

УТВЕРЖДАЮ

Вице-директор ОИЯИ

\_\_\_\_\_ 2019 г.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОДЛЕНИЯ ТЕМЫ**  
**для включения**  
**В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ОИЯИ НА 2020–2023 гг.**

**Шифр темы** 05-6-1119-2014/2023

**Лаборатория** ЛИТ

**Отдел**

**Направление:** Сети, компьютеринг, вычислительная физика (05)

**Наименование темы:** Методы, алгоритмы и программное обеспечение для моделирования физических систем, математической обработки и анализа экспериментальных данных

**Руководители темы:** Адам Георге, Зрелов Петр Валентинович

**Заместители:** Буша Ян, Чулуунбаатар Очбадрах

**Краткая аннотация**

В рамках темы 1119 проводятся исследования в области вычислительной физики и математики, нацеленные на создание новых математических методов, алгоритмов и программ для решения актуальных задач, возникающих в ходе научных исследований в области экспериментальной и теоретической физики. Эти задачи связаны с широким спектром исследований в физике высоких энергий, ядерной физике, физике конденсированных сред и наноструктур, биофизике и информационных технологиях, предусмотренных семилетнем планом развития ОИЯИ на 2017–2023 гг., решение которых неотделимо

от использования вычислительной техники. Вопросами первостепенной важности в ОИЯИ являются проект NICA, нейтринная программа, исследования в области нейтронной физики, физика сверхтяжелых и экзотических ядер. Численные или символично-численные вычисления будут выполняться с использованием ресурсов Многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК), в первую очередь - гетерогенной вычислительной платформы HybriLIT (включающей в себя учебно-тестовый полигон и суперкомпьютер «ГОВОРУН») и создаваемой распределенной программной инфраструктуры Больших данных. В состав исследовательских коллективов входят как опытные ученые с выдающимися научными достижениями, так и увлеченные молодые ученые и инженеры. Запрашиваемое финансирование будет покрывать заработную плату, участие в научных конференциях, расходы на командировки для выполнения совместных работ, оснащение рабочих мест и приобретение лицензий в рамках утвержденных ресурсов для ЛИТ ОИЯИ. Отличительной особенностью исследований темы является тесное сотрудничество ЛИТ со всеми лабораториями Института, а также с институтами стран-участниц ОИЯИ.

### **Этапы работы**

**(1) Математические и численные методы для моделирования сложных физических систем.**

Руководители: Адам Г., Буша Я., Пузынин И.В.

**(2) Программные комплексы и математические методы для анализа экспериментальных данных.**

Руководители: Зрелов П.В., Иванов В.В.

**(3) Разработка численных методов, алгоритмов и программ для многоядерных и гибридных архитектур и аналитика Больших данных.**

Руководители: Адам Г., Чулуунбаатар О., Стрельцова О.И., Кореньков В.В., Зрелов П.В.

**(4) Методы, алгоритмы и программное обеспечение компьютерной алгебры и квантовых вычислений.**

Руководитель: Гердт В.П.

**(1) Математические и численные методы для моделирования сложных физических систем**

Этот этап включает разработку и использование математических и вычислительных методов для моделирования новых экспериментальных установок, ускорительных комплексов и их элементов, ядерно-физических процессов, сложных физических систем. Разработка новых и развитие существующих численных методов для эффективного учета особенностей физических процессов и их математических моделей: нелинейности, многопараметричности, существования критических режимов и фазовых переходов. Уточнение моделей, исследование возможностей их использования и сравнение с экспериментальными данными будут проводиться в основном за счет разработки параллельных алгоритмов и их реализации в программных пакетах, настроенных на использование современных аппаратных архитектур, в первую очередь – гетерогенной вычислительной платформы HybriLIT.

- Расчеты магнитных полей для разных установок:

- Трехмерное компьютерное моделирование магнитных систем в рамках проектов NICA (ОИЯИ) и FAIR (GSI). Вычисление необходимых характеристик магнитного поля в рабочих областях магнитов.

- Создание быстрых конечно-элементных алгоритмов для трёхмерных вычислений распределения магнитных полей и их реализация в пакете COMSOL Multiphysics.

- Разработка методов и алгоритмов эффективного высокоточного трёхмерного моделирования магнитов и проведение вычислений, нацеленных на создание сверхпроводящих циклотронов для протонной терапии, в сотрудничестве с ЛЯП.

- Оптимизация программ динамики пучка в циклотронах с целью увеличения скорости, эффективности и точности расчетов.

• Исследование математических моделей сложных физических процессов будет продолжено в рамках квантово-полевого и молекулярно-динамического подходов:

- Развитие математических моделей для описания свойств ядерной материи при энергиях NICA:

(а) Обобщение модели Намбу – Иона -Лазинио с петлей Полякова и численный анализ поведения масс и констант связи кварков, дикуарков, мезонов и нуклонов при конечной температуре и плотностях;

(б) Завершение построения модели численного решения гидродинамических уравнений с использованием новых уравнений состояния и объединение ее с кинетическим описанием начального состояния и состоянием после замораживания;

(в) Моделирование специфических свойств уравнений состояния, в частности, зависимости физических величин от напряженности магнитных полей при малых температурах и больших значениях химического потенциала;

(г) Анализ, на базе гибридной модели с использованием разработанных кодов, объединяющих свойства кинетического и гидродинамического подходов, имеющихся экспериментальных данных по столкновению тяжелых ионов в области энергий строящегося ускорителя NICA.

- Разработка новых алгоритмов молекулярной динамики, направленных на повышение точности и значительное сокращение времени вычислений.

