

ОТЧЕТ
о научной и научно-организационной деятельности
Института физики им.Л.В.Киренского СО РАН
в 1993 г.

В 1993 году Институт продолжал работы по Государственным научно-техническим программам "Высокотемпературная проводимость" и "Перспективные информационные технологии". Велись работы по программам фундаментальных исследований Сибирского отделения РАН.

Важнейшие результаты, полученные в рамках этих работ кратко изложены ниже.

ПРОГРАММА "ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ"

Развит метод теоретического описания электронной структуры веществ с сильными электронными корреляциями. Метод основан на точной диагонализации многоэлектронного гамильтониана внутри электронной ячейки с приближенным описанием межъядерных перескоков и взаимодействий. Описание одночастичных фермиевских возбуждений в предложенном многоэлектронном варианте зонной теории принципиально отличается от результатов традиционной одноэлектронной зонной теории: число состояний в зоне квазичастиц может быть дробным и зависит от концентрации электронов. Рассчитана зонная структура недопированных La_2CuO_4 и Nd_2CuO_4 с правильной величиной диэлектрической щели и магнитного момента меди. Предсказан новый механизм появления глубоких примесных уровней в диэлектриках с сильными электронными корреляциями. Показано появление новых состояний внутри щели при дырочном допировании CuO_2 слоев.

Получены две новые системы сверхпроводящих кубических оксифторидов, в том числе содержащие редкие земли. Обнаружена зависимость T_c от типа редкоземельного элемента.

Проведено прецизионное измерение температурной зависимости критического тока для двух систем Y-123 керамик: синтезированной обычным образом и дополнительно отожженной в течение недели. Для первых $j_c(T)$ близка к зависимости Кулика-Омельянука в чистом пределе. Для вторых $j_c(0)$ уменьшилась более чем на порядок и зависимость $j_c(T)$ практически совпадает с кривой Де Жена.

Выращены монокристаллы Bi_2CuO_4 . Методом неупругого рассеяния нейтронов измерен их спектр спиновых волн. Установлено, что спектр содержит две щелевые ветви. Дана теория спектра спиновых волн и термодинамики кристалла в рамках спинового гамильтониана с учетом четырехспинового обмена.

Обнаружен магнитоэлектрический фотоотклик в 123-керамиках, максимальный в окрестности T_c . Температурная и магнитополевая зависимость эффекта указывают на нетермическое происхождение явления.

Методом точной диагонализации обобщенной модели Хаббарда для кластера CuO_4 найдена плотность одночастичных состояний. установлено появление состояний типа глубоких примесных уровней в диэлектрической щели при допировании дырками, определены парциальные вклады различных орбиталей меди и кислорода.

Развит метод вычисления плотности состояний в регулярной решетке CuO_2 слоя с явным учетом сильных электронных корреляций.

Точно показано, что для модели Хаббарда с бесконечным отталкиванием основное состояние системы с двумя уровнями является синглетным и описывается набором диаграмм Румера.

ПРОГРАММА "ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Изучены возможности уменьшения цикла запись-стирание за счет использования явления прямой перезаписи в многослойном магнитном пленочном носителе информации. Проведены расчеты многослойного магнитопленочного носителя, не требующего для осуществления цикла записи-стирания применения подмагничивающего поля, и использующего в качестве активного слоя пленку, обладающую свойством термоупругой магнитной записи.

Отработана технология получения макетов магнитооптических дисков на основе мультислойных пленок Mn/Dy/Bi. Проведены исследования их физических свойств, определены структурные, магнитные, электрические и магнитооптические параметры, проведены эксперименты по термомангнитной записи битовой информации. Исследовано влияние отжига на структуру пленок. Предложена интерпретация наблюдавшихся эффектов в рамках подхода металлических кластеров. Показано, что использование мультислойной технологии в значительной степени уменьшает кристаллический шум, увеличивает временную стабильность основного состояния (структурного и магнитного), повышает полярный магнитооптический эффект Керра до $4-5^\circ$ без использования антиотражающих покрытий. Коэффициент отражения при этом составляет 50-60%.

ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

Программа "Разработка физических основ создания твердотельных устройств электроники"

Теоретические исследования

Исследованы поляризационные эффекты упругих волн в анизотропных случайных средах. Рассмотрены две модели сред: с флуктуирующей анизотропией упругих модулей и с флуктуациями плотности в однородной анизотропной среде. Получен эффект частотной зависимости направления поляризации в обеих моделях, исследованы его угловые зависимости.

Исследовано формирование составного эха при воздействии на хановскую систему периодической последовательности пар некогерентных импульсов. Показано, что в такой ситуации фазовый эффект проявляется в биениях амплитуды эха. Сделан анализ влияния неоднородности коэффициента усиления ЯМР в магнитоупорядоченных средах.

Исследованы гейзенберговские антиферромагнетики, фрустрации в которых индуцируются допированными ионами. Показано, что спин-волновой спектр неелевской фазы неустойчив относительно образования новой геликоидальной структуры с периодами модуляций вдоль двух направлений, а нулевые колебания не разрушают геликоидальную структуру в двумерных антиферромагнетиках.

Исследована структура концентрически кольцевых доменов в цилиндрическом образце и ее поведение под действием магнитного поля. Показана возможность существования метастабильных состояний, обусловленных магнитостатическими барьерами между состояниями с различным числом доменных стенок. Показана возможность появления метастабильных состояний доменной структуры в магнитном поле в образцах, для которых в нулевом поле возможно лишь однодоменное состояние.

Рассчитана температурная зависимость намагниченности случайно-неоднородного ферромагнетика. Показано существование температуры, зависящей от корреляционного

радиуса неоднородностей обмена, в окрестности которой должен наблюдаться характерный изгиб на температурной зависимости намагниченности.

