

# МОСКОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ: ЕЖЕГОДНИК-00

## Международный Учебно-Научный Лазерный Центр МГУ им. М.В.Ломоносова

### Общие сведения

Международный учебно-научный лазерный центр МГУ (МЛЦ МГУ) был создан в 1989 г. по инициативе выдающегося ученого, профессора Московского университета С.А. Ахманова. Это одно из самых авторитетных междисциплинарных подразделений Московского университета, занимающееся организацией исследований на стыках лазерной физики и других естественных наук — биологии, химии, медицины, экологии, а также обучением и переподготовкой специалистов, уже имеющих высшее образование. Деятельность МЛЦ МГУ как бы перебрасывает мостик между фундаментальными исследованиями в области лазерной физики и нелинейной оптики и прикладными исследованиями с применением лазерных методов в биологии, медицине, химии и в других науках.

Организационно и структурно МЛЦ МГУ является самостоятельным подразделением Московского университета, имеющим, согласно Уставу МГУ, права отдельного факультета или научно-исследовательского института. В своей деятельности МЛЦ МГУ широко использует международную кооперацию, привлекает иностранных ученых для проведения совместных научных исследований, чтения лекций, проведения семинаров. Осуществляется переподготовка и иностранных специалистов. В масштабах России МЛЦ МГУ координирует проведение крупных междисциплинарных научно-технических программ и проектов в области лазерной физики и нелинейной оптики. При этом МЛЦ МГУ сам является активным участником и соисполнителем многих программ, организатором крупных Международных конференций и школ.

### Структура центра

Высшим руководящим органом МЛЦ МГУ является научно-методический Совет. Текущее руководство деятельностью центра осуществляется директором в лице директора центра и четырех его заместителей по научной работе и международному сотрудничеству, учебной работе, финансовой деятельности и по административной работе. Научно-исследовательская и преподавательская работа ведется в лабораториях:

- интеллектуальных оптических систем;

- роста нелинейно-оптических и лазерных кристаллов;
- нелинейной лазерной спектроскопии;
- твердотельных лазеров;
- сверхбыстрых процессов в биологии;
- КБ уникального лазерного приборостроения с опытным производством;
- лингвострановедения.

### Наука

В 2000 г. МЛЦ МГУ проводил научные работы по следующим основным направлениям:

- Исследования в области физики лазеров оптического, ультрафиолетового и более коротковолнового диапазонов;
- Разработка новых лазерных систем и принципиально новых подходов к решению задач контролируемого воздействия лазерного излучения на свойства вещества и материалов;
- Исследование физических процессов в химических и биологических объектах, разработка новых лазерных технологий и новых методов контроля параметров технологических процессов;
- Разработка новых нелинейно-оптических материалов и активных сред для лазеров нового поколения, обеспечивающих генерацию лазерного излучения с управляемыми спектральными, амплитудными, временными, пространственными и поляризационными характеристиками, в том числе лазеров, генерирующих импульсы предельно короткой длительности и сверхвысокой интенсивности.

Научная работа проводилась в рамках государственных научно-технических программ “Фундаментальная метрология”, “Физика квантовых и волновых явлений” и “Физика твердотельных наноструктур” — всего 16 проектов. МЛЦ МГУ является исполнителем исследований по 23-ти грантам Российского фонда фундаментальных исследований и 8 грантам зарубежных фондов (INTAS, NATO, DFG, CRDF и др.)

С целью привлечения дополнительного финансирования в МЛЦ МГУ велись работы по договорам и контрактам: с Международным лазерным центром г. Братиславы (Словакия) и клиникой “Шарите” Гумбольдского университета (Берлин, ФРГ).

По результатам выполняемых в МЛЦ МГУ научных исследований было опубликовано 140 статей в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, сделано 144 доклада на российских и международных конференциях. В эти исследования активно вовлекались студенты различных факультетов МГУ— они стали авторами и соавторами более чем 57 статей и докладов. В 2000 г. 6 студентам физического факультета МГУ, работающим по договорам с МЛЦ МГУ, были присуждены стипендии им. Леонарда Эйлера по линии ДААД (Германия) в рамках сотрудничества между МЛЦ МГУ и Институтом прикладной физики университета г. Бонн (Германия).