- Развитие моделей взаимодействия пучков ионов с мишенями с целью объяснения разных эффектов: дальнодействие и описание структурных изменений материалов при облучении тяжелыми ионами и нанокластерами, нахождение пороговых значений энергопотерь в облучаемых материалах, приводящих к структурным изменениям и сквозным трекам в тонких мишенях.

- Разработка математических моделей, алгоритмов и программ для исследования локально неравновесных процессов воздействия сверхкоротких лазерных импульсов на материалы. Формулировка и решение систем уравнений теплопроводности для исследования лазерной абляции, проведение численных экспериментов в рамках молекулярной динамики. Проверка правильности теоретических моделей путем сравнения полученных численных результатов с экспериментальными данными.

• Разработка новых и развитие существующих численных методов для эффективного учета особенностей физических процессов:

- Разработка численных методов для описания равновесных и неравновесных свойств мезоскопических систем атомов в ловушках.

- Численное исследование оптических и самоорганизующихся атомных решеток с акцентом на управление их свойств внешними полями. Развитие оптимизированной теории возмущений и теории автомодельных приближений для этих систем.

- Исследование нелинейных многопараметрических процессов в сложных физических системах с внешними воздействиями, включая модели сверхпроводящих структур, локализованные состояния в конденсированных средах, моделирование газогидродинамических процессов в пористых средах.

- Численное исследование ядерно-физических процессов на основе гибридной модели микроскопического потенциала, включая реакции с легкими экзотическими ядрами.

- Развитие методов моделирования отражения нейтронов от слоистых наноструктур. Исследования магнитных пленок как структур, состоящих из векторных микрообъектов.

- Исследование моделей черных дыр и червоточин, как в астрофизике, так и в космологии, направленное на объяснение результатов новых экспериментов.

• Разработка новых математических методов для извлечения значимой информации из данных, получаемых в экспериментах, проводимых ОИЯИ;

- Группа малоуглового рассеяния нейтронов, ЛНФ (спектрометр ЮМО реактора ИБР-2):

(а) Сопровождение программы первичной обработки SAS для спектрометра ЮМО;

(б) Развитие программы для работы с позиционно-чувствительными детекторами для изотропно и анизотропно рассеивающих образцов и для кольцевых детекторов;

(в) Разработка и поддержка параллельной версии программы Fitter.

- По проекту БАЙКАЛ, ЛЯП: Поэтапное создание системы оповещения.

- Моделирование электромагнитных каскадных ливней в области сверхвысоких энергий и численное исследование их характеристик по экспериментальным данным, полученным в таких астрофизических проектах как IceCube, Antares, Байкал.

• Разработка надежных масштабно-адаптированных алгоритмов пониженной вычислительной сложности:

- Разработка метода экстраполяции шестого порядка с целью повышения эффективности алгоритмов для численного решения широкого спектра задач.

- Развитие методики и алгоритмов для обработки и анализа нейтронных шумов реактора ИБР-2М.

- Многоступенчатый многомасштабный подход к Байесовской автоматической адаптивной квадратуре.

- Разработка алгоритмов численного моделирования эволюции жидкого кристалла в импульсном электрическом поле, а также под влиянием ориентирующей структурированной поверхности.

- Моделирование особенностей поглощения-эмиссии и фотонной плотности состояний холестерического жидкого кристалла с изотропным дефектом внутри.

- Квантово-химический кластерный подход к электронным системам с сильными спин-орбитальными взаимодействиями.

- Проведение вычислений электромагнитных и термальных величин, характеризующих физические процессы в сверхпроводниках  $MgB_2$ .

## **(2) Программные комплексы и математические методы для анализа экспериментальных данных**

Этот этап включает разработку и использование математических и вычислительных методов для извлечения значимой информации из данных, получаемых в экспериментах, проводимых в ОИЯИ или с участием ОИЯИ; алгоритмы и комплексы программ для решения задач в физике высоких энергий, ядерной физике, физике конденсированных сред, физике радиационной биологии, в том числе на ускорительных комплексах LHC, NICA, FAIR, а также экспериментальных установках нейтринной программы ОИЯИ. Разработка алгоритмов нейронных сетей глубокого обучения станет важной частью этого этапа.

Существуют четыре класса задач ОИЯИ, решаемые с прямым участием ЛИТ.

- Разработка математических методов, алгоритмов и программного обеспечения для надежного моделирования и интерпретации экспериментальных данных:

- В рамках пакета Geant4: моделирование рождения очарованных частиц и их транспорт в веществе; улучшение алгоритма расчета энергий при возбуждении ядер-остатков и улучшение описания образования ядерных фрагментов; усовершенствование моделей FTF и QGSM и их применение для моделирования условий различных экспериментов (PANDA, NICA/MPD, NICA/SPD).

- Развитие программного обеспечения, обработка и анализ данных экспериментов НУКЛОН и COMBAS.

- Анализ структуры и свойств везикулярных систем фосфолипидов и препаратов на основе фосфолипидной транспортной наносистемы по данным малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей в зависимости от внешних факторов и химического состава.

- Разработка алгоритмов нейронных сетей глубокого обучения:

- Развитие платформы анализа и управления данными биологического мониторинга для контроля и прогнозирования состояния окружающей среды.

- Разработка математических методов для выявления тонкой структуры в распределениях продуктов ядерных реакций по массе и энергии.

- Разработка программного обеспечения для реконструкции треков элементарных частиц на основе методов глубокого обучения при обработке экспериментальной информации с современных трековых детекторов физики высоких энергий.

- Программная и информационная поддержка проектов ОИЯИ:

- Совершенствование информационных систем для онлайн и офлайн обработки данных экспериментальных установок комплекса NICA: Разработка баз данных для задач экспериментов BM@N и MPD.