ТФ

Изучено влияние многоспинового обменного взаимодействия на спектральные и термодинамические свойства анизотропных антиферромагнетиков. Вычисления проведены для тетрагонального антиферромагнетика Bi_2CuO_4 , где четырехспиновое взаимодействие играет принципиальную роль.

Найдено точное решение для модели Хаббарда при бесконечной величине кулоновского отталкивания для двух дырок, свидетельствующее о синглетном основном состоянии системы. Сделан прогноз, что основное состояние системы в этой модели является синглетным при любом четном числе электронов.

Изучен механизм образования спектров гигантского резонанса в ВТСП керамиках, содержащих f-элементы. Показано, что эти спектры несут важную информацию о зарядовом потенциале в области химической связи. Исследованы ультрамягкие рентгеновские спектры поглощения меди в оксидных системах. Показано, что положение куперовских минимумов зависит от природы химической связи.

ТТТ

Построена квазиклассическая теория, учитывающая квантовые корреляционные эффекты для ансамбля атомов в резонаторе, взаимодействующих с самосогласованным полем излучения. Показано, что даже в области глубокой квазиклассичности квантовые эффекты сильно перестраивают классическую хаотическую динамику системы.

Исследованы вихревые структуры в дискретной двумерной X-Y модели. Показана зависимость величины барьера пиннингования от типа кристаллической решетки. Показана возможность генерации квазикристаллических структур во внешних полях.

Получена фазовая диаграмма 1D решеточной квантовой теории поля с помощью различных подходов (теория возмущений, метод самосогласованных фононов, двухуровневое приближение), которая сравнивается с результатами расчетов Монте-Карло. В области умеренных констант связи все эти подходы дают неудовлетворительное согласие с численными результатами. Впервые учтен вклад туннелирующих солитонов, которые понижают энергию основного состояния поля и улучшают согласие с численным экспериментом.

Рассмотрено взаимодействие лазерного излучения с многоуровневыми квантовыми системами в условиях квантового хаоса и при учете процессов необратимой релаксации. Найдены стационарные функции распределения заселенностей квантовых уровней. Рассмотрены возможности приложения развитой теории к двухатомным молекулам, взаимодействующим с мощным лазерным излучением.

Исследован случай двух перекрытых квантовых нелинейных резонансов в тонком мезоскопическом кольце, находящемся под влиянием внешнего резонансного поля и поля Ааронова-Бома. Изучено влияние эффекта перекрытия резонансов на осцилляции Ааронова-Бома для средней энергии, поглощаемой кольцом.

Рассмотрено смешанное состояние полубесконечного сверхпроводника второго рода под воздействием неоднородного магнитостатического поля, создаваемого доменной структурой магнитной подложки. В приближении Лондона найдено состояние одной вихревой линии с учетом взаимодействия с границей сверхпроводника, которое характеризуется кривизной и длиной вихревой линии, зависящих от масштаба неоднородности и амплитуды внешнего поля. Найдена также зависимость нижнего критического поля от периода поля.

Исследованы уравнения равновесия взаимодействующих молекулярных цепочек с хиральными молекулами и несоизмеримыми периодами закруток. Показано, что эффекты дискретности в молекулярных цепочках с конкурирующими взаимодействиями проявляются в возникновении структурной стохастичности вблизи переходов соразмерность-несоразмерность. Процесс самоорганизации носит дискретный характер.

ТНП

Физика твердого тела

Методом неупругого рассеяния нейтронов изучен спектр спиновых волн в монокристалле Vi_2CuO_4 в области температур 1.5 - 45.8 К. Установлено, что спектр спиновых волн, распространяющихся вдоль кристаллографических направлений [100] и [001], состоит из двух щелевых ветвей. Создана линеаризованная теория спектра спиновых волн Vi_2CuO_4 , в которой учтено анизотропное четырехспиновое обменное взаимодействие. На основе подгонки теоретических дисперсионных соотношений к экспериментальным кривым для спектра спиновых волн определены обменные параметры кристалла.

РСМУВ

Продолжены исследования кристаллов семейства $\beta\text{-K}_2\text{SO}_4$ с несоразмерно модулированными фазами. Проведено полное определение структуры модулированных фаз кристалла Rb_2ZnBr_4 .

РСД

В рамках электростатической модели вычислены эффективные константы взаимодействия между упорядочивающимися тетраэдрами для нескольких кристаллов этого семейства. Исследована термодинамика фазовых переходов в кристаллах CsLiSO_4 и CsLiCrO_4 методом Монте-Карло. Получено хорошее согласие вычисленных термодинамических характеристик с экспериментальными данными.

Выполнены оптические исследования кристаллов состава $\text{Rb}_x\text{Cs}_{1-x}\text{LiSO}_4$ и обнаружены новые области на фазовой диаграмме (Т, х): область неоднородных погасаний в срезе (001), область двойниково-мозаичной структуры - возможно, с триклинной симметрией, моноклинная фаза с особым направлением по [100].

Проведено исследование влияния гидростатического давления на стабильность фаз и последовательность фазовых переходов в кристаллах со структурой эльпасолита $\text{Cs}_2\text{NaLaCl}_6$ и Rb_2KMF_6 (M = Fe, Sc, In, Lu, Er, Ho, Dy, Tb). Обнаруженный различный характер восприимчивости температур переходов к внешнему воздействию в хлоридах и фторидах объяснен различием вкладов в свободную энергию кристалла от взаимодействия параметра перехода с деформацией. Установлена зависимость dT_0/dp от размера ионного радиуса атома М.

Разработана технология изготовления тонких (менее 2 мкм) пластин Z-среза кристаллов тетрабората лития. Изготовлены линии задержки с центральной частотой 650 МГц и шириной полосы 299 МГц при полной потере энергии порядка 10 дБ.

