



между магнетизмом и структурными свойствами тяжелых редкоземельных металлов. Планируется совместное теоретическое и экспериментальное изучение эффектов высокого давления на структурные, электронные и магнитные свойства тяжелых редкоземельных металлов. Изменения их решеточных и магнитных структурных свойств под давлением будут измеряться методами дифракции нейтронов в ЛНФ ОИЯИ. Результаты измерений получат объяснение с использованием модельного анализа и вычислений электронной зонной структуры на основе современных методов теории функционала плотности в ЛТФ ОИЯИ.

Ярко выраженная корреляция между структурными и физическими свойствами на нано и микро масштабах обнаружена у материалов с фрактальной структурой. Планируется проведение теоретических исследований структуры сложных иерархических систем, включающих поверхностные фракталы и мультифракталы для объяснения физических характеристик наноматериалов с приложениями в современных нанотехнологиях. Экспериментальные исследования таких структур проводятся посредством малоуглового рассеяния нейтронов, что актуально при использовании базовой установки ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ, а также рентгеновских лучей и/или света.

Одной из важнейших задач физики конденсированных сред является изучение электронных свойств, коллективных возбуждений (волн зарядовой плотности, спиновых волн), фазовых переходов в сложных системах, таких как сильно-коррелированные электронные системы, низкоразмерные квантовые магнетики со сложной решеткой. Данные исследования будут проводиться на основе развитых в ЛТФ ОИЯИ непертурбативных методов для функций Грина. Полученные результаты будут использованы для объяснения экспериментальных данных в медно-оксидных соединениях и двумерных электронных системах со структурой типа графена.

Высокотемпературные сверхпроводники представляют собой одну из наиболее сложных систем сильно коррелированных электронов. Теоретический анализ таких систем представляет собой сложную задачу, поскольку стандартные методы (теория возмущений, теория среднего поля) в данном случае не работают. Планируется применение разработанных в ЛТФ подходов на базе квантового метода Монте-Карло для исследования свойств сверхпроводящей фазы в купратах. Это позволит описать структуру Ферми поверхности в допированных купратах с целью определения возможных механизмов высокотемпературной сверхпроводимости.

Планируется разработка теоретического описания равновесных и неравновесных свойств конечных квантовых систем, включая атомы и молекулы в ловушках, дипольные и спиновые наносистемы, а также сложные квантовые сети. Целью таких исследований является изучение возможности регулирования свойств таких конечных квантовых систем для обработки квантовой информации. Базовые теоретические методы разработаны в ЛТФ ОИЯИ: метод разделения масштабов, самосогласованная теория сильно коррелированных систем со спонтанным нарушением симметрии, теория автомодельных приближений. Кроме того, будут проведены численные расчеты рассмотренных систем.

Одним из наиболее приоритетных направлений современной физики конденсированного состояния является исследование наноструктур и наноматериалов. Это объясняется не только фундаментальностью их физических свойств, но и практической важностью для создания новых устройств электроники, устройств хранения, обработки и передачи информации, сенсоров и биосенсоров, и других.

Особую роль играют двумерные материалы: графен, фосфорен, силицен и другие. Планируется провести теоретическое исследование влияния локализованных краевых состояний в

различных двумерных материалах на электронный транспорт. В частности, будут учтены такие эффекты как электрон-фононное взаимодействие, роль подложки и внешние электромагнитное излучение. Также планируется теоретическое исследование теплового и электронного транспорта в поликристаллических двумерных структурах с целью выявления и улучшения качества современных термоэлектрических материалов. Кроме того, будет исследован вопрос о влиянии структурных дефектов на кинетические свойства новых материалов.

Двумерные материалы активно применяются в качестве элементов для разработки высокочувствительных сенсоров для детектирования различных объектов: от токсичных металлов и газов до сложных биомолекул и даже бактерий. Особое внимание уделяется сенсорам на основе графена из-за его уникальных физических свойств: прикрепление биологических молекул (белки, ДНК, РНК) на графен увеличивает селективность и чувствительность сенсора, что открывает широкие возможности для использования подобных устройств в качестве экспресс-анализаторов в медицинских исследованиях. Планируется изучить транспортные свойства систем, образованных низкоразмерными структурами с прикрепленными на них детекторными биомолекулами, с целью анализа сенсорных характеристик этих устройств. Будут исследованы квантовые электродинамические и корреляционные эффекты в атомных системах, наноструктурированных и биологических материалах для описания процессов передачи и обработки квантовой информации.

