский Ю.Л.**  
**Хведелидзе А.**

Реализация
------------

ЛИТ

Абгарян В., Айриян А.С., Айрян Э.А., Акишин П.Г., Амирханов И.В., Бадреева Д.Р., Барашенков И.В., Башахин М.Б., Боголюбская А.А., Буреш М., Бутенко Ю.А., Буша Я. (мл.), Буша Я. (ст.), Волохова А.В., Воскресенская О.О., Годеридзе Д., Григорян О., Гусев А.А., Зувев М.И., Карамышева Т.В., Корняк В.В., Кулябов Д.С., Лукьянов К.В., Мавлонбердиева С.Д., Махалдиани Н.В., Мирзаев М.Н., Михайлова Т.И., Нечаевский А.В., Никонов Э.Г., Палий Ю., Папоян В.В., Папоян Г.В., Подгайный Д.В., Полякова Р.В., Пузынина Т.П., Рахмонова А.Р., Рихвицкий В.С., Рогожин И.А., Сархадов И., Саха Б., Сердюкова С.И., Стрельцова О.И., Сюракшина Л.А., Тарасов О.В., Торосян А.Г., Тухлиев З.К., Червяков А.М., Чулуунбаатар Г., Чулуунбаатар Х., Шарипов З.А., Юкалова Е.П., Юлдашев О.И., Юлдашева М.Б., Ямалеев Р.М., Янович Д.А.

ЛТФ

Виницкий С.И., Гнатич М., Донков А.А., Лукьянов В.К., Низмитдинов Р.Г., Рахмонов И.Р. Фризен А.В., Шукринов Ю.М., Юкалов В.И., Юшанхай В.Ю.

ЛЯР

Батчулуун Э., Карпов А.В., Мирзаев М.Н., Самарин В.В., Середа Ю.М.

ЛНФ	Киселев М.А., Кучерка Н., Перепелкин Е.Е., Попов Е.П.
ЛЯП	Карамышев О.В., Карамышева Г.А., Киян И.Н.
ЛРБ	Бугай А.Н., Чижов А.В.

#### **Краткая аннотация и научное обоснование:**

Проект направлен на разработку и применение математических и вычислительных методов для моделирования сложных физических систем, изучаемых в рамках ПТП ОИЯИ и описываемых системами динамических нелинейных, пространственно неоднородных интегральных, интегро-дифференциальных или дифференциальных уравнений, зависящих от параметров моделей. Эволюция решений таких систем может характеризоваться наличием критических режимов, бифуркаций и фазовых переходов. Математическое моделирование является неотъемлемой частью современных научных исследований и требует адекватной математической постановки задач в рамках изучаемых моделей, адаптации известных и развития новых численных подходов для эффективного учета особенностей исследуемых физических процессов, разработки алгоритмов и комплексов программ для высокопроизводительного моделирования на современных вычислительных системах, включая ресурсы Многофункционального информационно-вычислительного комплекса ОИЯИ.

#### **Ожидаемые результаты по завершении проекта:**

1. Разработка методов, алгоритмов и комплексов программ для проведения численных исследований взаимодействий различных типов в сложных системах ядерной физики и квантовой механики.
2. Методы моделирования многофакторных процессов в материалах и конденсированных средах под внешними воздействиями.
3. Методы решения задач моделирования при проектировании экспериментальных установок и оптимизации режимов их работы.
4. Методы моделирования сложных процессов в плотной ядерной материи на основе уравнения состояния.
5. Методы моделирования квантовых систем с применением методов квантовой теории информации и гибридных квантово-классических методов программирования.