Выращены монокристаллы кристаллы β -фазы BaV_2O_4 . При интенсивности накачки 50 МВт/см² получена эффективность преобразования частоты лазерного излучения ($\lambda = 1.064$ мкм) во вторую гармонику 21% по мощности.

КФ

Определены условия получения высококачественных изометричных кристаллов на основе орторомбического $\text{Fe}_{2-x}\text{Gd}_x\text{O}_3$ размером до 1.5 см. Исследованы температурные и полевые зависимости характеристик магнитоупругих мод в образцах различного состава (х),

которые не проявили каких-либо особенностей, связанных с возможным присутствием в кристаллах примесей разновалентных ионов ванадия.

ММ

Установлено, что в группе смешанных кристаллов на основе гидроселената аммония аномальное уширение линий ЯМР селена в одной из позиций связано с образованием вмороженных дефектов в системе водородных связей.

Проведены предварительные исследования ЯКР в кристаллах семейства $M_3Sb_2X_9$, где $M = CH_3NH_3$, Cs $X = Cl, Br$.

РСД

Методом ЯМР ^{19}F изучены процессы заторможенной реориентации октаэдрических анионов TiF_6^{2-} в кристаллах различных семейств. В частности, в отличие от M_2TiF_6 ($M = K, Na, Rb, Cs$) и $MeTiF_6$ ($Me = Sr, Ba$), где реориентация октаэдрических ионов с корреляционными частотами порядка 10^5 Гц фиксируется при температурах значительно выше комнатной, выявлены семейства гексафтортитанатов с предельно низкими потенциальными барьерами, ограничивающими вращение гексафтор-ионов. В кристаллах $MgTiF_6 \cdot 6H_2O$ установлено, что анионы TiF_6 реориентируются вокруг оси третьего порядка до наступления фазового перехода, что отличает их от изученных также соединений $MeTiF_6 \cdot 6H_2O$ ($Me = Zn, Cd$). Особенно низкие температуры реориентации октаэдрических ионов обнаружены в кристаллах с органическими катионами. В частности, в соединениях с цитидином и пиперидинием медленная реориентация октаэдров наблюдается уже при температуре жидкого азота. Эти соединения интересны с точки зрения возможной реализации диффузионной подвижности массивных носителей заряда.

РСА

Теоретически и экспериментально исследовано распространение электромагнитных волн в системе связанных кольцевых микрополосковых резонаторов, кондуктивно подключенных к линиям передачи. Наблюдается хорошее согласие квазистатического расчета частотных зависимостей коэффициентов прохождения СВЧ мощности с экспериментом для двух, трех и четырех кольцевых взаимодействующих резонаторов. Показано, что в таких системах легко реализуется полоса затухания в непосредственной близости к полосе пропускания. Исследованные зависимости могут быть использованы при проектировании частотно-селективных устройств метрового и дециметрового диапазона длин волн. Проведены также экспериментально-теоретические исследования микрополосковых СВЧ фильтров и диплексоров на регулярных и нерегулярных резонаторах. Показана возможность управления крутизной склонов амплитудно-частотных характеристик посредством изменения длины области связи резонаторов. Разработан ряд оптимизированных конструкций частотно-селективных СВЧ устройств, в том числе обладающих симметричной характеристикой относительно центра полосы пропускания.

ЭДСВЧЭ

Изучены процессы адсорбции и десорбции паров воды и сероуглерода пеносорбентами, получаемыми в результате переработки шлаков и зол ГРЭС и ТЭЦ. Показано, что величины сорбции зависят от химического состава и степени пористости образцов. Измерены количественные параметры сорбентов. Определена степень пористости структуры пеноматериала, доказан замкнутый характер микропор.

Продолжено исследование динамических процессов в биополимерах: полиоксибутирате и его сополимере с поливалериатом. В спектрах ЯМР 1H в твердой фазе установлено существование интенсивной узкой компоненты, вымораживающейся ниже 130 К. С учетом рентгеновских данных выдвинуто предположение о высокой степени

дефектности структуры полимера, при которой несколько (менее 10) процентов протонов сохраняют подвижность до весьма низких температур.

РСА

Физика магнитных явлений

Обнаружен резонанс эффекта Фарадея вблизи 700 нм в мультислойных пленках Fe/Cu, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Исследованы параметры резонанса в зависимости от геометрических параметров мультислоев и многократного отжига образцов.

ФМЯ, ФМП, ВП

Исследованы вольт-амперные характеристики контактов $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Обнаружено усиление нелинейности в окрестности точек магнитного и сверхпроводящего переходов.

Исследованы концентрационные зависимости эффекта Фарадея и оптического поглощения в перспективных для приложений силико-фосфатно-германатных стеклах, активированных празеодимом. Впервые для резкоземельных стекол получены принципиально различные концентрационные зависимости эффекта Фарадея и поглощения, которые объяснены тем, что эффект Фарадея обусловлен оптическими переходами в ионе редкоземельного металла, а поглощение в основном связано с переносом заряда между ними. Определены технологические условия получения оптимальной магнитооптической добротности.

ФМЯ

Методом вакуумного напыления получены пленки железа в аморфном состоянии (без стеклообразователя). Образцы обладают высокой стабильностью: структурные изменения наблюдаются при отжиге свыше 200°C. Исходная намагниченность $1.2\mu_B$ на атом, удельное сопротивление 250 мкОм см. При отжиге наблюдается множественное двойникование фаз ОЦК и ГЦК. Дано объяснение этого эффекта.

Изучены аморфные пленки пермаллоя, полученные методом импульсноплазменного напыления, не проявляющие магнитных свойств при комнатной температуре. Исследования в сильных (до 80 кЭ) полях и низких температурах показали, что они ведут себя как спиновое стекло с температурой перехода ~ 80 К.