Важную роль играет функционализация новых наноматериалов. Планируется детальный теоретический анализ физических свойств фторированного и окисленного графена. Экспериментальные исследования проводятся в сотрудничестве института физики полупроводников СО РАН (синтез, характеристика) и ЛЯР ОИЯИ (ионное облучение для создания нанопор).

Планируется исследование резонансных, хаотических и топологических свойств джозефсоновских наноструктур и сверхпроводящих устройств, а также изучение динамики и вольт-амперных характеристик структур сверхпроводник-ферромагнетик-сверхпроводник для целей сверхпроводящей спинтроники.

Решение многих заявленных задач опирается на компьютерное моделирование в рамках пакетов для квантово-химических расчетов, молекулярной динамики и функционала плотности. Здесь планируется тесное сотрудничество с ЛИТ ОИЯИ, прежде всего, посредством использования суперкомпьютера «Говорун».

В последние годы, достигнут значительный прогресс в понимании природы предельных форм, универсальных флуктуаций и корреляций в моделях равновесной и неравновесной статистической физики. Среди равновесных моделей исследуются димерные упаковки и полимеры на решетках, полимеры в случайных средах, вершинные и спиновые модели, где предметом изучения является, например, предельная макроскопическая форма границ между различными термодинамическими фазами, а также ее случайные флуктуации и корреляции между ними. В неравновесном контексте подобные вопросы изучаются на примере стохастических моделей неравновесных решеточных газов или транспортных потоков, а также различных границ разделов, движущихся под действием случайных сил, где макроскопическое описание дается в терминах решений уравнений гидродинамического типа, а случайные флуктуации проявляют универсальные свойства.

Предполагается исследование статистики потоков частиц на решетках в таких стохастических моделях, как модели с обобщенным взаимодействием типа исключенного объема, модели с взаимодействием нулевого радиуса, а также модели с лавинной динамикой, эволюция которых также тесно связана с эволюцией границ разделов, движущихся под действием случайных сил. Будут описаны универсальные флуктуации и корреляции потока частиц в этих моделях, описано образование макроскопических пробок, построены фазовые

диаграммы моделей на конечном сегменте. Будет описана статистика лавин в модели роста поверхности “Raise and Peel”. В модели ветвящихся полимеров или остовных деревьев на решетке будут исследоваться вероятности образования нелокальных конфигураций полимеров, предельные формы и их флуктуации в скейлинговом пределе. Будет изучена статистика границы растущего кластера в предложенной в ЛТФ модели Эйлеровых блужданий.

Помимо исследования моделей равновесной и неравновесной статистической физики большое внимание планируется уделить разработке математических методов, связанных с теорией интегрируемых систем, теорией фазовых переходов, конформными теориями поля. Будет разрабатываться теория предложенных ранее в ЛТФ эллиптических гипергеометрических функций и интегралов, которая дает наиболее современный математический аппарат для изучения как решеточных, так и полевых моделей статистической физики, и изучаться свойства эллиптического аналога преобразования Фурье, необходимого при анализе таких моделей. Будут изучены структурные свойства квантовых матричных алгебр, развита  $q$ -разностная дифференциальная геометрия квантовых матричных групп, исследованы конкретные реализации и теории представлений этих алгебраических объектов, являющихся важными строительными блоками новых интегрируемых моделей статистической и квантовой физики.

### Этапы работы: 2023

#### Ожидаемый результат по завершении темы

Будут развиты имеющиеся и созданы новые теоретические методы и подходы для описания и предсказания свойств новых материалов, рассчитаны их характеристики и выяснены механизмы, определяющие поведение таких материалов при их функционализации, структурных изменениях, воздействии внешних факторов; будут выявлены универсальные закономерности поведения равновесных и неравновесных систем статистической механики; будет проведено компьютерное моделирование широкого класса двумерных материалов и изучена возможность создания различных устройств на их основе; будут развиты методы исследования сильно коррелированных систем; выяснена корреляция между структурными характеристиками широкого класса материалов и их физическими свойствами.