#### **Ожидаемые результаты по проекту в текущем году:**

1. Разработка математической постановки задачи в рамках метода сильной связи каналов с оптическим потенциалом Вудса–Саксона и регулярными граничными условиями для моделирования подбарьерных реакций слияния и деления тяжелых ионов.
2. Разработка методов и проведение расчетов энергии адсорбции на слое Au тяжелых и сверхтяжелых атомов.
3. Развитие и оптимизация метода автомодельных приближений для решения нелинейных уравнений, не содержащих малых параметров и описывающих квантово-механические системы, включая спиновые ансамбли и холодные атомы в ловушках.
4. Разработка метода и программы, иницирующей в рамках транспортно-статистического подхода начальное состояние сталкивающихся ядер с ядерными потенциалами, которые используются для дальнейшего расчета динамики столкновений.
5. Моделирование протон-ядерных взаимодействий на основе микроскопической модели оптического потенциала в широком диапазоне энергий и атомных номеров ядер-мишеней для исследования влияния ядерной среды на процессы рассеяния протонов на внутриядерных нуклонах.
6. Исследование динамики ударной волны в облучаемом материале на основе модели, описываемой комбинацией уравнений молекулярной динамики, уравнений теплопроводности и волновых уравнений. Определение параметров волнового уравнения по результатам численного решения молекулярно-динамических уравнений.
7. Моделирование взаимодействия бета-амилоидных и антимикробных пептидов с фосфолипидными мембранами в везикулярных и бицеллярных структурах в рамках крупнозернистой модели; исследование динамических свойств данного взаимодействия на основе расчета фононных спектров систем; построение профиля свободной энергии процесса вытягивания пептида из мембраны в зависимости от расстояния между центрами масс и конформацией пептида (replica exchange umbrella sampling).
8. Исследование локализованных структур в системах, описываемых нелинейными уравнениями теории поля с диссипацией и внешними воздействиями. Исследование влияния кулоновского потенциала на процесс формирования гидратированного электрона на основе модифицированной поляронной модели, расчет наблюдаемых характеристик этого процесса.
9. Адаптация пакета COMSOL Multiphysics® на гетерогенной платформе HybriLIT вычислительного комплекса МИВК с целью повышения эффективности расчётов и уменьшения затрат вычислительных ресурсов за счет

использования смешанной векторно-скалярной формулировки магнитостатики и гибридного метода конечных и граничных элементов.

10. Разработка и программная реализация разностных схем для решения краевой задачи для уравнения 4го порядка, описывающих распределение физических полей в 2D и 3D областях различных конфигураций.
11. Разработка методов и исследование формирования магнитных полей изохронных циклотронов при различных режимах работы. Подготовка инструкции и оформление для передачи в библиотеку JINRLIB программы CORD (Closed ORbit Dynamics), реализующей расчеты по исследованию влияния бетатронных колебаний и фазового движения частиц пучка на магнитное поле циклотрона MSC230.
12. Адаптация нейросетевого подхода к приближенному вычислению многократных интегралов, возникающих при исследовании выживаемости пионов в соударениях тяжелых ионов; исследование методов обобщения разработанной ранее модели кварк-адронного фазового перехода в холодной ядерной материи на конечные температуры.
13. Моделирование и расчет значений космологического красного смещения на основе уравнения состояния; исследование возможности восстановления спектра масс изолированных нейтронных звезд по данным о возрасте и поверхностной температуре пульсаров на основе моделирования их температурной эволюции; моделирование процессов рассеяния и рождения частиц в плотной и горячей ядерной материи.
14. Разработка алгоритма троттеризации оператора эволюции для уравнений фон Неймана и Линдблада и реализация соответствующей квантовой схемы на квантовом симуляторе в среде QISKit. Повышение производительности симулятора квантовой схемы за счет увеличения скорости симуляции на многопроцессорных системах.
15. Создание пакета модулей, предназначенных для разложения квантовой системы на подсистемы на основе применения тензорных произведений представлений сплетений конечных циклических групп.
16. Определение взаимосвязи характеристик запутанности составных квантовых систем и отрицательности квазивероятностных распределений Вигнера. Разработка метода функциональной редукции для двухпетлевых Фейнмановских интегралов и его применение для вычисления интегралов, соответствующих диаграммам с четырьмя и пятью внешними линиями.