Исследована толщинная зависимость коэрцитивной силы аморфных пленок DyCo , полученных в сверхвысоком вакууме (10^{-8} торр) с контролем магнитных параметров *in situ* и обладающих перпендикулярной анизотропией. Обнаружено практически линейное увеличение H_c с ростом толщины пленки в диапазоне толщин 2 - 50 нм. Особенности зависимости связываются с изменением ближнего порядка структуры пленки. Исследован магнитооптический эффект Фарадея в этих пленках. Обнаружено увеличение удельного вращения на 20 - 30% в области толщин 2 - 5 нм, что может быть связано с окислением пленки за счет выделяемого подложкой кислорода.

Отработана технология получения ультратонких (до 100 нм) слоев магнитных материалов, легированных Mn, с игольчатой кристаллической структурой, ориентированной нормально поверхности подложки, с использованием методов вакуумного напыления. Характерный период полученной структуры лежит в диапазоне десятков - тысяч ангстрем. Изучено влияние типа подложки и степени рабочего вакуума на формирование игольчатой структуры. Разработана методика измерения периода структуры с использованием дифракции света. Изучено влияние ориентации структуры относительно поверхности подложки на величину магнитной анизотропии пленок. Изучены спектральные зависимости

коэффициента отражения от состава пленок и периода кристаллической структуры в видимом и ближнем ИК диапазоне длин волн.

Проведены исследования влияния слоистости пленок MnBi и введения слоя редкоземельного элемента между слоями Mn и Bi на их структурные, магнитные и магнитооптические свойства. Разработана технология получения мультислойных структур Mn/R/Bi с количеством слоев от 3 до 11. Перпендикулярная магнитная анизотропия полученных пленок $K_{\perp} = (0.8 - 1.0) 10^7$ эрг/см³, намагниченность насыщения $M_s = 320 - 360$ Гс, размер кристаллитов после отжига ~ 15 нм. Проведены исследования процессов перемагничивания, термомагнитной записи и магнитооптических свойств этих систем. Показано, что кривые перемагничивания обладают хорошей прямоугольностью ($M_T = M_S$) с коэрцитивной силой 4 - 6 кЭ и значением угла магнитооптического вращения Керра $2\Theta_k \sim 4.5^\circ$. Сравнительные характеристики некоторых полученных структур приведены в таблице:

Тип пленки	h, нм	H _c , кЭ	M _s , Гс	K _⊥ , эрг/см ³	2Θ _k , град
MnBi	148	1.6	400	2*10 ⁶	2.0
Mn/Bi	148	6.0	300	~10 ⁷	2.4
Mn/Dy/Bi	148	6.0	330	~10 ⁷	4.2 - 4.5

Методами ОЖЭ спектроскопии проведен послойный анализ полученных структур после их отжига. Показано, что отжиг приводит к исчезновению слоистости по всей толщине пленки; тем не менее судя по величине энергии связи линий Mn2p и Bi4f можно предположить, что основная масса атомов этих элементов находится в металлическом состоянии.

Методом ионно-плазменного распыления получены поликристаллические пленки феррограната иттрия с различным ионным замещением состава $A_xY_{3-y}B_yFe_{5-y}O_{12}$, где А - Bi; В - Al, Ga; x = 1 - 3, y = 1 - 2. Исследовано влияние замещения ионов на константу перпендикулярной магнитной анизотропии (ПМА), коэрцитивную силу и магнитооптические эффекты (МО). Для составов $Bi_xY_{3-y}BFe_4O_{12}$ (B = Al, Ga) наблюдается увеличение МО эффектов с ростом x от 1 до 2. Для составов $Bi_xY_{3-y}B_yFe_{5-y}O_{12}$ ($1 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 2$) наибольшее влияние на константу ПМА оказывает замещение Fe на Ga, Al. Для увеличения коэрцитивной силы замещение на Ga оказалось более эффективным, чем на Al. Замещение Y на Bi при $1 \leq x \leq 3$ показало существенное увеличение МО эффектов при росте x от 1 до 2. При дальнейшем росте x наблюдается уменьшение константы ПМА, и пленки соединения $Bi_3Fe_5O_{12}$, известного своим высоким значением константы Фарадея, не обладают ПМА. Установлено, что оптимальными магнитооптическим и магнитными свойствами обладают поликристаллические пленки феррограната состава $Bi_{1.7}Y_{1.3}Ga_{1.8}Fe_{3.2}O_{12}$, для которых $2F/d = 3$ град/мкм ($\lambda = 0.63$ мкм), $K_{\perp} = 8 \cdot 10^3$ эрг/см³, $H_c = 3000$ кЭ.

ФМП, ВП

Исследованы процессы перехода из хаотического состояния доменной структуры в упорядоченное при непрерывном возбуждении переменным магнитным полем. Установлено, что параметры упорядоченной структуры чувствительны к температуре и частоте возбуждающего поля.

Развита методика исследования скорости насыщения доменных стенок, основанная на дифракции поляризованного света от решетки антифазных доменов.

Разработана технология изготовления мультислойных пленочных образцов, обладающих гигантским магниторезистивным эффектом. Изучено влияние технологических параметров на величину магнитосопротивления образцов.

Измерены электрические, магниторезистивные и гальваномагнитные характеристики мультислойных пленок Co/Cu, полученных методом химического осаждения с вариацией толщин слоев от 2 до 6 нм. Обнаружен гигантский магниторезистивный эффект в этих пленках. Начаты исследования зависимостей указанных характеристик от толщины слоев Cu и структуры материала.

Изучены СВЧ характеристики (ФМР и СВР) пленок Co/Pd, полученных методом химического осаждения в гранулированном и мультислойном состояниях. Получены образцы, характеризующиеся спектрами СВР, содержащими от 9-ти до 13-ти спин-волновых пиков. Начаты исследования модификации спектра спин-волновых колебаний в данных образцах.