#### Участники от ОИЯИ

Лаборатория	№№ п/п	Ф.И.О.	№№ п/п	Ф.И.О.
ЛТФ	1	Анитас Е.М.	18	Дербышев А.Е.
	2	Бранков Й.Г.	19	Пятов П.Н.
	3	Плакида Н.М.	20	Кочетов Е.А.
	4	Куземский А.Л.	21	Чижов А.В.
	5	Юкалов В.И.	22	Шукринов Ю.М.
	6	Юшанхай В.Ю.	23	Катков В.Л.
	7	Черный А.Ю.	24	Красавин С.Е.
	8	Слямов А.М.	25	Майти Мойтри
	9	Нгуен Дань Тунг	26	Плечко В.Н.
	10	Владимиров А.А.	27	Смотлаха Я.
	11	Спиридонов В.П.	28	Рахмонов И.Р.
	12	Иноземцев В.И.	29	Колесников Д.В.
	13	Дубовик В.М.	30	Садыкова О.Г.

	14	Жидков П.Е.	31	Куликов К.В.
	15	Иванова Т.А.	32	Медведева С.Ю.
	16	Папоян В.В.	33	Глебов А.А.
	17	Бънзарова Н.Ж.	34	Иванцов И.Д.
<b>ЛНФ</b>	1	Аксенов В.Л.	3	Козленко Д.П.
	2	Балагуров А.М.	4	Куклин А.И.
<b>ЛИТ</b>	1	Земляная Е.В.	4	Сюракшина Л.А.
	2	Сархадов И.	5	Юкалова Е.П.
	3	Сердюкова С.И.		
<b>ЛЯР</b>	1	Олейничак А.		

### Участвующие страны, институты и организации

Страна или организация	Город	Институт или лаборатория	Участники	Статус
Азербайджан	Баку	МГУ (филиал)	Нахмедов Э. +2 чел.	Обмен визитами
Армения	Ереван	ЕГУ	Мардоян Л.Г. Морозов В.Ф.	Совместные работы
		ИПИА НАН РА	Погосян В.С.	Совместные работы
		ННЛА	Исмаилян Н.Ш.	Совместные работы
Беларусь	Минск	БГТУ	Грода Я.Г. + 3 чел.	Обмен визитами
		ИФ НАНБ	Килин С.Я. + 4 чел.	Обмен визитами
		НПЦ НАНБ	Сайко А.П. + 3 чел.	Обмен визитами
		МГЭИ БГУ	Бояркин О.М. + 4 чел.	Обмен визитами
		ОИЭЯИ-Сосны НАНБ	Кувшинов В.И. + 2 чел.	Обмен визитами
Болгария	София	IMech BAS	Бънзарова Н.	Совместные работы
		INRNE BAS	Бананаева Б.	Совместные работы
		ISSP BAS	Тончев Н. Шамати Х. + 3 чел.	Совместные работы
		SU	Марваков Д. Мишонов Т.	Совместные работы
Вьетнам	Ханой	IMS VAST	Нгуен Ван Хьеу + 5 чел.	Обмен визитами
Монголия	Улан-Батор	NUM	Лхагва О. + 2 чел.	Совместные работы
		ИРТ	Сангаа Д.	Обмен визитами
Польша	Варшава	IPC PAS	Холас А. Ольшевский Я.	Обмен визитами

