

О Т Ч Е Т
о работе Института спектроскопии РАН за 2007 год

I. Институт был создан в 1968 г. Списочная численность на 1 декабря 2007 г.:

постоянный штат	213
аспирантов	8
докторов наук	28
кандидатов наук	46
руководителей научных подразделений	15
дирекция	5
научных сотрудников	106
в том числе:	
главных научных сотрудников	6
ведущих научных сотрудников	19
старших научных сотрудников	46
научных сотрудников	12
младших научных сотрудников	5
ИТР в н/подразделениях	25
сотрудников ОГЭ и опытного производства	30

Научные исследования проводились по следующим основным направлениям:

1. Атомная спектроскопия.
2. Молекулярная спектроскопия.
3. Спектроскопия конденсированного состояния и поверхности.
4. Лазерная спектроскопия.
5. Аналитическая спектроскопия.
6. Спектральное приборостроение.

В 2007 году Институт проводил исследования по 90 темам, включая работы по Федеральным целевым научно-техническим программам, целевым программам РАН, грантам Российского фонда фундаментальных исследований, по международным грантам и по плану НИР Института (см. Форму 1 и Приложение 1).

В настоящее время в состав Института входят 5 отделов: отдел атомной спектроскопии, включающий лабораторию атомной спектроскопии и лабораторию спектроскопии плазмы; отдел лазерной спектроскопии, включающий лабораторию лазерной спектроскопии, лабораторию спектроскопии ультрабыстрых процессов, лабораторию спектроскопии возбужденных состояний молекул и сектор фемтосекундной спектроскопии центра коллективного пользования "Оптико-спектральные измерения ИСАН"; отдел спектроскопии твердого тела, включающий лабораторию спектроскопии конденсированных сред, лабораторию спектроскопии полупроводниковых структур и сектор фурье-спектроскопии высокого разрешения центра коллективного пользования "Оптико-спектральные измерения ИСАН"; отдел молекулярной спектроскопии, включающий

лабораторию молекулярной спектроскопии высокого разрешения и аналитической спектроскопии и два сектора: сектор микроволновой спектроскопии и сектор электронных спектров молекул; теоретический отдел, включающий сектор нелинейной спектроскопии и сектор спектроскопии фазовых переходов; отдел лазерно-спектрального приборостроения, и две лаборатории - спектроскопии наноструктур и экспериментальных методов спектроскопии.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЗА 2007 ГОД

АТОМНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

1. На вакуумном спектрографе высокого разрешения в области 10-30 нм получены и исследованы спектры меди, палладия, серебра и кадмия при возбуждении в малоиндуктивной вакуумной искре.

а) Исследованы резонансные переходы $3p^63d^4 - 3p^63d^34f$ в спектре семикратно ионизированной меди (Cu VIII), который ранее был полностью неизвестен, и с помощью расчетов на ортогональных операторах идентифицировано около 200 спектральных линий. Найдены энергии всех уровней основной конфигурации $3p^63d^4$ и 95 уровней энергии возбужденной конфигурации $3p^63d^34f$. Теоретически исследованы эффекты взаимодействия конфигураций $3p^63d^34f$ и $3p^53d^4$.

б) Проведен расчет спектров ионов Pd, Ag и Cd; изоэлектронных с Sn VIII - Sn XIV, построены синтетические спектров и путем сравнения с измеренными спектрами высокого разрешения проведено разделение линий по кратности ионизации, необходимое для дальнейшего анализа спектров (д.ф.-м.н. А.Н.Рябцев, к.ф.-м.н. Р.Р.Кильдиярова, д.ф.-м.н. С.С.Чурилов, к.ф.-м.н. Э.Я.Кононов).

2. По спектрам высокого разрешения малоиндуктивной вакуумной искры в области 10-17 нм разработана методика измерения электронной температуры и электронной плотности в плазме олова. Методика базируется на экспериментальных измерениях относительных интенсивностей и ширин спектральных линий легких элементов фтора и лития, вводимых в разряд в качестве примесей, и теоретических расчетах ионизационного равновесия в плазме. Проведена диагностика плазмы макета источника излучения для нанолитографии на длине волны 13.5 нм (грант РФФИ и VI Рамочной программы ЕС, д.ф.-м.н. А.Н.Рябцев, к.ф.-м.н. К.Н.Кошелев, д.ф.-м.н. С.С.Чурилов совместно с Институтом прикладной математики РАН им. М.В.Келдыша).

3. Выполнены расчеты спектроскопических констант, кинетики заселения уровней и коэффициентов усиления спонтанного излучения в Pd-подобных ионах Er XXIII – Re XXX. Длины волн переходов, на которых возможно усиление, находятся в области 10-15 нм. Расчеты выполнены для условий ультракороткого импульса накачки. Для каждого иона определены оптимальные условия в плазме для наблюдения узконаправленного, монохроматического, интенсивного излучения (несколько процентов от энергии импульса накачки) на длине волны лазерного перехода (д.ф.-м.н. Е.П.Иванова).

4. Экспериментально и теоретически изучена излучательная способность плазмы ионов олова и галлия в области 5-15 нм при возбуждении в аксиальных разрядах с токами от 10 до 30 кА. Было показано, что в условиях радиационного коллапса эффективность преобразования запасенной электрической энергии в излучение Sn ионов в области спектра предполагаемого для использования в новом поколении проекционной литографии - 13,5 нм - может составлять несколько процентов. При этом оказалось, что использование технологически удобных сплавов олова с индием и галием не приводит к существенному ухудшению излучательных характеристик в области эффективного отражения многослойной рентгеновской оптики (грант VI Рамочной программы ЕС, к.ф.-м.н. К.Н.Кошелев, к.ф.-м.н. Ю.В.Сидельников).

5. Совместно с ИПМ им Келдыша разработана численная процедура расчета спектров многозарядных ионов с учетом сильной реабсорбции и переналожения линий. Оптимизация метода расчета позволяет включать радиационный транспорт в магнитогидродинамические модели плазмы, предсказывать характер и интенсивность излучения (*к.ф.-м.н. К.Н.Кошелев, к.ф.-м.н. В.В.Иванов*).

6. Создана установка для изучения плазменных световодов на основе медленных капиллярных разрядов, включающая в себя диагностический интерферометрический комплекс на основе интерферометр Маха-Цандера и систему регистрации на базе камеры Andor DH 734 -18F -03. Проведены измерения согласованного радиуса и осевой электронной плотности в разрядах с начальным давлением водорода 1000 Па и предложен и реализован новый метод определения согласованного радиуса с помощью сравнения поперечного размера гауссового пучка на входе и выходе плазменного световода (*к.ф.-м.н. П.С.Анциферов*).

МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

1. (а) На установке с оротроном и сверхзвуковой гелиевой струей (температура частиц в струе порядка 0,1К) впервые зарегистрированы в миллиметровой области спектры кластеров $\text{He}_N\text{-}^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ $N=4 - 6$ [R(0) переходы]. Определена энергия почти свободного вращения CO в этих кластерах. Из сравнения с ИК данными определены сдвиг частоты фундаментального колебания CO и его зависимость от количества присоединенных атомов He, оказавшаяся в два раза слабее расчетной. Определены компоненты тензоров инерции кластеров и показано, что связываемое со сверхтекучестью падение наблюдаемого момента инерции начинается уже с $N=4$.

(б) Впервые зарегистрированы миллиметровые переходы в кластерах $\text{He}_2\text{-}^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ R(0), R(1), Q(1); $\text{He}_2\text{-}^{13}\text{C}^{18}\text{O}$ R(0); $\text{He}_3\text{-}^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ R(0). Количественно подтвержден обнаруженный ранее качественно в ИК диапазоне эффект увеличения частоты вращения CO и ослабление эффекта изотопозамещения при росте кластера.

(в) Впервые измерены переходы R(0) - R(2) и P(2) в $\text{He-}^{13}\text{C}^{16}\text{O}$; R(0) - R(2) в $\text{He-}^{12}\text{C}^{18}\text{O}$; R(1) в $\text{He-}^{13}\text{C}^{18}\text{O}$; P(2) в $\text{He-}^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ (*д.ф.-м.н. Б.С.Думеш, к.ф.-м.н. Л.А.Сурин совместно с Кельнским Университетом, Германия*).

2. Завершены исследования «горячих» спектральных переходов в димере CO. Всего идентифицировано более 300 переходов и определено положение 33 новых уровней энергии симметрии A^+ и 20 – симметрии A^- с энергией 8-18 см^{-1} от нулевого уровня. Часть из них принадлежит 9 новым состояниям димера. Два из них представляют собой вращение димера с $K=2$, а остальные – обертоны колебания типа цепной передачи. Стимулированные нашими исследованиями теоретические расчеты хорошо описывают положение этих уровней (*д.ф.-м.н. Б.С.Думеш, к.ф.-м.н. Л.А.Сурин, В.А.Панфилов совместно с Кельнским Университетом, Германия*).

3. Измерены спектры оптического кругового дихроизма растворов сырых нефтей (различных месторождений) в толуоле. Впервые обнаружена связь оптической активности нефтяных систем с параметрами дисперсной структуры, формируемой в нефти ее макромолекулами. Показано, что формирование и увеличение объема дисперсной фазы в нефтях сопровождается заметным изменением их кругового дихроизма (*к.ф.-м.н. А.В.Потапов, В.Н.Крашенинников совместно с Отделом лазерно-спектрального приборостроения*).

СПЕКТРОСКОПИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПОВЕРХНОСТИ

1. В связи с последними достижениями нанотехнологии, позволившими создать молекулярные одномерные цепочки макроскопических размеров, исследованы свойства (закон дисперсии и диссипация) когерентных экситон-поляритонных состояний в длинных

молекулярных цепочках. Состояния образуются под влиянием взаимодействия как с фотонами вакуума, так и с поверхностными возбуждениями металлической подложки. Показано, что резонансное взаимодействие молекулярных возбуждений с поверхностными плазмонами образует эффективный канал затухания одномерных экситонов, зависящий от поляризации перехода, волнового вектора и расстояния молекулярной цепочки до поверхности металла. Рассмотренная проблема важна в связи с поисками одномерных проводников энергии на макроскопические расстояния (*д.ф.-м.н. В.М.Агранович совместно с Университетом Техаса, Даллас, США*).

2. Опубликован обзор “Spatial dispersion, polaritons and negative refraction” в изданной издательством Springer коллективной монографии. Обзор расширен по сравнению с ранее опубликованным в УФН(2006). В обзоре прослеживается история интерпретации отрицательного преломления света и показано, что волны с отрицательной групповой скоростью образуются только в тех случаях, когда пространственная дисперсия достаточно сильна. В обзоре проведен также анализ соотношения между подходом, использующим обобщенный тензор диэлектрической проницаемости (при учете пространственной дисперсии) с более известным, но ограниченным описанием, основанным на использовании диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости для искусственных материалов с макроскопическими размерами «молекул». Наряду с макроскопическим описанием использована также микроскопическая теория диэлектрического отклика при учёте как магнитных, так и квадрупольных переходов (*д.ф.-м.н. В.М.Агранович совместно с Университетом Техаса, Даллас, США*).

3. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что излучение ArF-лазера формирует в плавленом кварце сгустки электронов диаметром 2 микрона с электрическим полем на их границах 10^7 В/см, близким к полю пробоя $3 \cdot 10^7$ В/см. Границы электронных доменов становятся слабым местом в сетке связей и свет разрывает их именно в этих местах оставляя основную массу вещества незатронутой. Экспериментальный анализ фрагментов показал, что образец разрезается излучением на калиброванные шары размером 2 ± 0.2 мкм (*д.ф.-м.н. Б.П.Антонюк совместно с ЦФП ИОФ РАН*).