- Программная поддержка эксперимента BM@N: Разработка и реализация алгоритмов моделирования, обработки и анализа данных для трековой системы, состоящей из газовых и полупроводниковых детекторов с микростриповым съемом информации (GEM, SILICON, CSC) и их последующая интеграция в среду BmnRoot.

- Развитие и доработка модели DQGSM путем сравнения с экспериментальными данными BM@N.

- В работах по эксперименту BM@N:

(а) Реконструкция траекторий заряженных частиц во внешних трековых детекторах: многопроволочных пропорциональных камерах, кремниевых детекторах, катодно-стриповых камерах, дрейфовых камерах, газовых электронных умножителях;

(б) Идентификация частиц во времяпролетном детекторе TOF700;

(в) Поиск странных гиперонов на данных с Нуклотрона.

- В работах по эксперименту MPD: Участие в реализации лазерной калибровочной системы для юстировки время-проекционной камеры (TPC), контроля скорости дрейфа и учета искажений электрического поля внутри TPC как части экспериментальной установки MPD.

- Дальнейшее развитие статистических методов анализа экспериментальных данных с малой статистикой и в условиях неполноты наблюдения за изучаемыми процессами: проверка правдоподобия гипотез, построение оценок параметров периода полураспада ядра, сечения реакции и точности этих оценок, фильтрация помех и построение оптимальной схемы эксперимента.

- Развитие пакетной обработки нейтронных дифракционных спектров, измеренных в режиме *in situ* в реальном времени (ФДВР на ИБР-2, ЛНФ).

• Программная и информационная поддержка крупномасштабных экспериментов, проводимых с участием ОИЯИ:

- Поддержка программного обеспечения эксперимента ATLAS: (а) Развитие и сопровождение настройки и управления ATLAS TDAQ; (б) Развитие и поддержка модулей проекта EventIndex; (в) Развитие модулей проекта Condition DB (в рамках подготовки к RUN3).

- В работах по эксперименту CMS:

(а) Разработка, тестирование и внедрение в официальное программное обеспечение CMS алгоритмов разделения перекрывающихся сигналов и построения трек-сегментов в катодно-стриповых камерах (CSC);

(б) Оценка пространственного разрешения и эффективности CSC на экспериментальных данных с LHC;

(в) Изучение эффектов «старения» CSC на тестовом мюонном пучке с облучением радиационным источником (CERN-GIF++);

(г) Оценка фоновых загрузок в CSC на экспериментальных данных с LHC.

- В работах по эксперименту CBM:

(а) Развитие методов отбора редких процессов: разработка моделей, методов, алгоритмов и программного обеспечения;

(б) Развитие и поддержка комплекса баз данных.

### **(3) Разработка численных методов, алгоритмов и программ для многоядерных и гибридных архитектур и аналитика Больших данных**

#### *А. Разработки для многоядерных и гибридных архитектур*

Этот этап темы направлен на развитие численных методов, алгоритмов и комплексов программ, разрабатываемых на основе технологий параллельного программирования при помощи OpenMP, MPI, CUDA/OpenCL, методов машинного обучения и глубокого обучения (ML/DL), предназначенных для

эффективного использования многоядерных и гибридных архитектур с целью решения массивно-параллельных, ресурсоемких задач теоретической и экспериментальной физики. Разрабатываемые методы и алгоритмы будут учитывать тенденции развития вычислительных архитектур и IT-технологий, позволяющих реализовать необходимую функциональность для разнообразных высокопроизводительных вычислительных средств и существенно ускорить решение широкого спектра задач, стоящих перед ОИЯИ.

Для обеспечения возможностей разработки математических моделей и алгоритмов и проведения ресурсоемких расчетов, в том числе на графических ускорителях, позволяющих существенно сокращать время вычислений, в рамках гетерогенной вычислительной платформы HybriLIT создана и активно развивается *экосистема* для анализа данных и также для задач ML/DL. Созданная экосистема включает две компоненты: первая предназначена для проведения ресурсоемких, массивно-параллельных задач обучения нейронных сетей с использованием графических ускорителей NVIDIA; вторая предназначена для разработки моделей и алгоритмов на базе JupyterHub –многопользовательской платформы по работе с Jupyter Notebook.

- На базе созданной экосистемы предполагается развивать алгоритмы на основе ML/DL:
  - на основе рекуррентных и свёрточных нейронных сетей с глубоким обучением для решения задач быстрого распознавания множественных треков в экспериментах физики частиц, в том числе для мегапроекта NICA и нейтринной программы;
  - на базе нейросетевого подхода для задач анализа и классификации медицинских и биологических данных.
- Проведение масштабных численных экспериментов для проекта ELI-NP в рамках недавно подписанного Меморандума о научном сотрудничестве (MoSC), в частности, путем внедрения и улучшения кода PIConGPU для лазерного ускорения элементарных частиц.
- Дальнейшая поддержка решения прикладных инженерно-физических задач на платформе HybriLIT с использованием пакетов программ адаптированных для параллельных вычислений, например, избранные пакеты COMSOL Multiphysics, LAMMPS, GAMESS и др.
- Дальнейшая разработка параллельных реализаций программных комплексов для решения ряда актуальных и новых конкретных задач, а именно:
  - распараллеливание времязатратных функций при помощи инструментов OpenMP, MPI, CUDA/OpenCL для моделирования и реконструкций событий в экспериментах NICA.
  - проведение расчетов на гетерогенных вычислительных платформах для исследования джозефсоновских структур;
  - численное исследование многомерных моделей, базирующихся на эволюционных уравнениях;
  - решение уравнений движения молекулярной динамики и уравнений сплошных сред;
  - вычисления многократных интегралов, возникающих при проведении теоретических исследований, связанных с мегапроектом NICA, и при исследовании различных физических процессов;
  - решение мульти-физических задач в рамках проектирования ускорителей, дозиметрии и радиационной безопасности;

