

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

Руководители темы: Адам Г.
Зрелов П.В.
Заместитель: Буша Я.
Чулуунбаатар О.

Участвующие страны и международные организации:

Австралия, Азербайджан, Армения, Беларусь, Бельгия, Бразилия, Болгария, Вьетнам, Германия, Греция, Грузия, Израиль, Италия, Казахстан, Канада, Китай, Молдова, Монголия, Польша, Португалия, Россия, Румыния, Словакия, США, Таджикистан, Франция, ЦЕРН, Чехия, Швейцария, ЮАР, Япония.

Исзуемая проблема и основная цель исследований:

Проведение основополагающих перспективных и опережающих исследований в области вычислительной математики и физики, нацеленных 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 проводимых в рамках научных проектов, утвержденных для выполнения в течение семилетнего периода 2017–2023 гг. в ОИЯИ исследований в физике высоких энергий, ядерной физике, физике конденсированных сред и наноструктур, биофизике и информационных технологиях, решение которых неотделимо от использования вычислительной техники. Такими вопросами первостепенной важности в ОИЯИ являются проект NICA, нейтринная программа, нейтронные исследования, физика сверхтяжелых и экзотических ядер. Численные или символьно-численные вычисления будут выполняться на Многофункциональном информационно-вычислительном комплексе (МИВК), в первую очередь на гетерогенной вычислительной платформе HybriLIT (включающей в себя учебно-тестовый полигон и суперкомпьютер “Говорун”) и создаваемой распределенной инфраструктуре 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, научные поездки и приобретение минимального количества персональных компьютеров и 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.

Ожидаемые результаты по завершении этапов темы:

1. Разработка 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. Разработка параллельных алгоритмов и их реализации в программных пакетах, настроенных на использование современных аппаратных архитектур, в первую очередь – гетерогенной вычислительной платформы HybriLIT, для уточнения моделей, исследования возможностей их совместного использования и сравнения с экспериментальными данными.
2. Программные комплексы и математические методы для анализа экспериментальных данных: разработка новых математических 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.

3. Разработки для многоядерных и гибридных архитектур включают: развитие и поддержка информационно-вычислительной среды гетерогенной вычислительной платформы HybridIT, представляющей учебно-тестовый полигон и суперкомпьютер “Говорун”, 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 с учетом тенденций 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.

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 и BM@N на ускорительном комплексе NICA и группы экспериментов нейтринной программы ОИЯИ; разработка методов и программного обеспечения для эффективного применения аналитики Больших данных; создание системы для интеллектуального мониторинга распределенных вычислительных систем на основе платформы аналитики Больших данных с использованием потоковых данных и методов анализа временных рядов.

4. Развитие методов, алгоритмов и программного обеспечения 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 HybridIT.

Ожидаемые результаты по этапам темы в текущем году:

1. Трёхмерное компьютерное моделирование распределения магнитного поля в сверхпроводящих корректирующих магнитах для проектов NICA (ОИЯИ) и FAIR (GSI, Дармштадт).

Поддержка 3D мульти-физических вычислений с использованием пакета COMSOL Multiphysics для создания сверхпроводящего циклотрона для протонной терапии в Дубне. Анализ измеренных карт магнитного поля, расчеты динамики пучка и влияния дополнительных элементов на распределение магнитного поля.

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

Развитие КХД-инспирированных методов описания свойств ядерной материи при энергиях NICA на основе обобщенной модели Намбу–Иона–Лазинио–Полякова.

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

Развитие моделей для численного изучения дальнедействующих структурных изменений материалов при облучении тяжелыми ионами и нанокластерами.

Численное моделирование лазерной абляции с поверхности материалов под действием ультракоротких лазерных импульсов.

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

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

Моделирование нейтринно-индуцированных электромагнитных каскадных ливней в области сверхвысоких энергий.

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.

Сопровождение программы первичной обработки SAS для спектрометра ЮМО; развитие программы для работы с позиционно-чувствительным детектором для изотропно и для анизотропно рассеивающих образцов.