Ниже приведены основные научные достижения МЛЦ МГУ за 2000 г.

## **1. Фундаментальные проблемы лазерной физики и нелинейной оптики**

Предложена самосогласованная система уравнений взаимодействия атома с электромагнитными полями произвольной интенсивности. Специфика предложенной теории состоит в том, что уравнения для плотности заряда и тока атомных электронов становятся нелинейными и нелокальными. Основная причина нелинейности и нелокальности состоит в неточности электрона, что приводит к появлению эффектов самовоздействия. Наличие указанных эффектов проявляется в том, что уже в нулевом приближении происходит расщепление вырожденных уровней атома водорода. Предложенная теория объясняет наличие дискретных уровней энергии электрона в атоме, как стационарных самосогласованных состояний электронного облака.

Теоретически и экспериментально исследована компрессия фемтосекундных лазерных импульсов в одномерном фотонном кристалле. Показано, что в одномерном фотонном кристалле, приготовленном в виде многослойной периодической структуры с сильной модуляцией показателя преломления, возможна компрессия фемтосекундных лазерных импульсов при толщине структуры всего 4,8 мкм.

Изучено распределение электромагнитного поля в двумерных фотонных кристаллах с дефектом решетки и исследованы спектры дефектных мод в запрещенных зонах таких структур. Предложена идея синхронной генерации второй гармоники сверхкоротких лазерных импульсов в фотонных кристаллах, за-

полненных нелинейной средой с практически произвольным законом дисперсии. Методом сканирующей оптической микроскопии ближнего поля (СОМБП) экспериментально исследована пространственная локализация электромагнитного поля на периодических и аperiodических структурах. В спектрах пропускания волокон, с оболочкой в виде двумерной периодической структуры с периодом менее 500 нм обнаружены фотонные запрещенные зоны, перестраиваемые в области 930–1030 нм.

Изучены эффекты распространения фемтосекундных лазерных импульсов в волноводах с фотонно-кристаллической (ФК) оболочкой. Анализ спектров излучения на выходе волновода указывает на существенное уширение спектра фемтосекундных импульсов, что демонстрирует возможность использования волноводов с ФК-оболочкой для увеличения эффективности генерации суперконтинуума. Для увеличения эффективности нелинейно-оптических взаимодействий в подобных волноводах были продемонстрированы физические принципы реализации фотонно-кристаллических волокон с фотонной запрещенной зоной оболочки, перестраиваемой в видимой и ближней ИК области спектра. Были изготовлены и экспериментально изучены волокна с оболочкой в виде двумерной периодической структуры с периодом менее 500 нм, что позволило впервые наблюдать фотонные запрещенные зоны, перестраиваемые в области 930–1030 нм, в спектре пропускания волокон. Изучены процессы генерации высших оптических гармоник от фемтосекундных лазерных импульсов в наполненных газом полых оптических волноводах.

Развиты теоретические и экспериментальные основы нового оригинального метода микроскопии для количественного и качественного анализа возбужденных газовых сред и плазмы, основанного на процессе генерации третьей оптической гармоники (ТТГ). В многослойных структурах с модуляцией показателя преломления и нелинейной восприимчивости обнаружен эффект увеличения эффективности генерации суммарной и второй гармоники фемтосекундных лазерных импульсов в случае если частота основного излучения соответствует краю брэгговской запрещенной зоны. Исследован процесс генерации суммарной частоты от двух неколлинеарных пучков фемтосекундных лазерных импульсов от металлических поверхностей с периодическим рельефом.