4. Развита теория дисперсионных ударных волн, возникающих при распространении интенсивных пучков света через дефокусирующие фоторефрактивные среды. Такого рода ударные волны наблюдались в недавнем эксперименте (W. Wan, S. Jia, and J. W. Fleischer, Nature Physics, 3, 46, 2007). Полная аналитическая теория, основанная на методе Уизема для описания модуляций нелинейных волн, построена в случае входного профиля интенсивности в виде ступеньки. Выведены формулы для координат концевых точек ударной волны и характерной амплитуды солитонов в зависимости от параметров начального профиля интенсивности. Аналитическая теория хорошо согласуется с результатами численных расчётов, которые проведены также для случая пучков с цилиндрической симметрией (*д.ф.-м.н. А.М.Камчатнов совместно с Университетом Лафборо, Англия, и Университетом Сан-Паулу, Бразилия*).

5. Развита теория линейных волн, генерируемых при обтекании препятствий бозе-эйнштейновским конденсатом. По своей природе эти волны аналогичны черенковскому излучению от «сверхсветовых» электронов, движущихся в среде, или «корабельным волнам», возбуждаемым кораблём, движущимся по спокойной воде, однако с юлее сложной структурой, обусловленной законом дисперсии Боголюбова для элементарных возбуждений в бозе-эйнштейновском конденсате. Показано, что такого рода волны образуют стационарные структуры при сверхзвуковых скоростях течения конденсата. Найдены распределения амплитуды волны в области, достаточно удалённой от препятствия. Численное моделирование генерации волн препятствием показало прекрасное согласие с теоретическими предсказаниями. По результатам работы опубликованы две статьи (*д.ф.-м.н. А.М.Камчатнов совместно с Университетом Лафборо, Англия, и Университетом Сан-Паулу, Бразилия*).

6. Исследованы условия инжекции спиновой поляризации электронов вблизи плавной границы раздела между областями квантовой ямы с разными значениями константы спин-орбитального взаимодействия. Инжекция осуществляется в условиях спинового эффекта Холла с помощью произвольно ориентированного электрического поля. Для указанных условий выведены уравнения диффузии спиновой поляризации. Анализ решений данных уравнений показал, что в случае параллельного границе электрического поля инжекция возможна лишь в том случае, когда длина свободного пробега электронов меняется внутри переходного слоя, тогда как для перпендикулярного поля она всегда имеет место (*д.ф.-м.н. А.Г.Мальшиуков совместно с Центром передовых исследований, Осло, Норвегия*).

7. Показано, что электрический ток, обтекающий двухмерное мезоскопическое кольцо, реализованное внутри полупроводниковой квантовой ямы, вызывает появление спиновой поляризации вблизи и внутри кольца, причем как знак, так и величина поляризации зависит от положения уровня Ферми относительно локальных резонансов в амплитуде рассеяния электронов на кольце (*д.ф.-м.н. А.Г.Мальшиуков совместно с Университетом Чиао Тунг, Тайвань*).

8. Рассмотрен спиновый эффект Холла при вертикальном транспорте электронов. Показано, что при туннелировании электронов через ограниченную двумя потенциальными барьерами полупроводниковую квантовую яму, внутри неё появляется спиновая поляризация, а вдоль нее протекает спиновый ток. При этом, коэффициент прохождения электронов становится зависящим от направления спина, так, что прошедший пучок оказывается поляризованным. Такого рода спиновые эффекты для изотропного по направлениям спина и импульса начального распределения электронов становятся возможными при учете спин-орбитального взаимодействия Дрессельхауза, наряду с взаимодействием, обусловленным градиентами параметров полупроводника в области квантовой ямы (*д.ф.-м.н. А.Г.Мальшиуков совместно с Университетом Чиао Тунг, Тайвань*).

9. Для системы, состоящей из "квантовой нити", гибридной с находящейся поблизости "квантовой точкой" (молекулой) с единственным "активным" электронным уровнем, исследовалось прохождение электронов через узел гибридизации. С помощью метода ренормализационной группы (в однопетлевом приближении, адекватном для слабого электрон-электронного взаимодействия) найдены сингулярные низкоэнергетические изменения коэффициентов прохождения и отражения электронов, которые определяют кондактанс системы. Описаны также непертурбативные изменения в локальной (туннельной) плотности электронных состояний квантовой нити (вблизи гибридного уровня) и квантовой точки. Эти результаты существенны для исследования квантовых нитей с помощью туннельного микроскопа с наноскопическим щупом (квантовой точкой) (*д.ф.-м.н. В.И.Юдсон совместно с Университетом Бирмингема, Англия*).

10. Предложен и экспериментально реализован новый тип оптического биосенсора, основанного на возбуждении и усилении оптических волн на поверхности фотонного кристалла. Одновременное возбуждение и регистрация двух поверхностных оптических волн с различной глубиной проникновения в исследуемую среду позволяет разделить объемный и поверхностный вклады от исследуемой среды, а увеличение длины распространения поверхностной волны – повысить чувствительность биосенсора (*к.ф.-м.н. В.Н.Конопский, к.ф.-м.н. Е.В.Алиева*).

11. Методами ИК спектроскопии исследованы структуры из чередующихся слоев квантовых точек CdTe и барьеров ZnTe, выращенных на буферных слоях ZnTe и CdTe/ZnTe на подложке (001) GaAs. Определены параметры осцилляторов. Квантовые точки проявляются в спектрах в виде широкой полосы с частотой, близкой к частоте Фрелиховской моды. Аналогичная ситуация наблюдалась ранее в ИК спектрах квантовых точек CdTe, CdSe и наночастиц ядро/оболочка CdTe/CdSe, синтезированных методами коллоидной химии. В спектрах также обнаружены свидетельства взаимной диффузии CdTe и ZnTe, проявляющиеся в наличии локальных колебаний Zn в CdTe и щелевых колебаний Cd в ZnTe,

свидетельствующие о возникновении твердых растворов $Zn_xCd_{1-x}Te$ (к.ф.-м.н. Н.Н.Новикова, д.ф.-м.н. Е.А.Виноградов, д.ф.-м.н. Б.Н.Маврин, д.ф.-м.н. В.А.Яковлев совместно с ФИАН).

12. Методами фемтосекундной спектроскопии «накачка–широкополосное зондирование» исследована динамика возбуждения интерференционных поляритонов тонких (100 и 200 нм) пленок ZnSe на металлических подложках (Al, Cr). Обнаружены эффекты сверхбыстрого (~ 50 фс) фотоиндуцированного изменения диэлектрической проницаемости пленки, приводящие к красному сдвигу поляритонов, и сверхбыстрого (~ 50 фс) фотоиндуцированного изменения диэлектрической проницаемости металлической подложки, приводящие к синему сдвигу интерференционных поляритонов (д.ф.-м.н. Е.А.Виноградов, В.О.Компанец, к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, к.ф.-м.н. Ю.А.Матвеев, д.ф.-м.н. С.В.Чекалин).

13. Методами спектроскопии КРС и HRTEM обнаружены эффекты переноса заряда в одностенных углеродных нанотрубках заполненных супериоником SnF_2 . Показано, что SnF_2 является акцептором отбирающим электроны со стенки нанотрубки. Показано также, что заполнение трубки супериоником не приводит к увеличению структурного разупорядочения при их синтезе (д.ф.-м.н. Б.Н.Маврин совместно с Институтом кристаллографии РАН).

14. Исследованы оптические свойства многослойных структур на основе пористого кремния с серебряным покрытием. Получено значительное (на порядок) усиление сигнала КРС фуллерена в одномерном фотонном кристалле (структура типа интерферометра Фабри-Перо с внешним серебряным зеркалом) при резонансе возбуждающей лазерной линии с модой фотонного кристалла (д.ф.-м.н. В.А.Яковлев совместно с Институтом методологии неорганических материалов, Италия).

15. Методом отражательно-абсорбционной ИК спектроскопии и КРС исследованы спектры биомолекул нитинола с промежуточными слоями нитрида и оксида титана на титане. Показано, что покрытие защитного слоя нитрида титана оксидом улучшает адсорбцию биомолекул (д.ф.-м.н. Е.А.Виноградов, д.ф.-м.н. Б.Н.Маврин, к.ф.-м.н. В.Н.Денисов, д.ф.-м.н. В.А.Яковлев, к.ф.-м.н. Н.Н.Новикова совместно с Технион, Израиль).

16. Исследованы ИК и КРС спектры тонких пленок нитрида, оксида и оксинитрида кремния на кремнии и стали, а также окиси алюминия на алюминии. Из ИК спектров получены толщины (200-4100 нм), диэлектрические проницаемости пленок и частоты колебательных мод. Построены кривые дисперсии колебательных и интерференционных поляритонов пленок. (д.ф.-м.н. Е.А.Виноградов, д.ф.-м.н. Б.Н.Маврин, к.ф.-м.н. В.Н.Денисов, д.ф.-м.н. В.А.Яковлев, к.ф.-м.н. Н.Н.Новикова совместно с Институтом материаловедения, Испания, и Свободным Университетом, Бельгия).

17. Исследованы спектры длинноволнового ИК отражения кристаллов системы твердых растворов $Zn_{1-x}Cd_xSe$. Из экспериментальных спектров ИК отражения были восстановлены комплексные диэлектрические проницаемости смешанных кристаллов и получены значения микроскопических констант кристаллов, в том числе, микроскопические эффективные динамические заряды ионов, а также получены зависимости частот и сил осцилляторов оптических фононов от состава твердых растворов. Выполнены теоретические расчеты динамики решетки указанных твердых растворов в рамках существующих микроскопических моделей и в итоге получены сведения о природе возникновения дополнительных инвертированных фононов (д.ф.-м.н. Е.А.Виноградов, д.ф.-м.н. Б.Н.Маврин, д.ф.-м.н. В.А.Яковлев, к.ф.-м.н. Н.Н.Новикова совместно с ФИАН).

18. Разработан новый метод получения углеродных онионов из графита в алмазной ячейке высокого давления со сдвиговой деформацией. Электронно-микроскопические исследования показали, что с ростом давления в структуре образцов появляются многослойные (до шестидесяти слоев) концентрические поверхности атомов углерода (онионы). В спектрах КРС образцов, содержащих онионы, обнаружены узкие полосы в области $1400-1500\text{ см}^{-1}$, характерные для пентагональных колебаний в фуллеренах. Расщепление дополнительных полос может быть обусловлено появлением не только

пятиугольников, но и семиугольников в структуре оболочек ониона (д.ф.-м.н. Б.Н.Маврин, к.ф.-м.н. В.Н.Денисов совместно с ТИСНУМ).

19. Исследованы структура, фазовый состав и термическая стабильность сверхтвердых титансодержащих тонких покрытий с помощью ПЭМ, спектроскопии КРС и РФЛ. Показано, что в зависимости от состава покрытий спектры КРС в основном определяются вкладом спектров кристаллитов либо TiC_x либо TiN_x . По относительной интенсивности акустических и оптических полос определен состав ($x=0.5-0.6$) для TiN_x . С ростом температуры отжига покрытия увеличивалась интенсивность спектра КРС, а полосы смещались к низким частотам за счет увеличения размеров кристаллитов и релаксации напряжений. Найдено, что покрытия устойчивы к окислению при нагреве почти до 1000 К (д.ф.-м.н. Б.Н.Маврин, к.ф.-м.н. В.Н.Денисов совместно с МИСиС).