Поэтапное создание системы оповещения проекта БАЙКАЛ, ЛЯП.

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.

Разработка многоступенчатого, многомасштабного подхода к реализации байесовской автоматической адаптивной квадратуры.

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

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

Моделирование реакций фрагментации тяжелых ионов, основанное на транспортном подходе, и сравнение с экспериментальными данными.

2. Разработка в рамках пакета Geant4 модели для моделирования различных взаимодействий и применения в экспериментах PANDA, NICA/SPD и NICA/MPD.

Развитие программного обеспечения, обработка и анализ данных эксперимента НУКЛОН.

Разработка и реализация алгоритмов моделирования, обработки и анализа данных для трековой системы эксперимента BM@N, 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.

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 для анализа данных эксперимента при условиях их малой статистики и неполноты наблюдения изучаемых процессов.

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

Развитие и сопровождение настройки и управления ATLAS TDAQ и проекта EventIndex.

Разработка, тестирование и внедрение в официальное программное обеспечение эксперимента CMS алгоритмов разделения перекрывающихся сигналов и построения трек-сегментов в катодно-стриповых камерах.

Разработка методики отбора сигнальных событий в эксперименте CBM на основе триггера $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$. Адаптация критерия ω_n^k для отбора двухзарядных частиц с помощью детектора STS. Разработка методики отбора редких распадов, связанных с рождением гиперядер в эксперименте CBM.

Дальнейшее развитие геометрической базы данных для задач эксперимента CBM и проекта NICA.

Аппроксимация измерений интернет-трафика в магистральном канале суммой логнормальных распределений.

Анализ наноструктуры и свойств везикулярных систем фосфолипидов по данным малоуглового рассеяния в рамках модели разделенных формфакторов.

Массивные вычисления при расчетах электростатических потенциалов Zn-факторов транскрипции для определения природы их взаимодействия с операторной ДНК.

3. Развитие алгоритмов на основе ML/DL, включая алгоритмы 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.
Разработка алгоритмов на базе нейросетевого подхода для задач анализа и классификации медицинских и биологических данных и для прогнозирования состояния окружающей среды.
Распараллеливание времязатратных функций при помощи инструментов OpenMP, MPI, CUDA/OpenCL для моделирования и реконструкций событий в экспериментах NICA.
Разработка математических методов с использованием нейронных сетей глубокого обучения для выявления тонкой структуры в распределениях продуктов ядерных реакций по массе и энергии.
Развитие и реализация метода конечных элементов для эффективного решения сложных нелинейных проблем магнитостатики с использованием пакета COMSOL Multiphysics.
Развитие методов и параллельных программ и проведение на этой основе высокопроизводительного моделирования сложных процессов (сверхпроводящие процессы в джозефсоновских структурах, локализованные состояния в конденсированных средах и газогидродинамические процессы в пористых средах).
Численное исследование многомерных моделей, базирующихся на эволюционных уравнениях.
Параллельные алгоритмы для решения уравнений движения молекулярной динамики и уравнений сплошных сред.
Исследование возможности увеличения производительности анализа данных с помощью ROOT за счет использования графических процессоров, сравнение эффективности распараллеливания с помощью PROOF и OpenCL (для применения полученных результатов в работах по проекту NICA).
Параллельное решение задачи диагонализации больших случайных матриц.
Параллельные алгоритмы и программы для решения нестандартных задач магнитостатики.
Параллельная реализация алгоритмов для решения оптимизационных задач выбора наилучших параметров моделей сверхплотной ядерной материи при симуляциях соударений тяжелых ионов и в астрофизических применениях.
Разработка эффективных методов декодирования на основе алгоритма LDPC с использованием генетического подхода.
Разработка параллельных вычислительных схем метода конечных элементов для описания квадрупольных колебаний коллективной модели ядра.
Разработка вычислительных схем для треугольной кулоновской задачи трех центров и применение к иону молекулы H_3^+ и молекуле H_2O .
Пересборка библиотек программ JINRLIB и математических программ CERNLIB (MATHLIB) с использованием современных средств разработки программного обеспечения, в том числе свободно распространяемых (Intel Parallel Studio, GNU Compiler Collection).
Разработка концепции масштабируемой программно-аналитической платформы для сбора, хранения, анализа данных эксперимента MPD в рамках подхода Больших данных.
Разработка подходов к моделированию, реконструкции и обработке данных экспериментов на основе аналитики Больших данных на гибридных системах. Использование новых математических методов, таких как DQC (Dynamic Quantum Clustering) и др.
Применение технологий машинного обучения и искусственного интеллекта для оптимизации функционирования распределенного компьютеринга физических экспериментов. Использование новых математических методов, таких как Complex Networks и др.
Создание прототипа системы для интеллектуального мониторинга распределенных вычислительных систем на основе платформы аналитики Больших данных с использованием потоковых данных и методов анализа временных рядов.
4. Моделирование интеллектуальных сетей, выполняющих операции, основанные на квантовой теории принятия решений; численный анализ моделей искусственного интеллекта.