Продолжены исследования нанокристаллических сплавов Fe-Sib(Cu, Nd) магнитоструктурными методами. Изучены изменения магнитных характеристик и характеристик микроструктуры сплава, определяемых методом корреляционной магнитометрии, обусловленные вариацией технологических параметров (скорость закалки, содержание стеклообразователей).

ФНС

Для одноосных антиферромагнетиков с "легкой" осью анизотропии рассмотрены области существования и законы дисперсии для поверхностных, а также прямых и обратных объемных магнитостатических волн (МСВ). Расчеты проведены для образцов в виде тонкой пластины с различной ориентацией пластины и внешнего поля относительно кристаллографических осей. Сделаны оценки ширины области существования МСВ для конкретных антиферромагнетиков и в качестве объекта экспериментальных исследований выбран MnF_2 с $T_N = 67$ К, сочетающий узкие линии резонансного поглощения и достаточно широкую область существования МСВ. В частности, ширина спектра прямых объемных МСВ для практически важной в эксперименте низкочастотной ветви АФМР составляет 315 Э. Построена дисперсионная зависимость для этого типа объемных волн в MnF_2 . Выращены монокристаллы MnF_2 и проведены пробные эксперименты по возбуждению спектра магнитостатических колебаний в пластине MnF_2 .

Экспериментально при $T = 77$ К в 8-мм диапазоне длин волн исследовано влияние внешних одноосных давлений на антиферромагнитный резонанс в гексагональном плоскоплоскостном антиферромагнетике $KFe_{11}O_{17}$. Одноосные давления до $3 \cdot 10^8$ дин/см² прикладывались к образцу параллельно и перпендикулярно главной оси кристалла. В первом случае влияние давления пренебрежимо мало, а при давлении в базисной плоскости кристалла деформационный сдвиг АФМР линейно зависит от величины давления. Такое поведение согласуется с феноменологическим расчетом влияния магнитоупругой связи АФМР для плоскоплоскостного гексагонального антиферромагнетика. Из деформационной зависимости оценена одна из четырех констант магнитоупругости калиевого феррита: $\lambda_1 \approx -2 \cdot 10^{-4}$.

По разработанной технологии синтезированы поликристаллы ферромагнитных вакантных сульфидов системы $Fe_{1-x}S$ (структура типа NiAs) составов $0.125 \leq x \leq 0.133$ ($\rho \sim 10^{-3}$ Ом см в области 78 - 300 К). Установлено, что эффект резкого падения магнитной восприимчивости в области 130 К для $x = 0.125$, предположительно связанный с формированием сверхпроводящей фазы, с возрастанием x усиливается.

Для однофазных поликристаллов V_xS , $0.9 \leq x \leq 1.06$ (VS - зонный антиферромагнетик, полуметалл, структура типа NiAs) установлена резкая зависимость аномалий электрических и магнитных свойств от технологии получения, состава (x), температурно-временных режимов термообработки (особенно ниже 200 К) при сохранении высокотемпературного

перехода металл-диэлектрик ($T_c \sim 900$ K), что связано с особенностями кристаллической и электронной структур VS. Закаленные образцы при $T \sim 200$ K переходят от полуметаллического в полупроводниковое состояние со скачком электросопротивления на три порядка с одновременным изменением магнитной восприимчивости от температурно-независимой до степенной $\chi(T) \sim T^{-\alpha}$, $\alpha \sim 0.36$.

Проведено экспериментально-теоретическое изучение временного поведения фотомагнитного эффекта кристаллов гематита, легированных примесями. Установлено, что оптически индуцированное состояние образуется в результате заселения состояний, соответствующих ионам двухвалентного железа в цикле оптического возбуждения и релаксации. Релаксация в исходное состояние происходит как последовательность термически активированных переходов между соседними позициями и носит диффузионный характер.

На СКВИД-магнитометре, снабженном оптической приставкой, обнаружено, что при оптическом возбуждении, наряду с процессами переноса заряда между разновалентными ионами железа, происходит перераспределение населенностей подуровней основного мультиплета примесного центра. Одним из проявлений этого механизма является возникновение стационарных во времени автоколебаний макроскопической намагниченности в узких интервалах температуры и магнитных полей. Проведено изучение температурного поведения фотомагнитного эффекта. Установлено, что вероятности оптических переходов зависят от температуры; изучены относительные вклады центров в разных кристаллографических позициях. Объяснены анизотропные свойства кристаллов $FeVO_3$ и спин-переориентационный переход в базисной плоскости при низких температурах.

Методом Монте-Карло вычислена магнитная конфигурация линейной цепочки спинов с ферро- и антиферромагнитными связями, которая затем использовалась в качестве начальных условий при решении линеаризованных уравнений движения спинов. Вычислен динамический структурный фактор и спектр спиновых волн. Результаты сравнены с аналитической теорией; показано, что в области длинных волн численный метод не работает, но дает хорошее согласие для $ka \geq \pi/4$ (для цепочки размером $L = 40$). Показано, что для трехмерной спиновой системы, пользуясь этой методикой и возможностями ЭВМ, можно вычислить несколько точек спектра на краях зоны Бриллюэна, однако невозможно установить наличие разрывов и других особенностей спектра в середине зоны в фрустрированных системах.

Проведены экспериментальные (ЭПР) и теоретические исследования процессов спиновой динамики в монокристаллических твердых растворах $CsMn_{1-x}Cd_xBr_3$. Обнаружены существенные отклонения в поведении резонансных характеристик этих кристаллов от предсказанных теоретически для квазиодномерных антиферромагнетиков, что связано с влиянием межцепочечного обмена и одноионной анизотропии. Полученные результаты наряду с данными статистических исследований использованы для объяснения поведения магнитных свойств $CsMnBr_3$.