20. Из исследований спектров поглощения монокристаллического борсодержащего алмаза в ИК, видимой и УФ областях установлено, что неравномерность распределения бора по ростовым секторам увеличивалась с ростом концентрации атомов бора в шихте от 0 до ~ 5 %, причем максимальная концентрация наблюдалась в секторе {111} и минимальная в секторе {100}. Также показано, что неравномерность распределения растет с увеличением температуры кристаллизации (к.ф.-м.н. В.Н.Денисов совместно с ТИСНУМ).

21. Измерены спектры ИК отражения в поляризованном свете монокристаллов $LiYF_4$ с различными концентрациями изотопов Li. Анализ спектров с использованием модели независимых осцилляторов показал, что изотопический беспорядок из-за присутствия около 10 % другого изотопа вызывает значительные сдвиг и уширение высокочастотной E_u - моды. Проведен теоретический расчет изотопического и ангармонического сдвига и уширения в спектрах оптических фононов и показано, что вклад изотопического беспорядка в константу затухания сопоставим с ангармоническим уширением. Результаты расчета согласуются с экспериментальными данными (д.ф.-м.н. Е.А.Виноградов, д.ф.-м.н. М.Н.Попова, д.ф.-м.н. В.А.Яковлев, к.ф.-м.н. Н.Н.Новикова совместно с Казанским Госуниверситетом).

22. Проведено экспериментальное и теоретическое исследование кристаллического поля (КП) в ферроборате неодима $NdFe_3(BO_3)_4$. Для проверки достоверности полученных набора параметров КП, волновых функций и магнитных g-факторов были промоделированы данные по магнитной восприимчивости, с учетом магнитной квазиодномерности ферроборатов. Результаты вычислений хорошо согласуются с экспериментальными данными (д.ф.-м.н. М.Н.Попова, к.ф.-м.н. Е.П.Чукалина совместно с Казанским Госуниверситетом).

23. Методом редкоземельного спектроскопического зонда исследованы магнитные фазовые переходы и типы магнитных структур в подсистеме железа для новых ферроборатов $RFe_3(BO_3)_4$, $R = Dy, Ho$. Показано, что реализация того или иного типа магнитной структуры определяется одноионной анизотропией R^{3+} иона (д.ф.-м.н. М.Н.Попова, к.ф.-м.н. Е.П.Чукалина совместно с Институтом физики им. Л.В.Киренского СО РАН, Красноярск).

24. Исследована зависимость поглощения лазерного света в кристалле $GdFe_3(BO_3)_4$: Nd при температуре, близкой к температуре спин-переориентационного фазового перехода, от мощности лазера. Обнаружен эффект резкого ступенчатого изменения поглощения света только тех частот, на которых происходит сильное увеличение поглощения при фазовом переходе с ростом температуры. Эффект объяснен нелинейным изменением поглощения и проявлением обратной связи через холодный держатель кристалла (д.ф.-м.н. М.Н.Попова совместно с Лабораторией химии твердого тела ИЦНИ UMR7574, Франция, и Институтом физики им. Л.В.Киренского СО РАН, Красноярск).

25. Проведено комплексное исследование свойств хромового бората неодима $NdCr_3(BO_3)_4$. Обнаружено магнитное упорядочение, получена величина обменного расщепления основного состояния иона Nd^{3+} в $NdCr_3(BO_3)_4$. Проведено сравнение особенностей магнитного упорядочения в $NdCr_3(BO_3)_4$ и исследованном ранее изоструктурном соединении $NdFe_3(BO_3)_4$. Методом спектроскопического РЗ зонда

обнаружено магнитное упорядочение в $\text{SmCr}_3(\text{VO}_3)_4$ (д.ф.-м.н. М.Н.Попова, к.ф.-м.н. Е.П.Чукалина совместно с МГУ).

26. Исследован спектр парного центра Но-Но в кристаллах LiYF_4 , допированных гольмием. Построена модель парного центра, образованного за счет магнитодипольного взаимодействия и проведен расчет расщепления основного уровня пары. Получено хорошее согласие расчета и экспериментальных данных. Показано, что нужно учитывать локальные деформации, вызванные внесением примесного иона (д.ф.-м.н. М.Н.Попова, к.ф.-м.н. С.А.Климин).

27. Проведено сравнение спектра парных центров Но-Но в двух матрицах: LiYF_4 и LiLuF_4 . Показано, что локальные искажения кристаллического поля, вызванные внесением примесного иона, намного больше в матрице LiLuF_4 , в которой ионный радиус допанта (Но) сильнее отличается от ионного радиуса основного иона матрицы (Lu) по сравнению с другой матрицей (LiYF_4). Обнаружено, что более сильные искажения кристаллического поля в Но : LiLuF_4 приводят также и к неэквидистантности сверхтонкой структуры линий парного центра (д.ф.-м.н. М.Н.Попова, к.ф.-м.н. С.А.Климин).

28. Исследованы низкотемпературные спектры серии смешанных цепочечных никелатов $(\text{Nd}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{BaNiO}_5$ для $x=0.03, 0.05, 0.075, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25$. Измерена зависимость температуры Нееля от x . Показано, что особенность данной зависимости при $x<0.1$ связана с существованием квантовой критической точки в зависимости T_N от силы межцепочечного взаимодействия (к.ф.-м.н. С.А.Климин совместно с МГУ).

29. Разработана новая методика многоканальной регистрации быстрой спектральной динамики примесных одиночных молекул в твердотельных средах, позволившая впервые наблюдать с миллисекундным разрешением временную эволюцию спектров таких молекул в ряде органических низкомолекулярных стекол в диапазоне температур 1.6-30 К. Обнаружено, что наблюдаемые хаотические изменения частоты электронных переходов в примесных молекулах не могут быть описаны в рамках существующих моделей низкотемпературной динамики неупорядоченных твердотельных сред (д.ф.-м.н. Ю.Г.Вайнер, к.ф.-м.н. А.В.Наумов совместно с Байройтским университетом, Германия).

30. Реализована уникальная методика изучения элементарных электронных процессов в органических полевых микротранзисторах, основанная на использовании примесных флуоресцирующих одиночных молекул в роли чувствительных нанозондов. Изучены микроскопические особенности формирования пространственного заряда в транзисторе. Измерены характерные времена движения носителей заряда между ловушками в молекулярном кристалле (к.ф.-м.н. М.А.Кольченко совместно с Лейденским университетом, Нидерланды).

31. С помощью первопринципного расчета (квантовым методом Монте Карло) доказано существование новой, кристаллической фазы в дипольной системе бозонов (атомов, либо дипольных экситонов). Доказано существование предсказанной Андреевым и Лифшицем фазы суперсолида, в которой кристаллические свойства сосуществуют со сверхтекучестью, для мезоскопических кулоновской и дипольных систем бозонов. Рассчитана критическая плотность перехода. В газовой фазе при больших плотностях обнаружены сильное истощение бозе-конденсата взаимодействием (до 1 %), высокий горб на структурном факторе (свидетельствующий о ближнем порядке) и глубокий ротонный минимум в спектре возбуждений (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик).

32. Предсказано вызванное кулоновским притяжением спаривание электронов и дырок в двух разделенных барьером параллельных слоях графена, в которых управляющими электродами или независимым допированием созданы равные концентрации электронов и дырок. Решена задача о БКШ-подобном состоянии конденсата пар электронов и дырок, являющихся в графене безмассовыми дираковскими фермионами. Проанализировано влияние на спаривание топологической фазы Берри волновых функций электронов и дырок в графене. В графене, в отличие от обычных полупроводников (в отсутствии магнитного поля), не существуют локализованные электрон-дырочные пары, поэтому поведение

системы кардинально отличается от обычного кроссовера при изменении силы связи от режима БКШ к режиму бозе-конденсации пар. Возникновение конденсации может быть обнаружено экспериментально в виде резкого усиления эффекта кулоновского увлечения (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик).

33. Впервые рассчитаны магнитоэкситоны в графене и в бислое графена. В графене электроны вблизи поверхности Ферми обладают линейной дисперсионной зависимостью и описываются двумерным аналогом уравнения Дирака для безмассовых частиц. Это приводит к тому, что в магнитном поле образуются релятивистские уровни Ландау. Как и в квазидвумерном электронном газе, одночастичные возбуждения с таких уровней могут приводить к образованию магнитоэкситонов. Но в квазидвумерном электронном газе по мере увеличения напряженности магнитного поля расстояние между уровнями Ландау возрастает быстрее, чем характерная энергия кулоновского взаимодействия, смешивающего различные уровни Ландау. По этой причине в асимптотически сильных магнитных полях кулоновское взаимодействие можно считать малым возмущением по отношению к кинетической энергии. В графене же отношение характерных величин кулоновской и кинетической энергии не зависит от напряженности магнитного поля, а определяется только диэлектрической проницаемостью окружающей среды. Поэтому в настоящей работе рассматриваются соотношения для асимптотически большой диэлектрической проницаемости. В работе проводится выделение движения центра масс магнитоэкситона и определяется общий вид его четырехкомпонентной волновой функции. Аналитически и численно находятся дисперсионные зависимости магнитоэкситонов в различных состояниях орбитального движения электрона и дырки. То же самое проводится для пространственно разделенных магнитоэкситонов при различных расстояниях между слоями. Получены аналитические выражения и численные оценки для эффективных масс магнитоэкситона в разных состояниях орбитального движения. Наряду со случаями целочисленного заполнения уровней Ландау, рассматриваются случаи, в которых верхний уровень Ландау заполнен частично и является спин-поляризованным из-за спинового расщепления. Исследуется влияние на дисперсионные зависимости обменного электрон-дырочного взаимодействия и собственных энергий электрона и дырки. С учетом собственных энергий рассчитываются энергии фотонов, испускаемых при рекомбинации электрона и дырки (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик).

34. Предсказан режим сильной корреляции двумерной системы дипольных экситонов, приводящий к появлению ротонного минимума в спектре возбуждений и к появлению нескольких максимумов в статическом структурном факторе системы (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, И.В.Курбаков).

35. Построена последовательная теория перехода системы экситонных поляритонов в сверхтекучее состояние. В рамках теории линейного отклика найдена зависимость сверхтекучей плотности экситонных поляритонов микрополости от температуры и параметров, определяющих поляритонное расщепление (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик).

36. Предсказана бозе-конденсация экситонных поляритонов микрополости в двумерных ловушках (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик).

37. Предсказано влияние магнитного поля на законы дисперсии, переход Костерлица-Таулеса, сверхтекучесть и бозе-эйнштейновскую конденсацию экситонных поляритонов в микрополости (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик совместно с МИСиС).

38. Предсказана бозе-конденсация и переход Костерлица-Таулеса в сверхтекучее состояние для системы магнитоэкситонов в двухслойном графене в сильном поперечном магнитном поле. Рассмотрены две реализации для последнего случая – магнитоэкситоны, возникшие за счет приложения напряжения к управляющим электродам, либо созданные лазерной накачкой (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик).

39. Найден спектр магнитоплазменных колебаний в графене и в бислое графена (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик).

40. Предсказана возможность управления спектральными свойствами трёхмерного фотонного кристалла, содержащего сверхпроводящий материал, изменением температуры и магнитных полей. Зависимость диэлектрической проницаемости сверхпроводника от температуры описывалась в рамках модели Казимира-Гортера (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик*).