- изучение возможности повышения производительности анализа данных в ROOT за счет использования графических процессоров, сравнительный анализ распараллеливания с использованием PROOF и OpenCL (для применения полученных результатов в работе над проектом NICA);
- диагонализация больших матриц в теории случайных матриц для описания свойств гигантских мультипольных резонансов тяжелых и средних ядер;
- проведение расчетов нестандартных задач магнитостатики;
- решение оптимизационных задач, направленных на получение наилучших параметров моделей сверхплотной ядерной материи при моделировании столкновений тяжелых ионов и в астрофизических приложениях;
- разработка эффективных методов декодирования на основе алгоритма LDPC с использованием генетического подхода;
- разработка вычислительных схем метода конечных элементов для описания квадрупольных колебаний коллективной модели ядра;
- разработка вычислительных схем для треугольной кулоновской задачи трех центров и их применение к молекуле иона  $H_3^+$  и молекуле  $H_2O$ ;
- моделирование процессов однократной и многократной ионизации/фотоионизации биомолекул методом разделяемых потенциалов;
- исследование однократной ионизации атомов и молекул быстрым протонным ударом в различных кинематических режимах.

#### *Б. Аналитика Больших данных*

- Разработка концепции и поэтапная реализация в рамках подхода Больших данных масштабируемой программно-аналитической платформы для сбора, хранения, обработки, анализа, поиска значимой информации и визуализации результатов для экспериментов MPD, SPD и BM@N на ускорительном комплексе NICA и группы экспериментов нейтринной программы ОИЯИ.
- Разработка методов и программного обеспечения для эффективного применения аналитики Больших данных для ресурсоёмких расчётов на сопроцессорах и графических процессорах для моделирования, реконструкции и обработки данных экспериментов (установки на ускорительном комплексе NICA, эксперименты нейтринной программы ОИЯИ, эксперименты на LHC).
- Разработка методик для реконструкции событий и интеллектуального мониторинга детекторов с использованием методов и технологий Больших данных и машинного обучения. Использование мощных высокоуровневых библиотек Больших данных, в том числе библиотеки для машинного обучения Spark MLlib, библиотеки для операций над графами и выполнения с ними параллельных операций GraphX, библиотеки для обработки потоковых данных в реальном времени Spark Streaming, библиотеки SparkSQL. Использование новых математических методов, таких как DQC (Dynamic Quantum Clustering), Complex Networks и др.
- Развитие методов анализа временных рядов с использованием технологий Больших данных для интеллектуального мониторинга распределенных вычислительных систем. Применение технологий

машинного обучения и искусственного интеллекта для оптимизации функционирования распределенного компьютеринга физических экспериментов.

#### *В. Развитие библиотек*

- Развитие библиотеки JINRLIB предусматривается в трех направлениях:

(а) Переход на современные средства разработки программного обеспечения (Intel Parallel Studio), в том числе свободно распространяемые (GNU Compiler Collection).

(б) Создание интерфейсов для современных языков высокого уровня (Python, C++) и Fortran, позволяющих использовать библиотеки, написанные на Fortran (CERNLIB, JINRLIB).

(в) Разработка и поддержка параллельных программ библиотеки JINRLIB.

#### **(4) Методы, алгоритмы и программное обеспечение компьютерной алгебры и квантовых вычислений**

Этот этап предусматривает развитие методов компьютерной алгебры и квантовых вычислений для моделирования квантовых информационных процессов; создание алгоритмов и программ символьно-численного решения задач, возникающих в экспериментальных и теоретических исследованиях, с использованием новейших вычислительных аппаратных ресурсов, включая гетерогенную платформу HybriLIT.

- Развитие методов моделирования квантовых систем и квантовых информационных процессов:

- Разработка методов квантовой обработки информации с помощью дипольных и спинорных атомных систем, анализ оптимальных методов спинтроники.

- Моделирование интеллектуальных сетей, выполняющих операции, основанные на квантовой теории принятия решений. Численный анализ моделей искусственного интеллекта.

- Исследование методов и алгоритмов квантового компьютеринга и квантовой информатики, ориентированных на машинное обучение (квантовое машинное обучение) с целью их адаптации к задаче реконструкции треков и обработки данных для коллайдера NICA.

- Сопоставление и анализ вычислительной эффективности адиабатического и «универсального» квантового компьютеринга на реальном оборудовании, доступном через облака.

- Разработка высокоэффективных алгоритмов, опирающихся на вычислительную теорию конечных групп, для исследования перепутанности многочастичных квантовых систем.

- Разработка квантовых алгоритмов для вычислений в рамках методов тензорных сетей с целью изучения фазовых переходов в решеточных моделях КХД при конечной плотности.

- Разработка методов компьютерной алгебры с применением к символьно-численному решению дифференциальных уравнений:

- Усовершенствование алгоритмов и программ исследования и решения систем нелинейных алгебраических и дифференциальных уравнений, возникающих в моделировании квантовых вычислений и других физических процессов и опирающихся на возможности гетерогенного кластера HybriLIT и суперкомпьютера «ГОВОРУН».

- Разработка алгоритмов, запрашиваемых специальными темами:

- Разработка новой вычислительной схемы построения квазивероятностного распределения Вигнера для составных систем.