Экспериментально исследованы статические магнитные свойства системы квазидвумерных магнетиков $(CH_3NH_3)_2Mn_xCu_{1-x}Cl_3$. Обнаружено, что антиферромагнитное соединение с $x = 1$ обладает слабым ферромагнетизмом при $T < T_N = 45.3$ K. Показано, что ориентационные фазовые переходы по полю и температуре, а также гистерезисные явления, обусловлены конкуренцией антисимметричного обмена и анизотропии. Замещение иона марганца на медь ($x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.5$) приводит к преобладанию ферромагнитного взаимодействия в плоскостях, при этом температуры упорядочения для всех составов лежат в пределах 7.8 - 8.3 K.

Проведен теоретический анализ магнитокалорического эффекта в одноосных ферромагнетиках в области ориентационного фазового перехода. Полученные результаты

позволили объяснить экспериментально наблюдаемое немонотонное изменение температуры при адиабатическом намагничивании редкоземельных металлов и сплавов. Показано, что аномалии магнитокалорического эффекта в этих кристаллах обусловлены особенностями вращения магнитного момента при фазовом переходе. Построена фазовая диаграмма "направление магнитного поля - напряженность магнитного поля", вычислены изоэнтропы магнитокалорического эффекта при произвольном направлении приложенного магнитного поля.

РСМУВ

Разработана конструкция диссипативного водоохлаждаемого соленоида на поле $B \sim 20$ Т для гибридного соленоида, оболочка которого рассчитана на устойчивость к пондеромоторным силам в поле 30 Тл. Тип оболочки - полигеликс. Разработана технология изготовления полигеликс обмоток из хромистой бронзы, включающая механическое изготовление спирали, химическую обработку, склеивание с помощью специально изготовленной изолирующей пленки и окончательную механическую и химическую обработку. По данной технологии изготовлены пробные секции соленоида и проведено их термомеханическое тестирование.

В рамках концепции критического состояния для сверхпроводников второго рода получены аналитические выражения, описывающие различные участки кривых намагничивания, в том числе - фланги петель гистерезиса. Последнее позволяет из экспериментальных данных о намагниченности ВТСП керамик в сильных магнитных полях определять внутригранульный критический ток.

Из исследования эффекта Холла в аморфных пленках Dy-Co определены критические поля перехода в неколлинеарное состояние и получены фазовые диаграммы таких переходов при полях, параллельных и перпендикулярных ОЛН. Из фазовых диаграмм определена константа $3d - 4f$ межподрешеточного обмена.

Дано взаимосогласованное объяснение 60-летним геомагнитным вариациям, геомагнитным инверсиям (обращениям знака геомагнитного поля), суперхронам геомагнитной полярности, а также мантийным плюмам и горячим точкам.

СМП

Радиоспектроскопия

Исследовано изменение релаксационных свойств намагниченности, ортогональной эффективному полю при изменении соотношения двух- и трехспиновых взаимодействий. Показано, что трехспиновое взаимодействие качественно меняет динамику системы: намагниченность перестает сохранять направление, и ускоряется диссипация многоспиновых корреляций, приводящая, в частности, к исчезновению осцилляций в условиях магического угла. Расчет спадов намагниченности методом функции памяти дал качественное согласие с экспериментальными результатами. Получены формально точные интегральные уравнения для корреляционных функций с ядром в виде бесконечного ряда по неприводимым диаграммам, в которых к традиционным вершинам двухспинового взаимодействия добавлены новые, соответствующие трехспиновому. Для расчетов предложено уравнение, в ядре которого сохранены все диаграммы с двумя и тремя вершинами и выполнен полный учет взаимодействия между Z -проекциями спинов. Корреляционная диаграмма при сохранении только этой части взаимодействия, входящая в данное уравнение и образующая его основу, определена как в статистическом пределе, так и при задании флуктуирующей частоты через квадратичный гауссов шум.

Найдена зависимость формы крыла спектра от характеристик случайного локального поля на спине. Для одномерных случайных полей общего вида найдено, что при марковском и гаусс-марковском полях имеет место степенная зависимость крыльев спектров от частоты,

тогда как при гауссовом поле - экспоненциальная. Дополнительно рассчитаны потери намагниченности после действия адиабатического импульса, непрерывное изменение поля в котором задано известной функцией времени. Потери также имеют экспоненциальную частотную зависимость, в согласии с известной теоремой механики об экспоненциальной малости адиабатических инвариантов.

РСА

Установлено, что аномальная температурная зависимость формы линии резонансного спектра в окрестности фазового перехода нормальная фаза - несоразмерная фаза в кристаллах описывается при учете как амплитудных, так и фазовых флуктуаций в теории формы линии.

РСД

Оптика

Предложен и экспериментально реализован молекулярно-статистический подход к анализу спектра поляризованной люминесценции примесных молекул красителя в матрице нематического жидкого кристалла. Исследовано влияние особенностей электронной структуры молекул примеси, их ориентационной статистики, молекулярной динамики и анизотропных межмолекулярных взаимодействий на интенсивность и положение поляризованных компонент примесной флуоресценции. Обнаружен новый процесс релаксации ориентационной упорядоченности примесных молекул в жидкокристаллической матрице за время их жизни в возбужденном состоянии.

Для жидких кристаллов семейства азометинов с не взаимодействующими и сильно взаимодействующими конформационными степенями свободы подтверждена предсказанная ранее зависимость температуры фазового перехода "нематический жидкий кристалл - изотропная жидкость" от параметра конформационного состояния молекулярного ансамбля.

Исследовано влияние двуосности формы молекул на характер фазового перехода нематик - смектик А в жидких кристаллах. Показано сильное влияние молекулярной двуосности на энтропию перехода и положения трикритической точки. Установлено, что при узком интервале нематической фазы молекулярная двуосность может индуцировать смену рода перехода нематик - смектик А с первого на второй.