41. Предсказана новая геометрическая (топологическая) фаза Берри в круговых квантовых точках с нечетным числом электронов. Поскольку эта фаза оказывается равной π , то собственные значения орбитальных моментов в системе получаются полуцелыми. Ненулевое значение фазы Берри возникает при аксиальной симметрии и двумерности системы, а ее величина π вытекает из принципа Паули. Определены все свойства трехэлектронных квантовых точек. С помощью непертурбативного по межэлектронному взаимодействию метода - разложения по безразмерному квантовому параметру Q , характеризующему отклонение от сильно-коррелированного (“кристаллизованного”) состояния электронов, но справедливого с хорошей точностью даже при Q порядка единицы. Этот подход применен для анализа перестроек и пересечения уровней в квантовой точке в сильных магнитных полях. Наше предсказание относительно новой фазы Берри и полуцелых орбитальных моментов хорошо согласуется с экспериментальными результатами, связанными с поведением квантовых точек в сильных магнитных полях (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик совместно с МИФИ*).

42. Методом диффузионного Монте-Карло рассчитана двумерная система диполей в ловушке. Найдено распределение частиц в ловушке и их энергия. В системе обнаружена бозе-конденсация в мезоскопическом квантовом кристаллическом кластере, т.е. предсказана фаза мезоскопического суперсолида в мезоскопической системе. При достаточно большом дипольном моменте d в радиальном распределении проявляется оболочечная структура. Для конденсата было обнаружено несколько эффектов. Во-первых, это эффект вымывания конденсата – снижение доли частиц в конденсате при росте взаимодействия. Во-вторых – эффект вытеснения конденсата к краям ловушки. Так, при отсутствии взаимодействия, конденсат практически полностью сосредоточен в центре ловушки, а при d равном 30, конденсат смещен к краям распределения. При достаточно сильном взаимодействии в пространственной структуре конденсата начинает проявляться оболочечная структура распределения частиц (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик*).

43. Предложена новая концепция электромеханического нанотермометра, основанного на относительном движении компонентов наносистем – двухслойных нанотрубок. Нанотермометр может применяться для точных измерений в пространственно локализованных областях размером в несколько сотен нанометров (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, А.М.Попов*).

44. Предложена концепция наноактуатора, основанного на углеродной нанотрубке и предназначенного для преобразования поступательной силы, направленной вдоль оси нанотрубки, в относительное вращение слоев (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, А.М.Попов*).

45. Предложены принципиальные схемы нанореле, основанных на относительном движении слоев углеродных нанотрубок. На основе расчетов из первых принципов, а также полуэмпирических расчетов доказана возможность использования данного нанореле в качестве ячеек оперативной памяти (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, А.М.Попов*).

46. Предложен ряд наноэлектромеханических систем (НЭМС), основанных на относительном движении слоев углеродных нанотрубок, которые могут быть использованы в медицинских нанороботах. Этот ряд включает электромеханический нанотермометр, реактивный нанодвигатель, наношприц, последний одновременно может применяться как нанозонд для исследования индивидуальных биологических молекул и как устройство для доставки лекарств (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, А.М.Попов*).

47. Предложен новый способ управления движением НЭМС, основанных на нанотрубках, а именно: в результате химической адсорбции атомов или молекул на открытых концах однослойной нанотрубки последняя приобретает электрический дипольный момент. Этот диполь может быть приведен в движение с помощью

неоднородного электрического поля. Впервые рассчитаны электрические дипольные моменты химически модифицированных нанотрубок. Возможность предложенного способа управления движением НЭМС на основе нанотрубок показана на примере гигагерцового осциллятора. Рассчитаны рабочие характеристики такого осциллятора и управляющего поля (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, А.М.Попов).

48. Методом молекулярной динамики проведено моделирование свободных и управляемых колебаний гигагерцового осциллятора на основе двуслойной углеродной нанотрубки. Проанализировано влияние температуры и размерных характеристик на добротность осциллятора. На примере флуктуаций добротности осциллятора рассмотрено влияние термодинамических флуктуаций на управление движением НЭМС (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, А.М.Попов).

49. Методом молекулярных орбиталей рассчитано изменение структуры углеродной нанотрубки (5,5) при ее растяжении. Обнаружено, что основное состояние нерастянутой нанотрубки является диэлектрическим (фаза А) в результате пайерлсовского нарушения симметрии структуры нанотрубки. Фаза А имеет тройной трансляционный период по сравнению с металлической фазой С. Обнаружено два структурных фазовых перехода первого порядка. При удлинении на 5 % фаза А переходит в диэлектрическую фазу В, а при удлинении на 13 % фаза В переходит в металлическую фазу С. Обнаружены также метастабильные состояния для фаз А и В (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, А.М.Попов).

50. С помощью метода молекулярных орбиталей и с использованием полуэмпирических потенциалов исследованы системы из фуллерена внутри нанотрубки $C_{20}@ (8,8)$. Обнаружено, что изменение структуры нанотрубки в результате структурного фазового перехода типа Пайлерса, который происходит при увеличении температуры, приводит к скачку коэффициента диффузии фуллерена вдоль оси нанотрубки (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, А.М.Попов).

51. С помощью моделирования диффузионным квантовым методом Монте-Карло изучено основное состояние двумерной однородной системы диполей при низких плотностях. Рассчитаны энергия основного состояния, плотность бозе-конденсата, парное распределение и структурный фактор, а для гармонической ловушки - частота дыхательной моды. Показано, что даже для крайне низких плотностей все эти характеристики заметно отличаются от предсказаний теории среднего поля, т.е. последняя к двумерным системам неприменима (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, И.В.Курбаков).

52. Исследована сверхтекучесть двумерных экситонов в ловушках. Для экситонов в плоской ловушке рассчитаны сверхтекучая плотность, температура и ширина сверхтекучего перехода (кроссовера). Для описания состояния бозе-газа в большой гармонической ловушке разработан новый подход - обобщенное приближение локальной плотности, которое учитывает эффекты конечности системы. Рассчитаны профили сверхтекучей плотности, радиус сверхтекучего круга в центре ловушки, доли сверхтекучей и нормальной компонент, а также температура и ширина сверхтекучего кроссовера (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, И.В.Курбаков).

53. С помощью первопринципного моделирования диффузионным методом Монте-Карло и аналитических вычислений исследована однородная конечная система двумерных дипольных экситонов (ДДЭ) в связанных или одиночной квантовых ямах. Рассчитана энергия основного состояния, химический потенциал, адиабатическая сжимаемость, плотность бозе-конденсата при нулевой температуре, одночастичная матрица плотности, парное распределение, структурный фактор, скорость звука, спектр возбуждений, температурная зависимость локальной сверхтекучей плотности, температуры перехода (кроссовера) для квазиконденсации и перехода Костерлица-Таулеса (для бесконечной системы), а для гармонической ловушки рассчитаны профили полной плотности и плотности бозе-конденсата при нулевой температуре. Доказано, что во всех по настоящее время экспериментах со связанными квантовыми ямами ДДЭ представляют собой сильно коррелированную систему. Рассчитанные микроскопические параметры задачи

использованы для исследования бозе-конденсации, сверхтекучести, люминесценции и нелинейных эффектов в сильно коррелированных экситонных системах с помощью квантово-полевой гидродинамики. Показано, что эффекты сильных корреляций ДДЭ могут быть экспериментально обнаружены в измерениях спектрально-угловой люминесценции экситонов в продольном магнитном поле (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, И.В.Курбаков*).

54. Предсказан квантовый фазовый переход с образованием кристалла из дырок в двухслойной электронно-дырочной системе, управляемый отношением эффективных масс дырки к массе электрона. Фазовый переход происходит при критическом значении отношения эффективных масс, зависящем от расстояния между электронным и дырочными слоями. Эта зависимость вычислена с помощью квантового метода Монте Карло интегрирования по траекториям (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик*).

55. Предсказан режим сильной корреляции дипольных экситонов, приводящий к появлению ротонного минимума в спектре возбуждений экситонной системы и к появлению нескольких максимумов в статическом структурном факторе системы (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, И.В.Курбаков*).

56. Исследована квантовая кристаллизация дипольных экситонов в одиночной квантовой яме с поперечным электрическим полем, индуцирующим дипольные моменты и бозе-конденсация экситонных поляритонов микрополости в двумерных ловушках (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик*).

57. Предсказано образование мезоскопического суперсолида в системе заряженных бозонов в ловушке. Квантовым методом Монте Карло интегрирования по траектории обнаружено, что в области безразмерного квантового параметра (зависящего от крутизны удерживающего потенциала) меньше некоторого критического значения происходит образование мезоскопического квантового кристалла, сосуществующего со сверхтекучестью (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, А.В.Филинов*).

58. В рамках спинтроники решена задача о температурных и квантовых флуктуациях магнитного управляющего электрода. Рассчитаны флуктуации числа электронов в наноэлектроде, его полного спина и его проекции на легкую ось как функции температуры, напряжения на электроде и внешнего магнитного поля (*к.ф.-м.н. И.В.Овчинников*).

59. Экспериментально, теоретически и с помощью компьютерного моделирования обнаружено усиление фотолюминесценции в системе полупроводниковых частиц из двуокиси титана, на которые нанесены наночастицы серебра или палладия (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик совместно с Институтом химической физики*).

60. Исследованы два типа металло-диэлектрических фотонных кристаллов: периодическая система металлических шариков в диэлектрической пластине и металлические шарики в центрах сферических полостей обратного диэлектрического опала. Показано, что спектр поглощения фотонного кристалла первого типа, содержащего относительно маленькие металлические элементы (1 % металла), полностью определяется спектром пропускания диэлектрической пластины, то есть резонансами Фабри-Перо, а спектр поглощения фотонного кристалла второго типа - зонной структурой обратного диэлектрического опала. Проведен анализ перестройки распределения интенсивности электрического поля внутри фотонного кристалла на фиксированной длине волны при изменении структуры фотонного кристалла от первого типа ко второму. Показано, что максимумам поглощения соответствует распределение поля, при котором максимумы интенсивности лежат на металлических шариках, а минимумам - когда интенсивность поля максимальна в пространстве между металлическими шариками. Такое поведение поля в сравнении со спектром поглощения является аналогом эффекта Бормана, известного в спектроскопии рентгеновских лучей. Показано также, что наличие сферических полостей вокруг металлических шариков в фотонном кристалле может увеличить поглощение на заданной длине волны за счет «фокусировки» поля внутри полостей (*к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик*).

61. Найдено точное аналитическое решение для динамического эффекта Казимира (рождения фотонов в оптической полости при движении ее границ) для одномерной задачи и

раномерного движения границ в конечном интервале. Предсказаны квантовые интерференционные эффекты при параметрической генерации фотонов (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик).

ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

1. Экспериментально реализован оптический нановолновод, обеспечивающий с единичным инжектируемым в волновод фотоном сильное поверхностное световое поле. Исследовано взаимодействие лазерного нанополя оптического волновода с ансамблем ультра холодных атомов. Используя спектроскопию высокого разрешения измерены светоиндуцированные силы действующие на атом, ван дер Ваальское взаимодействие и обнаружена значительная модификация скорости спонтанного излучения атома вблизи нановолновода. Продемонстрирована эффективная связь поля излучения атома с модой оптического нановолновода (д.ф.-м.н. В.И.Балыкин, к.ф.-м.н. П.Н.Мелентьев).

2. Осуществлено первое наблюдение одиночных молекул (на примере CdSe нанокристалла) методом оптической сканирующей микроскопии ближнего поля с флуоресцентной резонансной передачей энергии возбуждения от наблюдаемого CdSe нанокристалла к флуоресцирующей молекуле нанозонда с пространственным разрешением 10 нм (д.ф.-м.н. В.С.Летохов, Д.В.Серебряков, И.В.Морозов совместно с С.К.Секацким, Лозанский Университет, Швейцария).