- Разработка релятивистской версии уравнения Линдблада для открытых систем на основе уравнений Боголюбова для вектора состояния в релятивистской квантовой теории поля.

- Применение предложенных версий квазивероятностных распределений Вигнера и релятивистских уравнений Линдблада для исследования составных систем, взаимодействующих с интенсивным лазерным полем.

- Развитие алгебраических методов вычисления радиационных поправок, зависящих от многих кинематических переменных и масс, на основе функциональных уравнений и рекуррентных соотношений.

- Разработка и внедрение специальных компьютерных средств:

- Встраивание в систему компьютерной алгебры модуля Axiom для теоретико-полевых вычислений в физике высоких энергий, являющегося частью системы FORM – наиболее эффективной среди систем компьютерной алгебры с точки зрения скорости вычислений указанного типа.

### **Ожидаемые результаты по завершению темы**

1. Математические и численные методы для моделирования сложных физических систем: разработка и использование математических методов и программ для моделирования новых экспериментальных установок, ускорительных комплексов и их элементов, ядерно-физических процессов, сложных физических систем. Построение согласованных программных 3D моделей дипольных и квадрупольных магнитов для NICA (ОИЯИ), SIS100 (GSI) и других установок; расчеты распределений магнитного поля в рабочих областях магнитов. Исследование математических моделей сложных физических процессов в рамках квантово-полевых и молекулярно-динамических подходов; разработка новых и развитие существующих численных методов для эффективного учета особенностей физических процессов и их математических моделей: нелинейности, многопараметричности, существования критических режимов и фазовых переходов. Уточнение моделей, исследование возможностей их использования и сравнение с экспериментальными данными будут проводиться в основном за счет разработки параллельных алгоритмов и программ для современных аппаратных архитектур, в первую очередь гетерогенной вычислительной платформы HybriLIT (учебно-тестового полигона и суперкомпьютера «ГОВОРУН»).
2. Программные комплексы и математические методы для анализа экспериментальных данных: разработка новых математических методов для извлечения значимой информации из данных, полученных в экспериментах, проводимых в ОИЯИ или с участием ОИЯИ; алгоритмы и комплексы программ для решения задач в физике высоких энергий, ядерной физике, физике конденсированных сред, радиационной биологии, в том числе в экспериментах, проводимых на ускорительных комплексах NICA (BM@N, MPD, SPD), LHC (ATLAS, CMS), FAIR (CBM), а также в экспериментах нейтринной программы ОИЯИ.

3. Разработка численных методов, алгоритмов и программных комплексов с использованием новых вычислительных технологий для многоядерных и гибридных архитектур с целью решения вычислительно емких задач теоретической и экспериментальной физики; проведение масштабных численных экспериментов на суперкомпьютере «ГОВОРУН»; развитие и поддержка экосистемы для анализа данных и задач машинного обучения (ML/DL). Разработки в рамках подхода Больших данных: концепция и поэтапная реализация масштабируемой программно-аналитической платформы для сбора, хранения, обработки, анализа, поиска значимой информации и визуализации результатов для экспериментов MPD, SPD и BM@N на ускорительном комплексе NICA и группы экспериментов нейтринной программы ОИЯИ; методы и программное обеспечение аналитики Больших данных для ресурсоёмких расчётов с использованием многоядерных архитектур и графических процессоров для моделирования, обработки данных и реконструкции событий; методы интеллектуального мониторинга детекторов и распределенных вычислительных систем.
4. Разработка методов компьютерной алгебры и квантовых вычислений для моделирования квантовых информационных процессов; создание алгоритмов и комплексов программ символьно-численного решения дифференциальных уравнений и задач, возникающих в экспериментальных и теоретических исследованиях, с использованием новейших вычислительных аппаратных ресурсов, включая платформу HybriLIT; разработка и внедрение специальных, наиболее эффективных, средств компьютерной алгебры.

#### Участники от ОИЯИ

<b>Этап темы</b>	<b>Руководители</b>
Лаборатория или другие подразделения ОИЯИ	Основные исполнители
<b>1. Математические и численные методы для моделирования сложных физических систем</b>	<b>Адам Г. Буша Я. Пузынин И.В.</b>
ЛИТ	Адам С., Айриян А.С., Айрян Э.А., Акишин П.Г., Амирханов И.В., Барашенков И.В., Башашин М.В., Боголюбская А.А., Боголюбский И.Л., Войчеховски А.Э., Волохова А.В., Воскресенская О.О., Григорян О., Дикусар Н.Д., Жабицкая Е.И., Земляная Е.В., Калиновский Ю.Л., Карамышева Т.В., Кулябов Д.С., Лукьянов К.В., Махалдиани Н.В., Никонов Э.Г., Оганесян К., Пузынина Т.П., Рихвицкий В.С., Саркар Н.Р., Сархатов И., Саха Б., Соловьев А.Г., Соловьева Т.М., Старченко Ю.Б., Сюракшина Л.А., Тухлиев З.К., Червяков

А.М., Шарипов З.А., Ширикова Н.Ю., Юкалова  
Е.П., Ямалеев Р.М.

ЛФВЭ

Бойцов А.Ю., Геворгян С.Р., Донец Е.Е., Никитин  
В.А., Ходжибагиян Г.Г., Шейнаст В.

ЛТФ

Альварес-Кастильо Д.Э., Блашке Д.Б., Брагута В.В.,  
Воронов В.В., Воскресенский Д.Н., Гнатич  
М., Ильгенфриц Е.-М., Лукьянов В.К., Маслов К.А.,  
Севастьянов Л.А., Тонеев В.Д., Фризен  
А.В., Хворостухин А.С., Юкалов В.И., Юшанхай В.Ю.