#### Активности:

Наименование активности	Руководители	Сроки реализации
Лаборатория (Подразделение)	Ответственные от лаборатории	
1. <b>Квантовое интеллектуальное управление технологическими процессами и физическими установками в ОИЯИ и квантовые вычисления в квантовой химии и физике</b>	<b>Зрелов П.В.</b> <b>Ульянов С.В.</b>	2024-2026
ЛИТ	Баранов Д.А., Зрелова Д.П., Иванцова О.В., Катулин М.С., Кузнецов Е.А., Решетников А.Г. Рябов А.Р., Рябов Н.В., Сюракшина Л.А.	
ЛФВЭ	Беспалов Ю.Г., Бровко О.И., Никифоров Д.Н., Решетников Г.П.	
ЛТФ	Юшанхай В.Ю.	

#### Краткая аннотация и научное обоснование:

Основной изучаемой проблемой данной активности является разработка и эффективное использование технологий интеллектуальных вычислений и квантовой самоорганизации неточных знаний в задачах робастного управления с целью повышения надежности функционирования физических установок. Решение задач основано на возможности повышения робастности существующих систем управления за счёт встраиваемых баз знаний. Самоорганизующиеся системы управления проектируются и поддерживаются разрабатываемым в проекте программным инструментарием на основе платформы, объединяющей мягкие вычисления и квантовые оптимизаторы баз знаний. Будет проведена разработка встраиваемых самоорганизующихся регуляторов для систем интеллектуального управления технологическими процессами, устройствами и установками ОИЯИ (в том числе для случаев непредвиденных и непредсказуемых ситуаций) и задач интеллектуальной когнитивной робототехники.

Исследование эффективности квантовых алгоритмов направлено на решение задач квантовой химии и физики новых функциональных материалов. Применение известных квантовых алгоритмов и их развитие будет осуществляться на симуляторах с классической вычислительной архитектурой. Предусматривается создание программного продукта для вычисления электронной и магнитной структур молекулярных комплексов и кристаллических фрагментов новых функциональных материалов с использованием квантовых симуляторов на классических вычислительных архитектурах.

#### **Ожидаемые результаты по завершении активности:**

1. Создание прототипа квантового нечеткого ПИД – регулятора и демонстрационного образца робота с встроенным прототипом регулятора.
2. Создание прототипа интеллектуальной системы управления криогенными системами для сверхпроводящих магнитов ускорительного комплекса NICA на основе квантового нечеткого ПИД – регулятора. Подготовка патента.
3. Методология построения и структура интеллектуальной системы управления ВЧ -станцией.
4. Проверка эффективности квантовых алгоритмов вариационного типа, реализованных на квантовых симуляторах классической архитектуры посредством их применения к количественному описанию диссоциации простых молекул, а также электронной и спиновой структуры основного состояния типичных решеточных моделей квантовой теории.

#### **Ожидаемые результаты по активности в текущем году:**

1. Создание прототипа квантового нечеткого ПИД – регулятора.
2. Создание структуры и разработка квантового алгоритма нечеткого вывода для прототипа интеллектуальной системы управления криогенными системами для сверхпроводящих магнитов ускорительного комплекса NICA на основе квантового нечеткого ПИД – регулятора.

#### **2. Подготовка специалистов в области вычислительной физики и информационных технологий**

ЛИТ

УНЦ

**Кореньков В.В.  
Нечаевский А.В.  
Пряхина Д.И.  
Стрельцова О.И.**

Бежанян Т.Ж., Войтишина Е.Н., Воронцов А.С.,  
Дереновская О.Ю., Зуев М.И., Мажитова Е., Пелеванюк И.С.

Верхеев А.Ю., Каманин Д.В.