3. Исследована фокусировка атомного пучка френелевской атомной микролинзой, образованной оптическим полем дифрагированным на отверстии, размер которого превышает длину волны излучения. Показано, что действие дипольной градиентной силы позволяет сфокусировать атомный пучок в пятно размером 10-100 нм. Анализ фокусирующих свойств атомной микролинзы дан в модели, описывающей дипольное взаимодействие атомов рубидия с монохроматическим излучением вблизи D линии (д.ф.-м.н. В.И.Балыкин, д.ф.-м.н. В.Г.Миногоин).

4. Построена общая теория излучения киральных молекул вблизи наноструктур. Найдено, что резонансные наночастицы существенно влияют на вероятность излучения киральными молекулами за счет конструктивной и деструктивной интерференции электрического и магнитного полей. Предсказанный эффект можно использовать в оптической наноскопии и детектировании киральных молекул. Результаты работы представлены на Международной конференции по киральным молекулам (Испания, Барселона, сентябрь, 2007 г.) (д.ф.-м.н. В.С.Летохов совместно с ФИАН).

5. Исследованы корреляционные свойства излучения возбужденного атома вблизи микрорезонатора, содержащего один фотон. Изучено излучение связанных таким образом фотонов на макроскопических расстояниях (д.ф.-м.н. В.С.Летохов совместно с ФИАН и Университетом Париж-Норд, Франция).

6. Опубликован обзор по проблеме «Астрофизические лазеры и нелинейные оптические эффекты в космосе» (д.ф.-м.н. В.С.Летохов совместно с Институтом астрономии Лундского Университета).

7. Опубликована монография «Лазерное управление атомами и молекулами» (д.ф.-м.н. В.С.Летохов, Оксфорд Юниверсити Пресс).

8. Выполнены прямые исследования динамики внутримолекулярного перераспределения колебательной энергии (IVR) из первоначально возбуждаемого колебания ацетиленовой связи (мода ν_1) в молекуле пропина $\text{H-C}\equiv\text{C-CH}_3$ и трех его производных при замещении одного из атомов водорода метильной группы на атом хлора (пропаргилхлорид), на радикал OH (пропаргиловый спирт) и на радикал NH_2 (пропаргиламин). Зондирование исследуемого колебания осуществлялось с использованием спектроскопии антистоксова комбинационного рассеяния света с пикосекундным разрешением. Измеренные значения скорости IVR из моды ν_1 лежат в диапазоне 10^9 - 10^{10} с⁻¹. Существенная особенность динамики - неполное перераспределение энергии из моды ν_1 ,

особенно отчетливо проявляющееся в молекулах $\text{H-C}\equiv\text{C-CH}_3$ и $\text{H-C}\equiv\text{C-CH}_2\text{Cl}$, где относительный уровень остаточной энергии в моде ν_1 составляет приблизительно 0.54 и 0.25, соответственно. Проведенный теоретический анализ показал, что полученные данные для исследованных молекул могут быть объяснены только эффектом сильного колебательно-вращательного перемешивания «состояний бани», в результате которого проекция полного углового момента на ось молекулы перестает быть «хорошим» квантовым числом (к.ф.-м.н. А.Л.Малиновский, д.ф.-м.н. А.А.Макаров, д.ф.-м.н. Е.А.Рябов).

9. Выполнены эксперименты по ИК многофотонной диссоциации ряда молекул при воздействии на C=O колебание фемтосекундным излучением. Зарегистрирована диссоциация молекул металлокарбониллов Fe(CO)_5 , Cr(CO)_6 с минимальной энергией разрыва связи $D_0 = 12300\text{-}14000 \text{ см}^{-1}$. Диссоциации более стойких молекул со значением $D_0 \geq 19000 \text{ см}^{-1}$ зарегистрировать не удалось. Предложено объяснение полученных результатов. Подготовлена аппаратура и выполнены модельные эксперименты для исследования динамики ИК МФ возбуждения молекул в реальном времени на основе техники «накачка-зондирование» фемтосекундным ИК излучением (к.ф.-м.н. В.М.Апатин, к.ф.-м.н. В.Б.Лантев, к.ф.-м.н. С.В.Пигульский, д.ф.-м.н. Е.А.Рябов, В.О.Компанец, д.ф.-м.н. С.В.Чекалин).

10. В рамках изучения фотохимии молекулярных кластеров $(\text{CF}_3\text{I})_n$ обнаружен эффект ионизации атомов йода и молекул CF_3I излучением XeCl -лазера (308 нм) с образованием иона I^+ . Выполненные исследования позволили определить механизм этого эффекта. Показано, что ионизация атомов йода излучением XeCl лазера с неселективным резонатором происходит в результате трехфотонного (2+1) REMPI процесса, который обусловлен наличием случайного двухфотонного резонанса различных спектральных компонент излучения лазера с соответствующими промежуточными возбужденными состояниями атомов йода. Показано, что вероятность ионизации атомов из основного состояния $\text{I}(^2\text{P}_{3/2})$ более чем на два порядка превышает вероятность ионизации из метастабильного состояния $\text{I}^*(^2\text{P}_{1/2})$. Ионизация молекул CF_3I излучением XeCl -лазера происходит в результате 4-х фотонного процесса с предварительной однофотонной диссоциацией этих молекул и последующей (2+1) REMPI образовавшихся нейтральных атомов йода (В.Н.Лохман, Д.Д.Огурок, д.ф.-м.н. Е.А.Рябов).

11. Проведены исследования возможности лазерного разделения изотопов азота ^{15}N и ^{14}N на основе изотопически селективной ИК+УФ фотодиссоциации молекул аммиака. Измерены основные параметры элементарного акта разделения и их зависимости от условий возбуждения, давления и изотопного состава газа. Выявлены основные механизмы, определяющие величину селективности процесса. Полученные данные подтверждают возможность создания крупномасштабного процесса лазерного разделения изотопов азота методом двухступенчатой ИК+УФ фотодиссоциации молекул аммиака с использованием на ступени ИК возбуждения CO_2 -лазера, а на ступени УФ диссоциации KrCl -лазера. Для реализации высокой степени конечного обогащения азота ^{15}N целесообразно использовать комбинацию лазерного и классических методов разделения (к.ф.-м.н. В.М.Апатин, к.ф.-м.н. В.Б.Лантев, В.Н.Лохман, Д.Д.Огурок, к.ф.-м.н. С.В.Пигульский, д.ф.-м.н. Е.А.Рябов совместно с Отделом спектроскопии твердого тела).

12. Разработан метод исследования кластеризации атомов (молекул) в импульсной газодинамической струе. Метод основан на измерении времяпролетных спектров молекул в струе (в молекулярном пучке) с помощью неохлаждаемого пироэлектрического приемника, имеющего временное разрешение около 3-5 мкс. Изучены особенности детектирования молекулярных (кластерных) пучков с помощью такого приемника. Исследована кластеризация ряда газов (He , Ar , Xe , CO_2 , CH_4) при газодинамическом расширении на выходе из сопла. Определены пороги кластеризации указанных атомов и молекул в зависимости от давления газа над соплом. Полученные результаты позволяют находить оптимальные условия для генерации интенсивных кластерных пучков (д.ф.-м.н. Г.Н.Макаров совместно с ТРИНИТИ).

13. Сделан анализ и проведена систематизация результатов недавних исследований по физике кластеров. На основе выполненной работы подготовлен и направлен в печать обзор в УФН (д.ф.-м.н. Г.Н.Макаров).

14. Запущена одноканальная система регистрации разностных спектров в ИК области спектра с фемтосекундным разрешением и проведены пробные измерения по методике «возбуждение-зондирование». Спектральный диапазон измерений 3-10 мкм. Чувствительность регистрации разностных спектров 10^{-4} . Временной диапазон измерений от 10 фс до 2 пс (В.О.Компанец, к.ф.-м.н. С.В.Пигульский).

15. Запущена одноканальная система регистрации разностных спектров в видимом спектральном диапазоне с фемтосекундным разрешением, основанная на методике «возбуждение-зондирование». Спектральный диапазон измерений 400-2000 нм. Для зондирования используются импульсы однофиламентного фемтосекундного суперконтинуума. Чувствительность регистрации разностных спектров 10^{-5} . Временной диапазон измерений от 8 фс до 100 пс (В.О.Компанец, А.А.Мельников).

16. При облучении 10 нм плёнки золота специальной геометрии импульсами с длиной волны 800 нм и длительностью 38 фс получен пучок фотоэлектронов, содержащий компоненту с длительностью менее 100 фс. Ультракороткая компонента фотоэлектронного пучка образована за счёт действия пондемоторного потенциала и может быть выделена при приложении статического электрического поля (к.ф.-м.н. С.А.Асеев, Б.М.Мионов).

17. Обнаружена трансформация спектра фемтосекундного лазерного импульса, связанная с высокоэффективной генерацией терагерцового излучения в кристалле LiNbO_3 . Предложен новый метод определения коэффициента преобразования энергии генерируемых ТГц импульсов, основанный на анализе наблюдавшихся изменений спектра фемтосекундных лазерных импульсов. Рассчитанный этим методом квантовый коэффициент преобразования оказывается не менее 140%, что явно указывает на каскадный характер высокоэффективной генерации ТГц излучения в LiNbO_3 (к.ф.-м.н. А.Г.Степанов).

18. Методом широкополосного фемтосекундного возбуждения-зондирования исследованы особенности релаксации возбужденных носителей заряда в растворах и пленках проводящих полимеров (интерполимерного комплекса полианилина и поли-2-акриламидо-2-метил-1-пропан-сульфоновой кислоты). Установлено, что наблюдаемые спектральные изменения в пикосекундном временном диапазоне обусловлены в основном донорно-акцепторными взаимодействиями предельно окисленных и предельно восстановленных участков полианилиновой цепи (д.ф.-м.н. С.В.Чекалин, А.А.Мельников совместно с ИФХ РАН).

19. Методом широкополосного фемтосекундного возбуждения-зондирования исследована динамика разностных спектров отражения монокристаллов висмута и теллура при возбуждении фемтосекундным лазерным импульсом на 800 нм и 400 нм. Обнаружена зависимость наблюдаемой в эксперименте амплитуды когерентных фононов от длины волны зондирующих импульсов (В.О.Компанец, д.ф.-м.н. С.В.Чекалин, к.ф.-м.н. А.Г.Степанов совместно с ИФТТ РАН).

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

1. Определены основные источники погрешности дистанционного измерения температуры в зоне горения двигателя внутреннего сгорания (температура порядка 1300 К). Показано, что использование линий поглощения кислорода не обеспечивает необходимой точности. Теоретически показана возможность использования интенсивных линий поглощения воды в узких ($\sim 1 \text{ см}^{-1}$) диапазонах вблизи длин волн 1,391 мкм и 1,411 мкм. Близость аналитических линий внутри диапазонов позволяет производить измерение их относительных интенсивностей с использованием одного перестраиваемого полупроводникового лазера (д.ф.-м.н. М.А.Большов, к.ф.-м.н. Ю.А.Курицын, к.ф.-м.н. В.В.Лигер, к.ф.-м.н. В.Р.Мироненко).

2. С использованием формализма множественного регрессионного анализа разработан способ учета влияния дисперсности и температуры на калибровочные модели для измерения размеров дисперсной фазы многокомпонентных сильно рассеивающих органических смесей (белок в молоке, смесь бензин-спирт-вода) методом спектрометрии в ближней инфракрасной области и лазерно-корреляционной спектроскопии (к.ф.-м.н. А.В.Калинин совместно с отделом молекулярной спектроскопии, к.ф.-м.н. А.В.Потапов, В.Н.Крашенинников и лабораторией экспериментальных методов спектроскопии, к.ф.-м.н. Е.Б.Перминов).