ЛЯР

Кочнев М.К., Лукьянов С.М., Олейничак А.,  
Пенионжкевич Ю.Э., Рымжанов Р.А., Скуратов В.А.

ЛНФ

Аскеров Э. Б., Белушкин А.В., Куклин А.И., Иванов  
А.И., Пепельшев Ю.Н.

ЛЯП

Афанасьев Л.Г., Белолаптиков И.А., Карамышева  
Г.А., Карамышев О., Киян И.Н., Шайбонов Б.А.,  
Ширков Г.Д.

**2. Программные комплексы и математические методы для анализа экспериментальных данных** **Зрелов П.В.**  
**Иванов В.В.**

ЛИТ

Акишина Е.П., Александров Е.И., Александров  
И.Н., Баранов Д.А., Башашин М.В., Белогуров  
С.Г., Войтишин Н.Н., Волохова А.В., Дереновская  
О.Ю., Жабицкая Е.И., Земляная Е.В., Злоказов  
В.Б., Казаков А.А., Казымов А.И., Козлов  
Г.Е., Костенко Б.Ф., Круглова Л.Ю., Лебедев  
С.А., Минеев М.А., Михайлова Т.И., Мусульманбеков  
Ж.Ж., Нечаевский А.В., Ососков Г.А., Пальчик В.В.,  
Пряхина Д.И., Рихвицкий В.С., Сапожникова  
Т.Ф., Слепнёв С.К., Соснин А.Н., Ужинский  
В.А., Ужинский В.В., Филозова И.А., Шигаев  
В.Н., Яковлев А.В.

ЛФВЭ

Батюня Б.В., Бычков А.В., Галоян А.С., Геворгян С.Р.,  
Герценбергер К.В., Жежер В.Н., Капишин  
М.Н., Кечечян А.О., Ладыгин В.П., Ленивенко  
В.В., Малахов А.И., Мерц С.П., Мовчан С.А., Разин  
С.В., Рогачевский О.В.

ЛТФ

Тонеев В.Д.

ЛЯР

Артох А.Г., Пенионжкевич Ю.Э., Пятков Ю.В.,  
Середа Ю.М., Соболев Ю.Г., Утенков В.К.,  
Фомичев А.С., Цыганов Ю.С., Эрдэмчимэг Б.

ЛНФ

Балагуров А.М., Бобриков И.А., Киселев  
М.А., Козленко Д.П., Фронтасьева М.В.

ЛЯП

Бедняков В.А., Бедняков И.В., Жемчугов  
А.С., Ольшевский А.Г., Ткачѐв Л.Т.

**3. Разработка численных методов, алгоритмов и программ для многоядерных и гибридных архитектур и анализа Больших данных.**

ЛИТ

**Адам Г.  
Чулуунбаатар О.  
Стрельцова О.И.  
Кореньков В.В.**

**Зрелов П.В.**

Айриян А.С., Айрян Э.А., Акишин П.Г., Александров Е.И., Башашин М.В., Белов С.Д., Беляков Д.В., Буша Я., мл., Войтишин Н.Н., Волохова А.В., Гусев А.А., Жабицкая Е.И., Земляная Е.В., Зуев М.И., Кадочников И.С., Матвеев М.А., Пелеванюк И.С., Подгайный Д.В., Полякова Р.В., Попкова Л.В., Пузынина Т.П., Сапожников А.А., Сапожникова Т.Ф., Саркар Н.Р., Сархадов И., Семенов Р.Н., Сердюкова С.И., Соловьев А.Г., Соловьева Т.М., Тухлиев З.К., Филозова И.А., Шарипов З.А., Червяков А.М., Чулуунбаатар О., Юлдашев О.И., Юлдашева М.Б.

ЛИТ-МИВК

Кореньков В.В., Мицын В.В., Стриж Т.А.

ЛФВЭ

Воронюк В.В., Герценбергер К.В., Коваленко А.Д., Мошкин А.А., Перепелкин Е.Е.

Рогачевский О.В.

ЛЯП

Бедняков В.А., Наумов Д.В., Ольшевский А.Г., Самойлов О., Якушев Е.А.

ЛЯР

Апель П.Ю., Митрофанов С.В., Скуратов В.А.

ЛТФ

Виницкий С.И., Красовицкий П.М., Назмитдинов Р.Г., Попов Ю.В., Шукринов Ю.М.

ЛНФ

Новицкий В. В. + 3 чел.

**4. Методы, алгоритмы и программное обеспечение компьютерной алгебры и квантовых вычислений**

ЛИТ

**Гердт В.П.**

Аббаслы Н., Абгарян В., Боголюбская А.А., Корняк В.В., Коткова Е.А., Рапортиренко А.М., Рогожин И.А., Тарасов О.В., Торосян А.Г., Хведелидзе А.М., Шарма К.К., Юкалова Е.П., Янович Д.А.

ЛТФ

Чижов А.В., Титов А.И., Физиев П., Юкалов В.И.

ЛФВЭ

Рогачевский О.В.

ЛЯР

Гикал Б.Н.