2024-2026

#### **Краткая аннотация и научное обоснование:**

Подготовка и переподготовка специалистов в области вычислительной физики и информационных технологий на базе МИВК ОИЯИ и его учебно-образовательных компонент в целях:

- повышения квалификации сотрудников ОИЯИ для развития научных проектов, в том числе класса мегасайенс, реализуемых в ОИЯИ или с его участием, а также для создания и поддержки цифровой экосистемы (ЦЭС) ОИЯИ;
- распространение компетенций в области вычислительной физики и информационных технологий в регионы России и страны-участницы ОИЯИ для увеличения кадрового потенциала ОИЯИ и сотрудничающих с Институтом организаций.

Основной предпосылкой к созданию активности является необходимость формирования научно-исследовательской среды для обеспечения профессионального роста ИТ-специалистов, создание и развитие научных групп, привлечение новых сотрудников в проекты ОИЯИ. Дополнительная подготовка кадров преимущественно по заказу лабораторий ОИЯИ должна быть направлена на развитие специальных компетенций, углубленных знаний и навыков практического характера в области вычислительной физики и информационных технологий.

#### **Ожидаемые результаты по завершении активности:**

1. Проведение мероприятий для сотрудников ОИЯИ по изучению современных ИТ-технологий и возможностей работы на компонентах МИВК и в ЦЭС;
2. Формирование набора проектов ОИЯИ, в которых могут принять участие студенты.
3. Формирование списка компетенций и необходимых курсов для реализации проектов.
4. Разработка учебных курсов и образовательных программ, которые обеспечат подготовку кадров для решения различных задач в проектах.
5. Создание экосистемы для реализации образовательных программ на базе МИВК ОИЯИ, включающего облачную инфраструктуру и гетерогенную вычислительную платформу HybridLIT.
6. Создание программно-информационной среды и платформы для организации и проведения мероприятий, лекций, практических занятий, хакатонов и т.д.
7. Привлечение сотрудников ОИЯИ и Информационных центров ОИЯИ, научных работников организаций из стран-участниц ОИЯИ, преподавателей ведущих образовательных организаций, сотрудничающих с ОИЯИ для проведения учебных и научных мероприятий.

8. Формирование программ мероприятий и организация взаимодействия с университетами и Информационными центрами ОИЯИ.

**Ожидаемые результаты по активности в текущем году:**

1. Проведение мероприятий для сотрудников ОИЯИ (семинары для пользователей МИВК ОИЯИ и ЦЭС).
2. Создание компонент экосистемы для реализации образовательных программ.
3. Проведение Школ по информационным технологиям.
4. Проведение учебных практик для студентов РФ и студентов стран-участниц ОИЯИ.
5. Подготовка учебных курсов по информационным технологиям.