3. Разработан способ исключения влияния неконтролируемой температуры образцов на калибровку спектрометра диффузного рассеяния БИКАН-СР для анализа влажности органических порошков (пищевых и фармацевтических) с применением в качестве вторичного стандарта термогравиметрического анализатора влажности МА-35, АО «Сарториус», Германия (к.ф.-м.н. А.В.Калинин, студент МФТИ С.В.Садовский).

4. На эталонах ГЕОХИ РАН и ИГЕМ РАН построены градуировочные кривые для измерения содержания W и Mo в почвах и для прямого измерения платиноидов в различных типах руд с использованием дугового двухструйного плазмотрона (ДДП). Исследованы факторы, ухудшающие точность концентрационных определений указанных элементов. Определены возможности исследования концентраций основных породообразующих элементов с использованием ДДП (к.т.н. Э.Г.Силькис).

СПЕКТРАЛЬНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

1. Изготовлена механика компонентов быстродействующего двухосевого сканатора и произведена их сборка. Проработано согласование быстродействующего сканатора с регулятором фазоамплитудного типа и произведена предварительная его настройка. Проработана структура демонстрационной установки быстродействующего двухосевого сканатора. Быстродействующий привод позиционного управления дифракционной решетки позволит осуществить сканирование спектрального прибора за значительно меньшее время при равной величине искажения спектральной линии шумами и динамическими параметрами системы регистрации (с.н.с. Иг.Н.Нестерук, вед.констр. Ир.Н.Нестерук).

2. Разработана новая скоростная система регистрации на ПЗС ($N=1\div 24$) с внутренней памятью на 140 кадров для задач сцинтилляционной эмиссионной спектроскопии. Разработано аналитическое программное обеспечение для эмиссионной спектроскопии под операционные системы WINDOWS XP и WINDOWS VISTA и драйверы под шину USB, по которой осуществляется связь между электроникой системы регистрации и компьютером (к.т.н. Э.Г.Силькис).

3. Совместно с НПО «Тайфун» создан лазерно-искровой спектрометр с регистрацией спектра в диапазоне одновременно 196–900 нм (к.т.н. Э.Г.Силькис).

4. Для области спектра $0,9\div 1,7$ мкм разработана более совершенная система многоканальной регистрации на ПЗС фирмы Хамаматы, с программным обеспечением под WINDOWS XP, с шиной USB вместо шины PCI, с пониженным уровнем шумов и наводок (к.т.н. Э.Г.Силькис).

5. Для варианта дихрометра с вертикальным ходом луча (СКД-3) выбрана оригинальная оптическая схема с единым выходным узлом, состоящим из призмы-поляризатора, модулятора и диафрагмы. Узел объединяет в себе функции выделения линейной поляризации, получения круговой поляризации, изменяющей направление вращения поляризации с частотой 50 кГц, и выделения нужного спектрального диапазона. Узел опробован на макете прибора, проверена его работоспособность по сигналу КД от стандартного калибровочного раствора (с.н.с. С.Ф.Кольяков).

6. Разработаны и изготовлены два варианта корпуса осветителя портативных дихрометров СКД-2М и СКД-3 на основе широкополосной ксеноновой лампы L2273 фирмы НАМАМАТСУ мощностью 150 ватт и исследованы температурные режимы лампы внутри каждого из них. Найден оптимальный температурный режим работы ламп практически без

образования озона, что повышает выход УФ-излучения вблизи 200 нм приблизительно в 2 раза. Конструкция макетов предусматривает также возможность герметизации лампы и заполнения домика азотом, что еще более уменьшает поглощение света в ультрафиолетовой части спектра и исключает образование озона (с.н.с. В.М.Гусев, вед.констр. М.А.Павлов).

7. Разработан, изготовлен и испытан в составе монохроматора дихрометров СКД-2М и СКД-3 технологичный шаговый привод поворота дифракционной решетки на основе поворотного устройства 8MR174 фирмы «Standa». Для управления приводом изготовлен контроллер, выполненный на базе микроконтроллера PIC16F877 и микросхемы драйвера шагового двигателя A3977 фирмы Allegro MicroSystems, и разработано программное обеспечение к нему, обеспечивающее выполнение команд на инициализацию, ускоренное перемещение дифракционной решетки в заданную позицию, равномерное перемещение в заданном диапазоне и т.д. Связь с ведущим контроллером дихрометра осуществляется по интерфейсу I2C. Получены следующие характеристики устройства: разрешение не хуже 0,02 нм, время перестройки длины волны на 30 нм - не более 2 секунд, что соответствует требованиям, предъявляемым к поворотному устройству в составе дихрометра (вед.констр. М.А.Павлов).

8. В результате испытаний нескольких макетов фотоэластического модулятора круговой поляризации излучения для дихрометра СКД-2М выбран наиболее надежный вариант крепления кварцевого блока в корпусе модулятора, приводящий к небольшому снижению добротности, но резко стабилизовавший поведение «базовой линии». Разработана, изготовлена и испытана схема управления модулятором со стабилизацией рабочего тока, обеспечившая более высокую по сравнению с используемой ранее стабильность характеристик модулятора и устойчивость к внешним механическим воздействиям (вибрации, удары, акустические шумы и т.д.) (с.н.с. В.М.Гусев, вед.констр. М.А.Павлов).

9. Разработан и испытан в дихрометре СКД-2М усовершенствованный узел термостатируемой ячейки, позволивший снизить вклад в сигнал КД из-за напряжений, возникающих в материале кюветы (кварц УФ-1) при её установке в прибор, не менее чем в 5 раз и достичь различия показания термодатчика кюветного отсека и погруженного в кювету термометра не более 0,5 °С. Применение широтно-импульсного регулятора для регулирования мощности, подводимой к элементам Пельтье, позволило существенно уменьшить габариты и повысить к.п.д. устройства. В качестве датчиков температуры использованы микросхемы DS1624, имеющие стандартный цифровой интерфейс I2C и обеспечивающие измерение температуры объекта с разрешением 0,033 °С. Микропроцессорный контроллер обеспечивает все необходимые функции регулятора температуры. Точность поддержания температуры жидкой пробы в кювете составляет величину 0,5 °С, время выхода на заданную температуру с такой точностью - не более 10 минут во всем диапазоне рабочих температур 5÷95 °С (с.н.с. В.М.Гусев, вед.констр. М.А.Павлов).

10. Проведены необходимые расчеты, выполнены экспериментальные исследования, разработаны принципиальные схемы, эскизы, изготовлен, запущен и испытан экспериментальный образец полифункционального портативного дихрометра с вертикальным ходом луча СКД-3, разработано программное обеспечение его работы. Дихрометр обеспечивает рабочий диапазон 220-800 нм и минимальный детектируемый сигнал кругового дихроизма ($\Delta A/A$) не хуже $5 \cdot 10^{-6}$.

С помощью биосенсорной системы на основе гелевых ДНК-биодатчиков стабилизированных форм и портативного дихрометра продемонстрирована возможность детектировать наличие и уровень биологически активных и токсичных соединений, «мишенью» которых являются структурные элементы наноконструкций ДНК-биодатчиков. Достигнуты пределы обнаружения указанных соединений ($5 \cdot 10^{-8}$ - $5 \cdot 10^{-7}$ моль), сопоставимые с пределами их определения при помощи классических методов или превышающие их (д.ф.-м.н. О.Н.Компанец, с.н.с. С.Ф.Кольяков, с.н.с. В.М.Гусев, вед.констр. М.А.Павлов, вед.

констр. Н.П.Виноградов совместно с ИМБ РАН).

11. Создан опытный образец микрофотоакустического датчика аммиака с чувствительностью 1 ppт, пригодный для практического применения. Датчик представляет собой автономный прибор, имеющий собственный дисплей и клавиатуру, а также систему записи данных измерений до 200 часов. Кроме этого, прибор может использоваться для поочередного автоматического детектирования до 4 газов (при установке дополнительных кювет с опорными смесями), таких как циановодород, метан, ацетилен, сероводород и т. д.) (Д.В.Серебряков, И.В. Морозов).

12. Смонтированы основные узлы времяпролетного масс-спектрометра для исследования первичных продуктов воздействия фемтосекундного излучения на молекулы и кластеры в газе и на поверхности. Проведены вакуумные испытания. (к.ф.-м.н. В.М.Апатын, В.Н.Лохман, Д.Д.Огурок, д.ф.-м.н. Е.А.Рябов).

13. Создан, испытан и зарегистрирован в Роспатенте как программа ЭВМ комплекс ISCAP для многокомпонентного регрессионного (ПЛС) анализа содержания компонент и физических параметров (температуры, влажности, дисперсности и др.) по спектрам БИК спектрометров (к.ф.-м.н. А.В.Калинин, студент ФТИ С.В.Садовский).

14. Выполнена программа предпромышленных испытаний анализатора показателей качества жидких пищевых продуктов БИКАН-К и спектрометра диффузного рассеяния БИКАН-СР для количественного анализа нанодисперсных систем (к.ф.-м.н. А.В.Калинин, к.ф.-м.н. В.Н.Крашенинников).

15. Разработана методика экспресс-корректировки эмиссионных спектрометров типа «ПАПУАС» при работе в изменяющихся условиях внешней среды. Выявлены характеристики приборов, особенно чувствительные к температурным колебаниям. Создан алгоритм учета сдвига регистрируемого спектра относительно линейных многоэлементных приборов с зарядовой связью. Разработано программное обеспечение для реализации указанного алгоритма (к.т.н. А.М.Лифшиц, к.т.н. Е.В.Горский).

16. Создан лабораторный макет портативного эшелле-спектрометра, предназначенного для измерения длины волны и модового состава перестраиваемых лазерных систем в диапазоне 200-800 нм (В.Н.Крашенинников).

17. Разработан, изготовлен и испытан макет малогабаритного многоканального микроспектрометра для регистрации спектров комбинационного рассеяния. В приборе использованы современные панорамные приемники для регистрации спектра. В качестве источников возбуждения используются диодные лазеры. Спектрометр позволяет одновременно регистрировать участок спектра шириной до 4000 см^{-1} с разрешением $3\text{-}5 \text{ см}^{-1}$ (к.ф.-м.н. А.М.Пындык).

ВАЖНЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ

Лазерная спектроскопия

С целью создания фотонного нанотранзистора экспериментально реализован оптический нановолновод, обеспечивающий сильное световое поле с единичным фотоном. Исследовано взаимодействие однофотонного светового поля нановолновода с единичными атомами на его поверхности. Продемонстрирована эффективная связь поля излучения атома с модой оптического нановолновода. Используя спектроскопию высокого разрешения, измерены действующие на атом светоиндуцированные силы, ван-дер-Ваальсовское взаимодействие и обнаружена значительная модификация скорости спонтанного излучения атома вблизи нановолновода (д.ф.-м.н. В.И.Балыкин, к.ф.-м.н. П.Н.Мелентьев совместно с Токийским университетом, Япония).

Спектроскопия твердого тела

Показано, что излучение ArF-лазера формирует в плавленом кварце шарообразные сгустки электронов диаметром 2 мкм с электрическим полем на их границах 10^7 В/см, близким к полю пробоя $3 \cdot 10^7$ В/см. Границы электронных доменов, находясь в очень напряженном, предпробойном состоянии, становятся слабым местом в цепи межатомных связей, и фотон разрывает их по этим сферам, оставляя основную массу вещества незатронутой. В согласии с теорией, экспериментальный анализ фрагментов показал, что из образца вырезаются излучением калиброванные шары размером 2 ± 0.2 мкм (д.ф.-м.н. Б.П.Антонюк совместно с ЦФП ИОФ РАН).