## Участвующие страны, институты и организации

Страна или международная организация	Город	Институт или лаборатория	Участники	Статус
Азербайджан	Баку	ИФ НАНА	Мамедов Н.	Совместные работы
Армения	Ереван	ННЛА	Ананикян Н.	Совместные работы
		ЕГУ	Чубарян Э.	Совместные работы
		РАУ	Саркисян А.А.	Совместные работы
		ИПИА НАН РА	Геворкян А.С.	Совместные работы
Беларусь	Минск	ИМ НАНБ	Янович Л.Я.+3чел. Егоров А.Д. Малютин В.Б.	Совместные работы
	Гомель	ГГТУ	Гончаров П.	Совместный проект
Болгария	София	IMI BAS	Колковска Н.	Совместные работы
		INRNE BAS	Богданова Н.+1чел Антонов А.А.	Совместные работы Совместные работы
			Гайдаров М.К. Димитрова С. Кадрев Д.Н.	
			Спасова К. Купенова Т.Н.	Совместные работы
		SU	Младенов Д. Димова С.Н.+2чел	Совместные работы
	Пловдив	PU	Атанасова П.Х.	Совместные работы
Вьетнам	Ханой	VNU	Нгуен Ван Хьеу+2 чел. Во Чонг Тхак	Совместные работы
Грузия	Тбилиси	GTU	Ломидзе И.	Совместные работы
		TSU	Георгадзе Г.	Совместные работы
		UG	Гогилидзе С.	Совместные работы
		RMI TSU	Лаврелашвили Г.	Совместные работы

Казахстан	Алматы	ИЯФ	Красовицкий П.М.	Совместные работы
Молдова	Кишинев	ИПФ АНМ	Базнат М.	Совместные работы
Монголия	Улан-Батор	NUM	Жанлав Т.	Совместные работы
		ИРТ MAS	Батгэрэл Б.	Совместные работы
Польша	Варшава	WUT	Словински Б. Плуга Я.	Совместные работы
	Вроцлав	UW	Блашке Д. +3 чел. Фишер Т.	Совместные работы
	Краков	NINP PAS	Суликовский Я.М.	Протокол
	Люблин	UMCS	Гоздз А.	Совместные работы
	Отвоцк-Сверк	NCBJ	Полянски А. Шута М. Сандач А. Словински Б.	Совместные работы
Россия	Москва	ИПМ РАН	Вабищевич П.Н. Калиткин Н.Н. Поляков С.В. Повещенко Ю.А.	Договор
		ИОФ РАН	Егоров А.А. + 2 чел.	Совместные работы
		ИПМех РАН	Алгазин С.Д. Ильин А.С.	Совместные работы
		ИПУ РАН	Постнов С.С.	Договор
		ИТЭФ	Захаров В.И. Борняков В. Титаренко Ю.Е.	Совместные работы
		МГОУ	Чаусов Д.Н.	Совместные работы
		МГУ	Кузаков К.А. Перепелкин Е.Е.	Совместные работы
		НИВЦ МГУ	Воеводин В.В.	Совместные работы
		НИЯУ "МИФИ"	Воскресенский Д.Н. Кудряшов Н.А. Крянев А.В. Климанов В.А.	Совместные работы
		РУДН	Севастьянов Л.А. + 2 чел. Рыбаков Ю.П. Бронников К.А.	Совместные работы

	Москва, Троицк	ИЯИ РАН	Ботвина А.	Совместные работы	
	Гатчина	НИЦ КИ ПИЯФ	Кузнецова К. Ханзадеев А.В.	Совместные работы	
	Дубна	Ун-т "Дубна"	Аникина А. И. Еремкина И.В. Крюков Ю.А.	Совместные работы	
	Пермь	ПГНИУ	Хеннер В.К.	Совместные работы	
	Протвино	ИФВЭ	Борняков В. Битюков С.И. + 2 чел.	Совместные работы	
	Пушино	ИМПБ РАН	Лахно В.Д.	Совместные работы	
		ИТЭБ РАН	Полозов Р.В. + 3 чел.	Совместные работы	
		ИБ РАН	Чиргадзе Ю.Н.	Совместные работы	
	С.-Петербург	НИИЭФА	Сычевский С.Е. Ламзин Е.А. Кухтин В.П.	Совместные работы	
	Саратов	СГУ	Блинков Ю.А.+1чел Дербов В.Л.	Совместные работы	
	Тверь				
	Томск	ТГУ	Скорик Н.А.	Совместные работы	
Румыния	Бухарест	IFIN-НН	Замфир Н.В. Берчеану А. Тешилеану О. Дулеа М. + 6 чел. Исар А. + 2 чел. Ангел Д. Вишинеску М.	Гранты и проекты в рамках программы «Хулубей-Мещеряков»	
			IFIN-НН – ELI-NP	Тешилеану О. Берчеану А.	MoSC
			IFA	Бузату Ф.	Совместные работы
		ISS	Стан Й. Севченко А.	Совместные работы	
		UB	Штефанеску Д.	Протокол	
		Клуж-Напока	INCDTIM	Бот А.. Фаркас Ф. Вароди К. Флоаре К.	Проект в рамках программы «Хулубей-Мещеряков»

			Белеан Б. Труска Р. Альберт С. Бенде А.	
	Тимишоара	UVT	Визман Д. + 2 чел.	Проект в рамках программы «Хулубей-Мещеряков»
Словакия	Банска Бистрица	UMB	Коломейцев Е.	Совместные работы
	Кошице	IEP SAS	Валя М.	Совместные работы
		TUKE	Копчанскы П.	Совместные работы
		PJSU	Торок Ч. Семанишин Г.	Совместные работы
	Прешов	PU	Поповичова М.	Протокол
Чехия	Прага	CTU	Броулим Я.	Совместные работы
Германия	Бонн	UniBonn	Вебер А.	Совместные работы
	Вуппергаль	UW	Камперт К.-Х.	Совместные работы
	Гамбург	Ун-т	Книль Б.А.	Совместные работы
	Гессен	JLU	Хёне К.	Совместные работы
	Дармштадт	GSI	Зенгер П. Зенгер А. Зызак М.И. Акишина В.П.	Совместные работы
			Галатюк Т. Васильев Ю.О. Шайденбергер К. Муха И. Киселев О. Мюллер Ф.	
	Дрезден	HZDR	Тупель С. Фишер Э. Фризе В. Бастраков С.	Совместные работы
		IFW	Видера Р.	
	Йена	Ун-т	Хозои Л. Штернбек А.	Совместные работы Совместные работы