МС

Проведены исследования физических механизмов фотостимулированной агрегации коллоидов благородных металлов, влияние внешних физических факторов на процесс фотоагрегации. Проанализированы альтернативные механизмы фотоагрегации. Исследованы нелинейно-оптические свойства осажденных фрактальных кластеров металлов.

КО

Программа

"Развитие научных основ квантовой оптики и квантовой электроники, разработка новых направлений их применения"

Исследованы нелинейно-оптические свойства молекул с двойными сопряженными связями, принадлежащих к началам гомологических рядов полиаценов и полифенилов. Показано, что данные молекулярные системы перспективны для нелинейно-оптического преобразования видимого излучения в вакуумно-ультрафиолетовую область спектра. Определены оптимальные условия генерации коротковолнового излучения в парах органических красителей.

Предложен и проанализирован простой способ разделения изотопов с помощью эффекта светоиндуцированного дрейфа в поле широкополосного лазерного излучения.

Показано, что существующие лазеры обеспечивают необходимую спектральную плотность излучения (~ 0.1 Вт/см² ГГц), а обогащение может достигать ~ 100 .

КО

**Программа
"Новые процессы углубленной и комплексной химической переработки
минерального и вторичного сырья, угля, нефти"**

Разработаны методики и создана аппаратура, позволяющая исследовать процессы флокуляции мелкодисперсных (менее 50 микрон) магнитных минералов в пульпах под действием высокоинтенсивных (до 20 кЭ) магнитных полей. Изучены процессы флокуляции магнетитов и установлены оптимальные режимы магнитной обработки, позволяющие заметно увеличить выход магнитной фракции.

Проведены исследования эффективности разделения слабомагнитных минералов в высокоградиентных постоянных, переменных и комбинированных магнитных полях. Разработана новая методика селективного обогащения минералов с близкими магнитными свойствами в импульсных магнитных полях со встречными магнитными потоками, позволяющая получать магнитные фракции с высокой степенью очистки.

МГП

Программа "Сибирь"

Изучены процессы магнитной сепарации хвостов сплошных сульфидных медно-никелевых руд Талнахской обогатительной фабрики Норильского горно-металлургического комбината. Разработанные методики позволяют производить доизвлечение коллективного пирротин-магнетитового продукта с выходом до 25% от исходной массы, содержанием пирротина до 30% и магнетита - до 70%.

МГП

Программа "Молекулярная электроника"

Разработано и изготовлено электрооптическое устройство на основе планарно-ориентированной пленки капсулированного полимером сегнетоэлектрического жидкого кристалла, предназначенное для модуляции мощных световых потоков. Устройство отличается от аналогов отсутствием в конструкции поляризаторов, а также использованием производимых промышленно сегнетоэлектрических жидких кристаллов с углом наклона молекул $\Theta \cong 22.5^\circ$.

МС

**Программа
"Новые материалы и вещества - основа создания нового поколения техники,
технологии и решения социальных задач"**

Обнаружены аномалии температурной зависимости диэлектрической проницаемости FeVO₃ с диамагнитными примесями, обусловленные возникновением локальной поляризации вблизи примесей. Рассчитана температурная зависимость внутриплоскостной анизотропии FeVO₃, результат расчета согласуется с экспериментальными результатами при температурах выше 10 К и расходится при более низких температурах.

Методом раствор-расплав синтезированы монокристаллы ВТСП соединений системы Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O размерами 3x3x2 мм³ с критической температурой 86 К, состоящие в основном из фазы 2212 с частичным проращением фаз 2201 и 2223.

ФМЯ

Исследовано влияние модификации Тl-содержащих ВТСП материалов фторидами металлов (Mn, Mg, Pb) на их транспортные, магнитные и СВЧ свойства. Установлено, что добавки марганца и магния улучшают сверхпроводниковые свойства: сопротивление нормальной фазы в 2 раза ниже, чем у номинально чистых образцов, и составляет 0.05 Ом см, переход более узкий ($\Delta T = 2$ К), критическое магнитное поле выше. Изучены температурные зависимости добротности СВЧ резонаторов из разных ВТСП материалов. Показана возможность применения объемных резонаторов из ВТСП в технике ЭПР спектроскопии.

РСМУВ

Определены условия устойчивого роста монокристаллов на основе литиевой феррошпинели и бариевого гексаферрита в свинцово-боратных растворах-расплавах, сильно разбавленных соответственно окисью лития и окисью натрия. Разработаны способы выращивания объемных монокристаллов.

ММ

Работы, рекомендуемые для использования в практике

Проведены теоретические и экспериментальные исследования микрополосковых СВЧ фильтров и диплексеров на регулярных и нерегулярных резонаторах. Показана возможность управления крутизной склонов амплитудно-частотных характеристик посредством изменения длины области связи МРП. Разработаны оптимизированные конструкции СВЧ устройств, в том числе обладающие симметричной характеристикой относительно центра полосы пропускания.

ЭДСВЧЭ

Разработан и изготовлен рабочий макет полностью автоматизированного миниспектрометра ЯМР широких линий с малогабаритной магнитной системой на основе сплава неодим-железо-бор и системой автоматической электронной калибровки чувствительности.

РСД

На основе ЯМР спектроскопии широких линий разработана методика количественного определения малых концентраций лития в природных и промышленных соединениях, в том числе в альтернативных источниках лития. Достигнута уникальная для ЯМР твердых тел чувствительность (порядка тысячных долей процента). Доказаны преимущества непрерывной методики ЯМР для анализа содержания лития, при котором другие физические методы наталкиваются на серьезные ограничения. Начаты исследования литийсодержащих цеолитов.

РСА

Разработана технология и изготовлена опытная партия тонкопленочных датчиков слабого магнитного поля. Изготовлен макет широкополосного тонкопленочного магнитометра.