Построение мономиального инволютивного деления, обеспечивающего компактность инволютивной канонической формы.

Алгоритм приведения систем нелинейных алгебраических уравнений со многими неизвестными к компактной инволютивной форме.

Реализация на GPU компоненте гетерогенной платформы HybridIT алгоритма приведения полиномиальных алгебраических систем к канонической инволютивной форме.

Разработка алгоритмов и программ для исследования многокомпонентных квантовых систем с пространственной структурой.

Выбор и анализ модели искусственной нейронной сети, допускающей реализацию задачи распознавания треков на существующих адиабатических квантовых компьютерах.

Выбор основных элементов квантового алгоритма для решеточных вычислений в КХД при конечной плотности, направленных на изучение фазовых переходов.

Вычисленные квазивероятностных распределений двух-кубитной системы.

Вычисление условных вероятностей сепарабельности состояний для неотрицательных распределений Вигнера системы кубитов.

Формулировка уравнения Линдблада для открытых релятивистских систем на основе уравнений Боголюбова для вектора состояния в релятивистской квантовой теории поля.

Встраивание модуля системы FORM теоретико-полевых расчетов в физику высоких энергий в систему компьютерной алгебры Axiom.

Основные этапы темы:

Этап темы	Руководители
Лаборатория или другие подразделения ОИЯИ	Основные исполнители
1. Математические и численные методы для моделирования сложных физических систем	Адам Г. Буша Я. Пузынин И.В.
ЛИТ	Адам С., Айриян А.С., Айрян Э.А., Акишин П.Г., Амирханов И.В., Ахат Р., Барашенков И.В., Башакин 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., Какенов М., Калиновский Ю.Л., Карамышева Т.В., Кулябов Д.С., Кутовский Н.А., Лукьянов К.В., Махалдани Н.В., Михайлова Т.И., Никонов Э.Г., Оганесян К., Пузынина Т.П., Рихвицкий В.С., Саркар Н.Р., Сархадов И., Саха Б., Соловьев А.Г., Соловьева Т.М., Старченко Ю.Б., Сюрашкина Л.А., Тухлиев З.К., Червяков А.М., Шарипов З.А., Широкова Н.Ю., Юкалова Е.П., Ямалеев Р.М.
ЛФВЭ	Бойцов А.Ю., Геворгян С.Р., Донец Е.Е., Никитин В.А., Ходжибагиян Г.Г.
ЛТФ	Альварес-Кастильо Д.Э., Блашке Д., 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.В., 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., Башагин 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., Кисель П.И., Козлов Г.Е., Костенко Б.Ф., Круглова Л.Ю., Минеев М.А., Михайлова Т.И., Мусульманбеков Ж.Ж., Нечаевский А.В., Овчаренко Е.В., Ососков Г.А., Пальчик В.В., Пряхина Д.И., Рихвицкий В.С., Сатышев И., Сапожникова Т.Ф., Слепнев С.К., Соснин А.Н., Ужинский А.В., Ужинский В.В., Филозова И.А., Шигаев В.Н., Яковлев А.В.
ЛФВЭ	Батюня Б.В., Бычков А.В., Галоян А.С., Геворкян 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., Пацюк М.А.
ЛТФ	Тонеев В.Д.
ЛЯР	Артюх 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., Ткачѳв Л.Т.
3. Разработка численных методов, алгоритмов и программ для многоядерных и гибридных архитектур и аналитика Больших данных.	Адам Г. Чулуунбаатар О. Стрельцова О.И. Кореньков В.В. Зрелов П.В.
ЛИТ	Айриян А.С., Айрян Э.А., Акишин П.Г., Александров Е.И., Башагин 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., Пелеванок И.С., Подгайный Д.В., Полякова Р.В., Попкова Л.В., Пузынина Т.П., Сапожников А.А., Сапожникова Т.Ф., Саркар Н.Р., Сархатов 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., Юлдашев О.И., Юлдашева М.Б.