	Вроцлав	TU	Миржеевски М.	Совместные работы
	Катовице	US	Маська М.	Совместные работы
	Краков	JU	Капусцик Э. + 2 чел. Олесь Л.	Обмен визитами
	Познань	AMU	Навроцик В. + 1 чел. Танась Р. + 3 чел.	Совместные работы
		IMP PAS	Морковский Я.	Обмен визитами
Россия	Москва	ИТЭФ	Хорошкин С.М.	Обмен визитами
		МИАН	Боголюбов Н.Н. (мл.)	Обмен визитами
		МИРЭА	Морозов В.Г.	Совместные работы
		НИИЯФ МГУ	Толстой В.Н.	Обмен визитами
		НИЯУ "МИФИ"	Евсеев И.В. + 3 чел.	Обмен визитами
		НИУ ВШЭ	Гриценко В.А.	Обмен визитами
		НИЦ КИ	Каган Ю.М. + 3 чел.	Обмен визитами
		РУДН	Рыбаков Ю.П. + 2 чел.	Совместные работы
	Москва, Троицк	ИФВД РАН	Тареева Е.Е. + 2 чел.	Обмен визитами
	Белгород	БелГУ	Чеканов Н.А.	Совместные работы
	Воронеж	ВГУ	Засорин Ю.В.	Совместные работы
	Гатчина	НИЦ КИ ПИЯФ	Гинзбург С.Л. Малеев С.В. + 3 чел.	Обмен визитами
	Казань	КФУ	Игнатъев Ю.Г.	Совместные работы
	Протвино	ИФВЭ	Сапонов П.А. Разумов А.В.	Обмен визитами
	Самара	СУ	Салеев В.А. Шипилова А.В.	Совместные работы
	Саратов	СГУ	Глухова О.Е. +3 чел Колесникова А.С.	Совместные работы
	Пермь	ПГУ	Хеннер В.К.	Совместные работы
	С.- Петербург	ПОМИ РАН	Деркачев С.Э.	Совместные работы
		СПбГПУ	Антонов А.И.	Совместные работы
		СПбГЭТУ	Соколов А.И. Антонов А.И.	Совместные работы
		ФТИ РАН	Шалаев Б.Н. + 1 чел.	Обмен визитами
Румыния	Бухарест	IFIN-NN	Барсан В. Ангел Д. Мишику С. Арангел Д.	Протокол
	Клуж- Напока	UTC-N	Сакаж Э. Тодоран Р.	Протокол

	Тимишоара	WUT	Бика И. Папп Э. + 1 чел.	Протокол
Словакия	Братислава	CU	Плеценик А.	Обмен визитами
	Кошице	PJ Safarik University	Илкович В.	Обмен визитами
		PJ Safarik University	Калагов Г.	Совместные работы
		IE PSAS	Пудлак М. Пинчак Р.	Обмен визитами
Узбекистан	Ташкент	ФТИ НПО "Ф.-С." АН РУз	Абдуллаев Ф.Х. + 2 чел. Гулямов К.Г.	Обмен визитами
Украина	Киев	ИМФ НАНУ	Барьяхтар В.Г. + 3 чел.	Обмен визитами
		КНУ	Каденко И.Н.	Совместные работы
	Львов	ИФКС НАНУ	Стасюк И.В. + 3 чел.	Обмен визитами
	Харьков	ННЦ ХФТИ	Пелетминский С.В. + 3 чел. Слезов В.В. + 2 чел.	Обмен визитами
Чехия	Ржеж	NPI ASCR	Экснер П. Дитрих Я.	Обмен визитами
Венгрия	Будапешт	Wigner RCP	Зимани Й. + 2 чел.	Обмен визитами
Германия	Брауншвейг	TU	Шерм Р.	Совместные работы
	Бонн	UniBonn	Риттенберг В.	Совместные работы
	Бремен	Ун-т	Чихолл Г.	Совместные работы
	Вупперталь	UW	Боос Г. Геман Ф. Клюмпер А.	Совместные работы
	Дармштадт	GSI	Неренберг В. + 1 чел.	Совместные работы
	Дортмунд	TU Dortmund	Герлах Б. + 1 чел.	Совместные работы
	Дрезден	IFW	Дрекслер Ш. + 3 чел. Хозой Л.	Соглашение
		MPI PKs	Фюльде П. Р. Месснер	Обмен визитами
		TU Dresden	Салинг С.	Соглашение
	Лейпциг	UoC	Бен У. Иле Д.	Совместные работы
	Магдебург	OVGU	Рихтер И.	Совместные работы
	Росток	Ун-т	Репке Г. + 2 чел.	Совместные работы
Италия	Катания	UniCT	Пучи Р. + 2 чел.	Совместные работы
	Салерно	UNISA	Манчини Ф. + 3 чел.	Совместные работы
Австралия	Мельбурн	Ун-т	Де Гир Я.	Совместные работы
	Сидней	Ун-т	Молев А.	Совместные работы
Австрия	Вена	TU Wien	Брюннер Ф.	Совместные