ФМП

В рамках программы "Сибирь" изучены процессы магнитной сепарации хвостов сплошных сульфидных медно-никелевых руд Талнахской обогатительной фабрики Норильского горно-металлургического комбината. Разработанные методики позволяют производить доизвлечение коллективного пирротин-магнетитового продукта с выходом до 25% от исходной массы, содержанием пирротина до 30% и магнетита - до 70%.

МГП

Международные научные связи

Институт продолжал развивать сотрудничество с зарубежными научными организациями. В рамках планов международной деятельности РАН лаборатория кристаллофизики (зав.лаб. - академик К.С.Александров) работает совместно с лабораторией химии твердого тела Национального центра научных исследований Франции (г.Бордо, руководитель - директор Центра, проф. Жан Этерно) по теме "Рост кристаллов и физические характеристики неорганических материалов, имеющих фазовые переходы". Прямые связи поддерживаются лабораторией когерентной оптики (зав.лаб. - д.ф.-м.н. А.К.Попов) по теме "Взаимодействие лазерного излучения с веществом" с Лихайским университетом (Бетлехем, США), университетом Нью-Мексика (Лакруз, США), университетом г.Сиены (Италия), Ганноверским университетом (Германия). Д.ф.-м.н. А.К.Попов посетил университеты Италии и Германии в рамках исследований резонансных нелинейных процессов в поле лазерного излучения. В длительных командировках находятся научный сотрудник, к.ф.-м.н. В.З.Яхнин, работающий по теме "Лазерная химическая кинетика" в

Торонто, Канада, и ст.н.с., к.ф.-м.н. В.М.Шалаев, работающий по теме " Оптические свойства кластеров" в университете Нью Мексика, США.

Зав. сектором нелинейных процессов, д.ф.-м.н. Г.П.Берман находится в длительной служебной командировке в Центре нелинейных исследований Лос Аламосской национальной лаборатории США, где им проводятся работы по совместной теме "Квантовые эффекты в нелинейных системах, используемых в физике твердого тела, нелинейной физике и радиофизике".

В.н.с., д.ф.-м.н. И.С.Сандалов работает в Швеции в Отделе физики университета г.Упсала по теме "Физика конденсированного состояния в системах с коррелированными электронами".

По грантам фонда им. А. фон Гумбольдта в Германии работают в.н.с., д.ф.-м.н. Н.Н.Тарханов (Институт математики им. Карла Вейерштрасса, тема "Задача Коши для решений эллиптических уравнений") и с.н.с., к.ф.-м.н. А.Р.Коловский (университет Эссена, "Теория динамического хаоса в классических и квантовых системах").

В.н.с., д.ф.-м.н. В.Е.Шапиро работает в Канаде, университет Ванкувера, тематика работ "Теория сильно нелинейных систем".

Научные командировки в 1993 г. осуществлялись по планам сотрудничества для научной работы, чтения лекций, участия в международных конференциях, в основном по приглашениям зарубежных Академий наук (академик К.С.Александров - Франция, Испания, с.н.с., к.ф.-м.н. И.Н.Флеров - Франция, с.н.с., к.ф.-м.н. А.Д.Васильев - Австрия, в.н.с., д.ф.-м.н. А.М.Кытманов - Италия, в.н.с., д.ф.-м.н. А.К.Цих - Швеция, зав.лаб., д.ф.-м.н. Г.А.Петраковский - Швейцария, с.н.с., к.ф.-м.н. А.Н.Втюрин - Нидерланды и др.

Научно-организационная работа

В 1993 году проведено 10 заседаний Ученого совета Института. Основное внимание на них было уделено участию Института в программах и конкурсах различного уровня, а также вопросам функционирования Института в условиях сокращения базового бюджетного финансирования.

Заслушано три научных доклада:

1. Д-ра философии университета AMSF Аврамова П.В. "Рентгено-электронные исследования вакантных электронных состояний в окислах переходных металлов",
2. Д.ф.-м.н. Звегинцева А.Г., к.ф.-м.н. Якубайлика Э.К. "Магнетизм и обогащение полезных ископаемых",
3. К.ф.-м.н. Беляева Б.А. "Спектрометр ФМР тонких магнитных пленок", и доклад инженера - патентоведа Бохан Г.В. "Правовая защита научных разработок".

На заседании Ученого совета Института, в связи с окончанием срока его полномочий, обсуждался новый состав; были даны положительные рекомендации по выборам на новый срок директора Института, заместителей, выбран новый ученый секретарь Института. Дирекции рекомендовано, в связи с уменьшением бюджета, упорядочить структуру научных подразделений.

В феврале 1993 г. проведена аттестация сотрудников в связи с переходом на Единую тарифную сетку. По результатам аттестации повышено в должности 34 человека (в том числе 11 научных сотрудников), 3 научных сотрудника переведены в научно-технический состав. В структуру Института внесены изменения: ввиду малочисленности и отъезда руководителя ликвидирован сектор теории функций, создана новая временная группа для работы по проекту " Новые акустические технологии".

В 1993 году Институтом подано 9 заявок на патенты и получено 5 решения об их выдаче.

В Сибирском отделении издательства "Наука" вышла в свет книга сотрудников Института К.С.Александрова, Б.В.Безносикова "Структурные фазовые переходы в кристаллах (семейство сульфата калия).

Сотрудниками опубликовано 160 научных работ, в том числе в зарубежных и центральных журналах - 93, направлено в печать свыше 50 статей. На своей полиграфической базе издано 12 препринтов, готовится к изданию монография д.ф.-м.н. Калинина Ю.Д.

В специализированных советах по защитах диссертаций защищено 5 кандидатских и одна докторская диссертация.

В аспирантуру Института в 1993 г. принято 6 человек.

Зам.директора Института,
к.ф.-м.н.

Б.П.Хрусталев

Ученый секретарь,
к.ф.-м.н.

А.Н.Втюрин