**Сотрудничество по теме:**

<b>Страна или международная организация</b>	<b>Город</b>	<b>Институт</b>	<b>Статус</b>	<b>Участники</b>
Армения	Ереван	ЕГУ ННЛА	Соглашение Совместные работы	Тумасян А. Айрапетян А. Геворкян А.
Беларусь	Гомель	ГГУ	Соглашение Совместные работы и обмен визитами	Тумасян А. Андреев В.В. Максименко Н.В.
	Минск	ИМ НАНБ	Совместные работы и обмен визитами	Малютин В.Б. + 2 чел.
		ИФ НАНБ	Совместные работы и обмен визитами	Михалычев А.Б. Прокопеня Н.О.
Болгария	София	SU	Совместные работы	Ермак Д.В. Макаренко В.В. Мосолов В.А.
			Соглашение	Димитров В. Христов И.Г. Христова Р.Д. Младенов Д.
Великобритания	Оксфорд	Ун-т	Совместные работы	Галлас Э.
Грузия	Тбилиси	GTU TSU UG	Совместные работы Совместные работы Совместные работы	Гиоргадзе Г. Элашвили А. Гогилидзе С.
Египет	Гиза Каир	CU ASRT	Совместные работы Соглашение	Абдулмагеад И. Эш М.
Италия	Генуя	INFN	Совместные работы	Барберис Д.
Казахстан	Алма-Ата	ИЯФ	Совместные работы	Буртебаев Н.Т. Сахиев С.К.
		НИИ ЭТФ КазНУ	Совместные работы	Еркинбаева Л.К.
Китай	Астана	ЕНУ	Совместные работы	Курмангалиева Ж.Д.
	Пекин	СИАЕ	Совместные работы	Пэйвэй Вэн Ченгжан Лин
Мексика	Мехико	UNAM	Совместные работы	Хесс П.О.
Монголия	Улан-Батор	IMDT MAS	Соглашение	Батгэрэл Б.
		MUST	Совместные работы	Улзийбаяр В.
Россия	Архангельск Владивосток Владикавказ	САФУ	Соглашение	Гошев А.А.
		ДВФУ	Соглашение	Регузова А.В.
		СОГУ	Соглашение	Гутова А.К. Нартиков А.Г. Огоев А.У.
	Воронеж	ВГУ	Совместные работы	Кургалин С.Д.
	Гатчина	НИЦ КИ ПИЯФ	Совместные работы	Ким В. Кириянов А.К.



	Дубна	Гос. ун-т «Дубна»	Совместные работы	Деникин А.С. Кирпичева Е.Ю. Черемисина Е.Н.
	Иркутск Москва	ИГУ ИТЭФ МГУ	Соглашение Совместные работы Совместные работы	Танаев А.Б. Никитенко А. Смелянский Р.Л. Соколов И.А. Сухомлин В.А. Фомичев В.В.
		НИВЦ МГУ НИИЯФ МГУ	Совместные работы Совместные работы	Воеводин В.В. Боос Э. Дудко Л.В. Кодолова О.Л. Лохтин И.П. Петрушанко С.В.
		НИЯУ «МИФИ»	Совместные работы	Артамонов А.А. Данилов М.В. Коротков М.Г. Черкасский А.И.
		РНТОРЭС РУДН	Совместные работы Соглашение	Егоров А.А. Бронников К.А. Малых М.Д. Рыбаков Ю.П. Севастьянов Л.А.
	Москва, Троицк Петропавловск-Камчатский Протвино Пушино Санкт-Петербург	ФИАН ИЯИ РАН КамГУ ИФВЭ ИМПБ РАН СПбГУ	Совместные работы Совместные работы Соглашение Совместные работы Совместные работы Совместные работы	Дремин И.М. Гниненко С.Н. Исрапилов Д.И. Петров В.А. Лахно В.Д. Богданов А.В. Дегтярев А.Б. Зароченцев А.К. Щеголева Н.Л.
	Самара	СамГУ	Совместные работы	Баскаков А.В. Салеев В.А.
	Саратов Тверь	СГУ ТвГУ	Совместные работы Совместные работы	Дербов В.Л. Цветков В.П. Цветков И.В. Чемарина Ю.В.
	Томск Тула	ТПУ ТулГУ	Соглашение Совместные работы	Лидер А. Сычугов А.А. Французова Ю.В.
Сербия	Белград	Ун-т	Совместные работы	Деспотович С. Хаджийойич М. Чосич М. Эрич К.
Словакия	Кошице	UPJS	Совместные работы	Вала М. Гнатич М.
США	Арлингтон	UTA	Совместные работы	Озтурк Н.
Узбекистан	Ташкент	АН РУз	Совместные работы	Юлдашев Б.С.
Франция	Сакле	IRFU	Совместные работы	Формика А.

ЦЕРН	Женева	ЦЕРН	Совместные работы	Аволио Дж. Ван Левен М. Мак-Брайд П. Рибон А. Рое Ш. Хеккер А.
ЮАР	Кейптаун	УСТ	Совместные работы	Алексеева Н.