ЛИТ-МИВК	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.
ЛТФ	Виницкий С.И., Красовицкий П.М., Назмитдинов Р.Г., Попов Ю.В., Шукринов Ю.М.
ЛЯР	Апель П.Ю., Митрофанов С.В., Скуратов В.А.
ЛНФ	Новицкий В.В. + 3 чел.
ЛЯП	Бедняков В.А., Наумов Д.В., Ольшевский А.Г., Самойлов О.Б., Якушев Е.А.

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

Гердт В.П.

ЛИТ	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.П., Юкалов В.И.
ЛФВЭ	Рогачевский О.В.
ЛЯР	Гикал Б.Н.

Сотрудничество по теме:

Страна или международная организация	Город	Институт или лаборатория	Участники	Статус
Австралия	Сидней	Ун-т	Реза Хашеми-Нежад	Совместные работы
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.А. + 4 чел.	Совместные работы
		БГТУ	Грода Я.Г. + 3 чел.	Обмен визитами Совместные работы
Болгария	София	IMI BAS	Колковска Н.	Обмен визитами
		INRNE BAS	Богданова Н. + 1 чел.	Совместные работы
			Антонов А.А. Гайдаров М.К. Димитрова С. Кадрев Д.Н. Спасова К. Купенова Т.Н.	

		SU	Димова С. + 2 чел. Младенов Д. Порязов С. + 1 чел. Черногорова Т.П. Христов И.Г. Христова Р.Д.	Совместные работы	
Вьетнам	Пловдив	PU	Атанасова П.Х.	Совместные работы	
	Ханой	VNU	Во Чонг Тхак Нгуен Ван Хьеу + 2 чел.	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	Алма-Ата	ИЯФ	Красовицкий П.М.	Совместные работы	
Молдова	Кишинев	ИИФ	Базнат М.	Совместные работы	
Монголия	Улан-Батор	NUM	Жанлав Т.	Совместные работы	
		ИРТ MAS	Батгэрэл Б.	Совместные работы	
Польша	Варшава	WUT	Плута Я. Словински Б.	Совместные работы	
	Вроцлав	UW	Блашке Д. + 3 чел. Фишер Т.	Совместные работы	
	Краков	NINP PAS	Суликовский Я.М.	Совместные работы	
	Люблин	UMCS	Гоздз А.	Совместные работы	
	Отвоцк (Сверк)	NCBJ	Полянски А. Сандач А. Словински Б. Шута М.	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	Бронников К.А. Рыбаков Ю.П. Севастьянов Л.А. + 2 чел.	Совместные работы	
		Москва, Троицк	ИЯИ РАН	Ботвина А.	Совместные работы