Теоретическая спектроскопия

1. С помощью компьютерного моделирования квантовым методом Монте Карло для мезоскопических кулоновской и дипольных систем бозонов доказано существование предсказанной А.Ф.Андреевым и И.М.Лифшицем фазы суперсолида, в которой кристаллические свойства сосуществуют со сверхтекучестью. Проанализирована роль эффектов несоизмеримости оболочек в образовании мезоскопического суперсолида. С помощью моделирования квантовым методом Монте Карло предсказано существование новой, кристаллической фазы в протяженной системе дипольных экситонов (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, А.В.Филинов).

2. Предложены новые концепции и рассчитаны рабочие характеристики ряда новых нанозлектромеханических систем (НЭМС), основанных на относительном движении слоев углеродных нанотрубок: нанореле, которое можно использовать в качестве ячеек оперативной и энергонезависимой памяти; нанотермометра для точных измерений температуры в областях размером в несколько сотен нанометров; наноактуатора для преобразования поступательной силы, направленной вдоль оси нанотрубки, в относительное вращение слоев; элементов медицинских нанороботов (нанозондов, НЭМС для доставки лекарств и т.п.). Предложен и детально проанализирован новый способ управления движением НЭМС, базирующийся на химической адсорбции атомов или молекул на открытых концах однослойной нанотрубки, в результате чего она приобретает электрический дипольный момент. Этот диполь может быть приведен в движение с помощью внешнего неоднородного электрического поля. Изучено влияние термодинамических флуктуаций на управление движением НЭМС (к.ф.-м.н. Ю.Е.Лозовик, к.ф.-м.н. А.М.Попов).

Спектральное приборостроение

Разработан, изготовлен и испытан экспериментальный образец нового полифункционального портативного дихрометра с вертикальным ходом луча СКД-3 с рабочим диапазоном 230-800 нм и минимальным детектируемым сигналом кругового дихроизма ($\Delta A/A$) не хуже $5 \cdot 10^{-6}$. На основе дихрометра и гелевых ДНК-биодатчиков стабилизированных форм создана портативная биосенсорная система для высокочувствительного экспресс-анализа жидкостей практически без дополнительной пробоподготовки на определение в них присутствия и концентрации биологически активных и токсичных соединений (д.ф.-м.н. О.Н.Компанец совместно с ИМБ РАН).

НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В 2007 году вышли в печати 128 научных работ сотрудников Института (31 - в российских журналах и 97 - в зарубежных), выпущена одна монография в зарубежном издательстве, защищены две кандидатские диссертации. Кроме того, в сборниках докладов различных конференций опубликовано более 40 докладов сотрудников Института.

Поддерживаются 4 патента на изобретения в России и 3 патента – за рубежом.

Регулярно работал общеинститутский семинар (в 2007 г. проведено 6 заседаний), работали также семинары отделов и лабораторий.

Деятельность Ученого совета

В 2007 г. было проведено 6 заседаний совета. На его заседаниях были рассмотрены вопросы следующего характера:

1. Направления научных исследований Института, отделов и лабораторий, финансовая политика, утверждение плана и отчета Института, итоги конкурса научных работ.
2. Организация работ по совершенствованию сети и структуры институтов РАН, кадровые вопросы и проведение конкурсов на замещение вакантных должностей.

Деятельность Научного совета РАН по спектроскопии атомов и молекул

Состоялось два заседания Совета (18 мая и 25 декабря). На расширенном заседании Совета (25 декабря) обсуждались план работы Совета на 2008 г. и важнейшие достижения в области спектроскопии за 2007 г.

Основным мероприятием Совета в 2007 г. было проведение (совместно с Институтом спектроскопии РАН) очередной XVIII Конференции по фундаментальной атомной спектроскопии (Звенигород, Московская обл., 22-26 октября 2007).

На конференции приняли участие 112 человек. Программа конференции включала 51 устный и 44 стендовых доклада.

Совместно с Институтом геохимии СО РАН в г.Иркутске 9-13 июля 2007 года проведен XIII международный симпозиум по спектроскопии кристаллов активированных ионами редкоземельных и переходных металлов.

Основными темами симпозиума являлись: d- и f-ионы в диэлектриках и полупроводниках, перенос энергии, электрон-фононное взаимодействие, динамика и релаксация возбужденных состояний, явления переноса заряда и упорядочивание зарядов, кооперативные процессы, когерентные явления, оптически-микроволновая спектроскопия, магниторезонансная спектроскопия, спектроскопия нанокристаллов, нелинейная спектроскопия, твердотельные лазеры, сцинтилляторы, люминофоры, кристаллохимические аспекты получения новых материалов.

Во время работы симпозиума было сделано 13 приглашенных докладов, 40 – устных и 85 - стендовых.

В работе симпозиума приняли участие представители разных стран: Россия - 72, Франция – 6, Эстония – 5, Германия – 3, Польша – 2, США – 2, Италия -1 , Латвия -1, Беларусь – 1, Казахстан -1.

20 марта и 31 октября совместно с Отделом ДЛС Института общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Физическим институтом им. П.Н.Лебедева РАН, Научным центром волоконной оптики РАН и Институтом спектроскопии РАН проведены Общероссийские семинары по диодной лазерной спектроскопии (ДЛС).

Ежемесячно проводились Московские семинары по физике и спектроскопии лазерных кристаллов (совместно с Научными советами РАН “Люминесценция” и “Оптика и лазерная физика”, Институтом кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН, Объединенной открытой лабораторией “Лазерные кристаллы и прецизионные лазерные системы”).

Создана веб-страница Совета: <http://sites.lebedev.ru/sam/>.

Учебно-исследовательская лаборатория экспериментальных методов спектроскопии

В 2007 году продолжалась работа по модернизации лаборатории с целью расширения учебных и исследовательских возможностей.

1. Собран лабораторный стенд для исследования спектральных характеристик материалов в миллиметровом диапазоне длин волн. В качестве перестраиваемого источника излучения в области 360–200 Гц использована лампа обратной волны. Проведена

интерферометрическая калибровка установки на плоскопараллельных керамических пластинах и сделаны пробные измерения известных спектров поглощения.

На этой установке подготовлена к выполнению лабораторная работа по программе 3 курса МФТИ (*совместно с сектором микроволновой спектроскопии, В.А.Панфилов, к.ф.-м.н. А.В.Потапов*).

2. Разработан стенд для изучения методов стабилизации лазерной частоты “по пику” в любой доступной точке спектра с большой временной стабильностью на основе эталона Фабри-Перо из материала с малым коэффициентом температурного расширения. Благодаря охлаждаемой водой платформе температура оптической части поддерживается постоянной, что позволяет уменьшить температурное влияние окружающей среды. Одновременно, для повышения температурной стабильности эталона использован элемент Пельтье. Блок управляющей электроники позволяет производить как внешнее, так и внутреннее сканирование частоты пропускания эталона Фабри-Перо. Помимо этого, он осуществляет обратную связь с элементом Пельтье в целях стабилизации температуры (*совместно с лабораторией лазерной спектроскопии, к.ф.-м.н. П.Н.Мелентьев, аспирант А.Е.Афанасьев*).

Эталон Фабри-Перо позволяет изучать вопросы, связанные с временной стабильностью частоты лазера.

3. Начата работа по созданию инструментальной базы и методик исследования нанодисперсного состава эмульсий и суспензий методом лазерно-корреляционной спектроскопии.

На стендах лаборатории студенты III курса МФТИ выполнили практические работы в объеме более 550 часов.

Подготовка научных кадров

В 2007 г. в ИСАН продолжалась работа по подготовке научных кадров высшей квалификации по двум направлениям: аспирантура и система соискательства ученых степеней.

На основании лицензии №165217 от 26.02.2006 г., выданной ИСАН Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки РФ, обучение в аспирантуре ведется по 4 специальностям: «Теоретическая физика» (01.04.02), «Оптика» (01.04.05), «Физика конденсированного состояния» (01.04.07) и «Лазерная физика» (01.04.21).

В текущем году в плановой очной аспирантуре ИСАН проходили подготовку 8 аспирантов по трем специальностям: «Оптика» (01.04.05), «Теоретическая физика» (01.04.02) и «Лазерная физика» (01.04.21). Руководство аспирантами осуществляли: четыре доктора физико-математических наук и два кандидата физико-математических наук. В 2007 году в аспирантуру принято два выпускника ВУЗов. В соответствии с разрешением РАН один аспирант проходил подготовку в аспирантуре свыше срока обучения. В текущем году аспирант Горский Е.В. (научный руководитель - к.т.н. Лившиц А.М.) успешно закончил аспирантуру с защитой кандидатской диссертации.

В 2007 году была проведена обязательная ежегодная аттестация аспирантов.

К аспирантуре был прикреплен один соискатель ученой степени Попов А.М. для сдачи кандидатских экзаменов (научный руководитель - к.ф.-м.н. Лозовик Ю.Е.), который в текущем году успешно защитил кандидатскую диссертацию.

На действующие в системе РАН кафедры по иностранным языкам и философии направлялись аспиранты и соискатели ученой степени для подготовки к сдаче кандидатских экзаменов. Кандидатские экзамены по специальности и зачет по информатике и вычислительной технике принимались соответствующими комиссиями в ИСАН.

Организационно-методическое руководство и контроль за деятельностью аспирантуры осуществляли Ученый совет ИСАН, Сектор подготовки и аттестации научных кадров Управления кадров РАН и Отделение физических наук РАН.

Международные связи

НИР, выполненные совместно с зарубежными научными организациями	- 24
Количество зарубежных командировок сотрудников института:	- 99
- на международные научные конференции, симпозиумы	- 55
- из них частично за счет средств РФФИ (проезд)	- 8
Ознакомительные поездки за счет института	- 0
На научную работу:	
- краткосрочные (до 1 месяца)	- 15
- краткосрочные (1-3 месяца)	- 18
- долгосрочные (3 месяца-1 год)	- 1
- больше года	- 10

1. Институт проводит совместные исследования в рамках сотрудничества РАН - Немецкое Исследовательское Общество по теме: "Спектроскопия Ван Дер Ваальсовских молекулярных комплексов" с Физическим институтом Университета Кёльна, Германия.

2. В рамках сотрудничества РАН-CNRS (Франция) Институт участвует в двух проектах:

- "Оптические и магнитные свойства редкоземельных ионов в низкоразмерных и фрустрированных системах" совместно с Лабораторией прикладной химии твердого тела, Париж;

- "Спектры двухкратно ионизированных атомов группы лантаноидов" совместно с Лабораторией Эме Коттон и Обсерваторией Париж-Медон.

3. В рамках сотрудничества с Болгарской АН Институт участвует в работе по теме: "Разработка измерительного комплекса для исследования энергетических параметров и быстрого действия датчиков импульсного УФ излучения на базе синтетических алмазов" совместно с Институтом информационных технологий БАН.

Институт проводил совместные работы, результаты которых опубликованы в 2007 г., с 30 научными центрами различных стран. Эти работы осуществлялись в рамках двусторонних договоров или контрактов, по грантам CRDF, INTAS, РАН-НЦНИ Франции, DFG-РФФИ, по проектам 6-ой Рамочной Программы Европейской комиссии – "EXCELL" (*Сеть высшего уровня для преодоления разобщенности Европейских исследований по многофункциональным тонким пленкам*) и "MORE MOORE" (*Открытие новых границ закона Мура, ВУФ литография*), а также во время командировок сотрудников в зарубежные научные центры.

Из 112 пунктов настоящего отчета ниже представлены 24 пункта, отражающие сотрудничество Института с зарубежными коллегами.

Совместно с Технион, Израиль, проект "EXCELL"

- Методом отражательно-абсорбционной ИК спектроскопии и КРС исследованы спектры биомолекул на нитинола с промежуточными слоями нитрида и оксида титана на титане. Показано, что покрытие защитного слоя нитрида титана оксидом улучшает адсорбцию биомолекул.