	Кассель	Uni Kassel	Зайлер В.М.	Совместные работы
	Карлсуэ	KIT	Погосян Г.	Совместные работы
	Марбург	Ун-т	Брандт Р.	Совместные работы
	Мюнхен	LMU	Вольтер Х.	Совместные работы
	Росток	Ун-т	Рёпке Г.	Совместные работы
	Фрайберг	TUBAF	Лейбинг С.	Совместные работы
	Франкфурт/М	Ун-т	Кисель И.В. Линденштрут В. Шёффлер М.С.	Совместные работы
Италия	Турин	INFN	Балестра Ф. Пираджино Г.	Совместные работы
	Бари	UniBa	Ла Скала Р.	Совместные работы
	Катания	LNS INFN	Ди Торо М.	Совместные работы
	Фраскати	INFN LNF	Датоли Дж.	Совместные работы
ЮАР	Кейптаун	UCT	Алексеева Н.	Соглашение
	Претория	UP	Энгельбрехт А. + 1 чел.	Соглашение
	Стелленбос	SU	Коули А.	Соглашение
Австралия	Сидней	Ун-т	Реза Хашеми-Нежад	Совместные работы
Бельгия	Брюссель	ULB	Карпов Е.А. Petr	Совместные работы
	Лувен-ля-Нев	UCL	Пиро Б.	Совместные работы
	Льеж	ULg	Куньон Ж. Yura К Кудель Ж.Р. Лансберг Ж.П.	Совместные работы
Бразилия	Сан-Карлос	IFSC USP	Багнато В.С.	Совместные работы
Греция	Салоники	AUTH	Антониоу Я.	Совместные работы
Канада	Торонто	IBM Lab	Абрашкевич А.	Совместные работы
	Эдмонтон	U of A	Сафухи Х.	Совместные работы
Израиль	Тель-Авив	TAU	Юровский В.	Совместные работы
Китай	Ханчжоу	ZJU	Шао-Кай Луо	Совместные работы
	Хефэй	IPPCAS	Сонг Ю.	Совместные работы
Португалия	Лиссабон	UL	Конотоп В. Зезюлин Д.	Совместные работы
США	Аргонн	ANL	Гохар Ю.	Совместные работы

	Дейвис	UCDavis	Кокс Т.	Совместные работы
	Кембридж	MIT	Пасюк М.	Совместные работы
	Лос-Анджелес	UCLA	Игнатенко М.	Совместные работы
	Мэдисон	UW-Madison	Ланаро А.	Совместные работы
	Сан-Диего	UCSD	Вебер Ф. Крутелев В.	Совместные работы
Таджикистан	Стэнфорд	SU	Михелс Д.	Совместные работы
	Душанбе	ТНУ ФТИ АН РТ	Абдулоев Х.+ 3 чел. Муминов Х.Х.	Совместные работы Совместные работы
	Худжанд	ХГУ	Гафуров Х.+2 чел. Музафаров Д.З.+3 чел.	Совместные работы Протокол
Франция	Мец	UL	Джулакян Б.Б.	Совместные работы
	Нант	SUBATECH	Тиолье Н.	Совместные работы
ЦЕРН	Женева	ЦЕРН	Христов П. Аволио Дж. Астигаррага Е. Барберис Д. Рое Ш. Формика А. Галлас Е. Озрук Н. Рибон А. + 5 чел. Балларино А. Жианнелли С.	Совместные работы
Швейцария	Цюрих	ETH	Сорнетт Д.	Совместные работы
Япония	Осака	Kansai Univ.	Кук Н.Д.	Совместные работы
	Сайтама	SU	Мисаки А.	Соглашение

**Сроки выполнения работы: 2020–2023 гг.**

**Полная сметная стоимость темы**

В ТЫС. ДОЛЛ.

	Наименование статей бюджета	сметная стоимость 2020–2023	В том числе по годам:			
			2020	2021	2022	2023
1	2	3	4	5		6
1	Заработная плата	8761.8	1887.9	2076.7	2284.4	2512.8
2	Единый социальный налог	2646.1	570.1	627.2	689.9	758.9
3	Соцбытфонд	569.5	122.7	135.0	148.5	163.3
4	Расходы по международному сотрудничеству	238.8	59.7	59.7	59.7	59.7
	а) командирование в страны-участницы	60.8	15.2	15.2	15.2	15.2
	б) командирование в страны-неучастницы	72.0	18.0	18.0	18.0	18.0
	в) командирование на территории России	28.0	7.0	7.0	7.0	7.0
	г) прием иноспециалистов	50.0	12.5	12.5	12.5	12.5
	д) проведение совещаний, предст.расходы	28.0	7.0	7.0	7.0	7.0
5	Материалы	104.0	20.0	24.0	28.0	32.0
6	Оборудование	365.0	80.0	90.0	95.0	100.0
7	Потребление электроэнергии					
8	Потребление тепловой энергии и водоснабжение					
9	Оплата пуско-наладочных работ					
10	Оплата услуг научно-исследовательских организаций					
11	Научно-информационное обеспечение					
15	Оплата услуг связи					
	<b>ВСЕГО</b>	<b>12685.2</b>	<b>2740.4</b>	<b>3012.6</b>	<b>3305.5</b>	<b>3626.7</b>