	Гатчина	НИЦ КИ ПИЯФ	Кузнецова К. Ханзадеев А.В.	Совместные работы
	Дубна	Гос. ун-т “Дубна”	Аникина А.И. Еремкина И.В. Крюков Ю.А.	Совместные работы
	Чернь	ШНИУ	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	Кухтин В.П. Ламзин Е.А. Сычевский С.Е.	Совместные работы
	Саратов	СГУ	Дербов В.Л. Блинков Ю.А. + 1 чел.	Совместные работы
	Тверь	ТвГУ	Цветков В.П. + 3 чел. Цирулев А.Н.	Соглашение
	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”
	Мэгуреле	UB ELI-NP	Штефанеску Д. Берчеану А. Тешилеану О.	Совместные работы Совместные работы
	Клуж-Напока	IFA INCDTIM	Бузату Ф. Альберт С. Белеан Б. Бенде А. Бот А. Вароди К. Труска Р. Фаркас Ф. Флоаре К.	Совместные работы Гранты и проекты в рамках программы “Хулубей- Мещеряков”
	Мэгуреле	ISS	Севченко А. Стан Й.	Совместные работы
	Тимишоара	UVT	Визман Д. + 2 чел.	Гранты и проекты в рамках программы “Хулубей- Мещеряков”
Словакия	Банска Бистрица	UMB	Коломейцев Е.	Совместные работы
	Кошице	IEP SAS TUKE	Вала М. Копчанскы П. Покорны И. Бережны Ш..	Совместные работы Совместные работы
		UPJS	Торок Ч.	Совместные работы
	Прешов	PU	Семанишин Г. Поповичова М.	Совместные работы

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
	Гисен	JLU	Хёне К.	Совместные работы
	Дармштадт	GSI	Акишина В.П. Васильев Ю.О. Галатюк Т. Зенгер П. Зенгер А. Зызак М.И. Фишер Э. Фризе В. Шайденбергер К. Муха И. Киселев О. Мюллер Ф. Тупель С.	Совместные работы
	Дрезден	HZDR	Бастраков С. Видера Р.	Совместные работы
		IFW	Хозои Л.	Совместные работы
	Йена	Ун-т	Штернбек А.	Совместные работы
	Кассель	Uni Kassel	Зайлер В.М.	Совместные работы
	Карлсруэ	KIT	Цогосян 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	Бари	UniBa	Ла Скала Р.	Совместные работы
	Турин	INFN	Балестра Ф. Пираджино Г.	Совместные работы
	Катания	INFN LNS	Ди Торо М.	Совместные работы
ЮАР	Фраскати	INFN LNF	Датоли Дж.	Совместные работы
	Кейптаун	UCT	Алексеева Н.	Соглашение
	Претория	UP	Энгельбрехт А. + 1 чел.	Соглашение
	Стелленбос	SU	Коули А.	Соглашение
Бельгия	Брюссель	ULB	Карпов Е.А.	Совместные работы
	Лувен-ля-Нев	UCL	Пиро Б.	Совместные работы
	Льеж	ULg	Куньон Ж. 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	Хэфэй	IPP CAS	Сонг Ю.	Совместные работы
	Ханчжоу	ZJU	Шао-Кай Луо	Совместные работы
Португалия	Лиссабон	UL	Конотоп В. Зезюлин Д.	Совместные работы
США	Дейвис	UCDavis	Кокс Т.	Совместные работы
	Ла-Холья	UCSD	Вебер Ф. Кругалев В.	Совместные работы
	Лемонт	ANL	Гохар Ю.	Совместные работы
	Лос-Анджелес	UCLA	Игнатенко М.	Совместные работы
	Мэдисон	UW-Madison	Ланаро А.	Совместные работы
Таджикистан	Стэнфорд	SU	Михелс Д.	Совместные работы
	Душанбе	ТНУ	Абдулоев Х. + 3 чел.	Совместные работы
		ФТИ АН РТ	Муминов Х.Х.	Совместные работы
	Худжанд	ХГУ	Гафуров Х. + 2 чел. Музафаров Д.З. + 3 чел.	Совместные работы
Франция	Нанси	UL	Джулакян Б.Б.	Совместные работы
	Нант	SUBATECH	Тиолье Н.	Совместные работы
ЦЕРН	Женева	ЦЕРН	Аволио Дж. Астигаррага Е. Барберис Д. Галлас Э. Озтурк Н. Рибон А. + 5 чел. Христов П. Рое Ш. Формика А. 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