				работы
	Линц	JKU	Ернст А.	Совместные работы
Бельгия	Лувен-ля-Нев	UCL	Рюэль Ф. + 2 чел.	Совместные работы
Бразилия	Бразилиа	UnB	Оливейра Ф.А.	Обмен визитами
	Натал	IIP UFRN	Ферраз А.	Совместные работы
	Сан-Паулу	USP	Банято В.С. Алькарац Ф.С.	Обмен визитами
Индия	Мумбаи	TIFR	Дхар Д.	Совместные работы
Ирландия	Дублин	DIAS	Дорлас Т. + 2 чел.	Обмен визитами
Испания	Мадрид	ICMM-CSIC	Смирнов-Руэда Р. + 1 чел.	Совместные работы
Канада	Квебек	UL	Крегер Х. + 3 чел.	Совместные работы
	Кингстон	Queen's	Коулман А.	Совместные работы
	Лондон	Western	Коттэм М. Синг М.	Совместные работы
	Монреаль	Concordia	Холл Р.Л.	Совместные работы
Сербия	Белград	INS "VINCA"	Галович С. Чевизович Д.	Обмен визитами
Словения	Любляна	UL	Преловчек П. + 3 чел. Кабанов В.	Совместные работы
США	Луисвилл	UofL	Хеннер В.К.	Обмен визитами
	Нью-Йорк	CUNY	Манассах Д.Т.	Обмен визитами
	Рочестер	UR	Бигелу Н.	Обмен визитами
	Таллахасси	FSU	Дзеро М.О.	Совместные работы
Тайвань	Тайбэй	IP AS	Чин-Кун Ху	Обмен визитами
Франция	Париж	UPMC	Зинн-Жюстен П.	Обмен визитами
	Аннеси-ле-Вье	LAPTh	Чичерин Д.	Совместные работы
	Валансьен	UVHC	Гуревич Д.	Обмен визитами
	Марсель	CPT	Огиевецкий О.	Совместные работы
		UPC	Загребнов В.А. Хайн Р.	Соглашение
	Ницца	UN	Сорнетте Д.	Обмен визитами
Швейцария	Виллиген	PSI	Розенфельдер Р.	Обмен визитами
	Цюрих	ETH	Сорнетт Д.	Совместные работы



Сроки выполнения работы : 2019-2023 г.г.

Полная сметная стоимость темы (в тыс. долл. США)

NN пп	Виды расходов	Полная сметная стоимость	В том числе сметная стоимость в 2019 г.	2020	2021	2022	2023
1	Заработная плата	4867,5	829,3	912,2	985,2	1044,3	1096,5
2	Единый социальный налог	1470,0	250,4	275,5	297,5	315,4	331,2
3	Соцбытфонд	95,5	16,3	17,9	19,3	20,5	21,5
4	Международное сотрудничество	250,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
5	Материалы	250,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
6	Оборудование	400,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
	<b>ИТОГО:</b>	<b>7333,1</b>	<b>1276,0</b>	<b>1385,6</b>	<b>1482,1</b>	<b>1560,2</b>	<b>1629,2</b>
8	Инфраструктура ЛТФ	2006,9	363,2	381,4	400,4	420,4	441,5
	<b>ИТОГО РАСХОДОВ:</b>	<b>9340,0</b>	<b>1639,2</b>	<b>1767,0</b>	<b>1882,5</b>	<b>1980,6</b>	<b>2070,7</b>
9	Инфраструктура ОИЯИ	3361,6	608,4	638,8	670,7	704,3	739,5
	<b>ВСЕГО:</b>	<b>12701,6</b>	<b>2247,6</b>	<b>2405,8</b>	<b>2553,2</b>	<b>2684,9</b>	<b>2810,1</b>

СОГЛАСОВАНО:

Главный ученый секретарь ОИЯИ

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Директор лаборатории

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Начальник Планово-финансового отдела

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь лаборатории

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Начальник Научно-организационного отдела

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Экономист лаборатории

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.

Руководители темы

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 г.