Совместно с Институтом материаловедения, Испания, и Свободным Университетом, Бельгия, проект "EXCELL"

- Исследованы ИК и КРС спектры тонких пленок нитрида, оксида и оксинитрида кремния на кремнии и стали, а также окиси алюминия на алюминии. Из ИК спектров получены толщины (200-4100 нм), диэлектрические проницаемости пленок и частоты

колебательных мод. Построены кривые дисперсии колебательных и интерференционных поляритонов пленок.

Совместно с Институтом методологии неорганических материалов, Италия, проект "EXCELL"

- Исследованы оптические свойства многослойных структур на основе пористого кремния с серебряным покрытием. Получено значительное (на порядок) усиление сигнала КРС фуллерена в одномерном фотонном кристалле (структура типа интерферометра Фабри-Перо с внешним серебряным зеркалом) при резонансе возбуждающей лазерной линии с модой фотонного кристалла.

По проекту "EXCELL"

- Продолжается научно-организационная работа по интегрированию ИСАН в виртуальный Европейский Институт, который создается в рамках Европейского научного сообщества для комплексного исследования свойств тонких пленок и покрытий

По проекту "MORE MOORE"

- Разработана методика измерения электронной температуры и электронной плотности по спектрам высокого разрешения малоиндуктивной вакуумной искры в области 10-17 нм в плазме олова. Методика базируется на экспериментальных измерениях относительных интенсивностей и ширин спектральных линий легких элементов фтора и лития, вводимых в разряд в качестве примесей и теоретических расчетах ионизационного равновесия в плазме. Проведена диагностика плазмы макета источника излучения для нанолитографии на длине волны 13.5 нм.

- Экспериментально и теоретически исследована излучательная способность плазмы ионов олова и галлия в области 5-15 нм при возбуждении в аксиальных разрядах с токами от 10 до 30 кА. Показано, что в условиях радиационного коллапса эффективность преобразования запасенной электрической энергии в излучение Sn ионов в области спектра, предполагаемого для использования в новом поколении проекционной литографии - 13,5 нм, может составлять несколько процентов. При этом оказалось, что использование технологически удобных сплавов олова с индием и галием не приводит к существенному ухудшению излучательных характеристик в области эффективного отражения многослойной рентгеновской оптики.

Совместно с Кельнским Университетом, Германия

- Впервые измерены переходы R(0) - R(2) и P(2) в He-¹³C¹⁶O; R(0) - R(2) в He-¹²C¹⁸O; R(1) в He-¹³C¹⁸O; P(2) в He-¹²C¹⁶O.

- Завершены исследования «горячих» спектральных переходов в димере CO. Всего идентифицировано более 300 переходов и определено положение 33 новых уровней энергии симметрии A⁺ и 20 – симметрии A⁻ с энергией 8-18 см⁻¹ от нулевого уровня. Часть из них принадлежит 9 новым состояниям димера. Два из них представляют собой вращение димера с K=2, а остальные – обертоны колебания типа цепной передачи. Стимулированные нашими исследованиями теоретические расчеты хорошо описывают положение этих уровней.

Совместно с Университетом Техаса, Даллас, США

- Исследованы свойства (закон дисперсии и диссипация) когерентных экситон-поляритонных состояний в длинных молекулярных цепочках. Состояния образуются под влиянием взаимодействия как с фотонами вакуума, так и с поверхностными возбуждениями металлической подложки. Показано, что резонансное взаимодействие молекулярных возбуждений с поверхностными плазмонами образует эффективный канал затухания одномерных экситонов, зависящий от поляризации перехода, волнового вектора и расстояния молекулярной цепочки до поверхности металла. Рассмотренная проблема важна в связи с поисками одномерных проводников энергии на макроскопические расстояния.

- Опубликован обзор "Spatial dispersion, polaritons and negative refraction" в изданной издательством Springer коллективной монографии. Обзор расширен по сравнению с ранее опубликованным в УФН(2006). В обзоре прослеживается история интерпретации отрицательного преломления света и показано, что волны с отрицательной групповой

скоростью образуются только в тех случаях, когда пространственная дисперсия достаточно сильна. В обзоре проведен также анализ соотношения между подходом, использующим обобщенный тензор диэлектрической проницаемости (при учете пространственной дисперсии) с более известным, но ограниченным описанием, основанным на использовании диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости для искусственных материалов с макроскопическими размерами «молекул». Наряду с макроскопическим описанием использована также микроскопическая теория диэлектрического отклика при учёте как магнитных, так и квадрупольных переходов.

Совместно с Университетом Лафборо, Англия и Университетом Сан-Паулу, Бразилия

- Развита теория дисперсионных ударных волн, возникающих при распространении интенсивных пучков света через дефокусирующие фоторефрактивные среды. Такого рода ударные волны наблюдались в недавнем эксперименте (W. Wan, S. Jia, and J. W. Fleischer, *Nature Physics*, 3, 46, 2007). Полная аналитическая теория, основанная на методе Уизема для описания модуляций нелинейных волн, построена в случае входного профиля интенсивности в виде ступеньки. Выведены формулы для координат концевых точек ударной волны и характерной амплитуды солитонов в зависимости от параметров начального профиля интенсивности. Аналитическая теория хорошо согласуется с результатами численных расчётов, которые проведены также для случая пучков с цилиндрической симметрией.

- Развита теория линейных волн, генерируемых при обтекании препятствий бозе-эйнштейновским конденсатом. По своей природе эти волны аналогичны черенковскому излучению от «сверхсветовых» электронов, движущихся в среде, или «корабельным волнам», возбуждаемым кораблём, движущимся по спокойной воде, но с более сложной структурой, обусловленной законом дисперсии Боголюбова для элементарных возбуждений в бозе-эйнштейновском конденсате. Показано, что такого рода волны образуют стационарные структуры при сверхзвуковых скоростях течения конденсата. Найдены распределения амплитуды волны в области, достаточно удалённой от препятствия. Численное моделирование генерации волн препятствием показало прекрасное согласие с теоретическими предсказаниями.

Совместно с Университетом Чиао Тунг, Тайвань

- Исследован электрический ток, обтекающий двухмерное мезоскопическое кольцо, реализованное внутри полупроводниковой квантовой ямы. Показано, что ток вызывает появление спиновой поляризации вблизи и внутри кольца, причем как знак, так и величина поляризации зависит от положения уровня Ферми относительно локальных резонансов в амплитуде рассеяния электронов на кольце.

- Рассмотрен спиновый эффект Холла при вертикальном транспорте электронов. Показано, что при туннелировании электронов через ограниченную двумя потенциальными барьерами полупроводниковую квантовую яму, внутри неё появляется спиновая поляризация, а вдоль нее протекает спиновый ток. При этом возникает зависимость коэффициента прохождения электронов от направления спина, и прошедший пучок оказывается поляризованным. Такого рода спиновые эффекты для изотропного по направлениям спина и импульса начального распределения электронов становятся возможными при учете спин-орбитального взаимодействия Дрессельхауса наряду с взаимодействием, обусловленным градиентами параметров полупроводника в области квантовой ямы.

Совместно с Лундским университетом, Швеция

- Опубликован обзор по проблеме «Астрофизические лазеры и нелинейные оптические эффекты в космосе».

Совместно с Лабораторией химии твердого тела ИЦНИ UMR7574, Франция, и Центром материаловедения Гронингенского Университета, Нидерланды

- Обнаружен, исследован экспериментально и промоделирован эффект ступенчатого изменения поглощения лазерного света в кристалле $GdFe_3(BO_3)_4$: Nd при изменении мощности лазера.

Совместно с Байройтским Университетом, Германия

- Разработана новая методика многоканальной регистрации быстрой спектральной динамики примесных одиночных молекул в твердотельных средах, позволившая впервые наблюдать временную эволюцию спектров таких молекул с миллисекундным разрешением в ряде органических низкомолекулярных стекол в диапазоне температур 1.6-30 К. Обнаружено, что наблюдаемые хаотические изменения частоты электронных переходов в примесных молекулах не могут быть описаны в рамках существующих моделей низкотемпературной динамики неупорядоченных твердотельных сред.

Совместно с Федеральным Университетом г. Лозанна, Швейцария

- Осуществлено первое наблюдение одиночных молекул (на примере CdSe нанокристалла) методом оптической сканирующей микроскопии ближнего поля с флуоресцентной резонансной передачей энергии возбуждения от наблюдаемого CdSe нанокристалла к флуоресцирующей молекуле нанозонда с пространственным разрешением 10 нм.

Совместно с АО «Сарториус», Германия

- Разработан способ исключения влияния неконтролируемой температуры образцов на калибровку спектрометра диффузного рассеяния БИКАН-СР для анализа влажности органических порошков (пищевых и фармацевтических) с применением в качестве вторичного стандарта термогравиметрического анализатора влажности МА-35.

Совместно с Центром передовых исследований, Осло, Норвегия

- Исследованы условия инжекции спиновой поляризации электронов вблизи плавной границы раздела между областями квантовой ямы с разными значениями константы спин-орбитального взаимодействия. Инжекция осуществляется в условиях спинового эффекта Холла с помощью произвольно ориентированного электрического поля. Для указанных условий выведены уравнения диффузии спиновой поляризации. Анализ решений данных уравнений показал, что в случае параллельного границе электрического поля инжекция возможна лишь в том случае, когда длина свободного пробега электронов меняется внутри переходного слоя, тогда как для перпендикулярного поля она всегда имеет место.

Совместно с Университетом Бирмингема, Англия

- Для системы, состоящей из "квантовой нити", гибридной с находящейся поблизости "квантовой точкой" (молекулой) с единственным "активным" электронным уровнем, исследовалось прохождение электронов через узел гибридизации. С помощью метода ренормализационной группы (в однопетлевом приближении, адекватном для слабого электрон-электронного взаимодействия) найдены сингулярные низкоэнергетические изменения коэффициентов прохождения и отражения электронов, которые определяют контактное сопротивление системы. Описаны также непертурбативные изменения в локальной (туннельной) плотности электронных состояний квантовой нити (вблизи гибридного уровня) и квантовой точки. Эти результаты существенны для исследования квантовых нитей с помощью туннельного микроскопа с наноскопическим щупом (квантовой точкой).

Совместно с Лейденским университетом, Голландия

- Реализована уникальная методика изучения элементарных электронных процессов в органических полевых микротранзисторах, основанная на использовании примесных флуоресцирующих одиночных молекул в роли чувствительных нанозондов. Изучены микроскопические особенности формирования пространственного заряда в транзисторе. Измерены характерные времена движения носителей заряда между ловушками в молекулярном кристалле.

Совместно с Университетом Париж-Норд, Франция

- Исследованы корреляционные свойства излучения возбужденного атома вблизи микрорезонатора, содержащего один фотон. Изучено излучение связанных таким образом

фотонов на макроскопических расстояниях.

В издательстве “Оксфорд Юниверсити Пресс”

- Опубликована монография «Лазерное управление атомами и молекулами».

Большая научная работа проведена сотрудниками Института, находившимися в командировках в ведущих зарубежных центрах США, Италии, Англии, Германии, Франции, Испании, Голландии, Швеции, Болгарии, Норвегии, Бразилии, Тайваня, Израиля, Швейцарии, Бельгии, Китая.

Институт посетили более 20 иностранных ученых и специалистов для ознакомления с результатами работ различных отделов и лабораторий, проведения совместных работ по договорам и контрактам. Многие из них выступили с докладами на общеинститутском семинаре и семинарах отделов.