Проведены исследования последовательных нелинейно-оптических взаимодействий в активно-нелинейной среде с регулярной доменной структурой. Теоретически рассмотрены процессы самоудвоения, генерации суб-

гармоники, параметрического усиления при низкочастотной накачке в активно-нелинейных кристаллах  $\text{Nd:Mg:LiNbO}_3$  с регулярной доменной структурой. Выполнены исследования влияния нерегулярности доменной структуры кристалла на эффективность генерации высших оптических гармоник при последовательных взаимодействиях. Создан источник когерентного оптического излучения ( $\lambda=0,53$  мкм) с самоудвоением лазерной частоты с селективной накачкой на активно-нелинейном кристалле  $\text{Nd:Mg:LiNbO}_3$  с регулярной доменной структурой. Проанализирована генерация перепутанных квантовых состояний в квазисинхронных параметрических процессах при низкочастотной накачке.

Разработана систематическая квантовая теория само и кросс-взаимодействия сверхкоротких лазерных импульсов, учитывающая время релаксации кубической нелинейности среды. Предложен метод расчета среднего времени достижения границы в задаче Крамера для случая, когда это время велико по сравнению со временем корреляции.

Проведен расчет параметров группового синхронизма для процесса ГВГ большинства известных нелинейно-оптических кристаллов. Экспериментально исследована ГВГ излучения  $\text{Cr:forsterite}$  лазера в кристаллах  $\text{SrF}_2$ ,  $\text{DCDA}$  в режимах близком к режиму группового синхронизма.

В области, посвященной исследованию распространения волн в реальных средах, развита методика численного моделирования многократного рассеяния света в случайно-неоднородных и средах и периодических структурах методом Монте-Карло. Совместно с лабораторией проф. С. Чина (университет Лаваль, Квебек, Канада) исследованы флуктуации положения филамента при распространении мощных фемтосекундных лазерных импульсов в естественных атмосферных условиях. Дано обобщение модели движущихся фокусов для описания филаментации при случайных флуктуациях показателя преломления в турбулентной атмосфере.

Экспериментально зарегистрированы эффекты нелинейного взаимодействия оптических структур различной симметрии в двухкомпонентной нелинейной системе с дифракционной обратной связью, следующие из теории многопараметрических бифуркаций.

Экспериментально наблюдаются регулярные последовательности стоковых и антистоковых компонент при бигармоническом пикосекундном возбуждении вращательного перехода  $S_0(1)$  молекул водорода.

## **2. Физические основы лазерных технологий**

В отчетный период завершено выполнение первой очереди Контракта и начато выполнение его второй очереди между Международным учебно-научным лазерным центром МГУ им. М. В. Ломоносова (МЛЦ МГУ) и Международным лазерным центром Братиславы (МЛЦБ), Словацкая Республика в соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и Правительством Словацкой Республики “Об урегулировании задолженности бывшего СССР и РФ перед Словацкой республикой”. Разрабатываемый комплекс оборудования предназначен исключительно для научных и образовательных целей и будет служить базой для развития совместных российско-словацких исследований в области лазерной физики. В рамках выполнения Контракта разработаны концепция и стратегия развития МЛЦБ, который предполагает развитие и продвижение ряда новых перспективных научных направлений, а также технологических разработок с целью создания наукоемких коммерческих продуктов. Развиваемые направления структурно объединены в несколько лабораторий: лабораторию лазерной спектроскопии и микроскопии; лабораторию лазерных биомедицинских технологий; лабораторию лазерной метрологии, голографии и диагностики окружающей среды; лабораторию лазерного напыления и анализа элементного состава вещества; лабораторию лазерных демонстраций и метрологического контроля параметров лазерного излучения; лабораторию информационных технологий; учебную лабораторию.

В рамках работ по разработке основ лазерных технологий развиты новые способы получения наноструктурированных и дейтерированных мишеней с помощью ионной имплантации и лазерной модификации поверхности. Проведенные исследования показали, что наряду с ранее использовавшимися методами приготовления мишеней со структурированным приповерхностным слоем – напылением в атмосфере благородного газа, электрохимическим травлением кремния – лазерная модификация поверхности также обеспечивает формирование структурированного слоя непосредственно в процессе эксперимента. В модифицированных мишенях “температура” горячей электронной компоненты возрастает с интенсивностью быстрее, чем для сплошной мишени, достигая 8–10 кэВ при интенсивности 20 ПВт/см<sup>2</sup>. Возрастание “температуры” горячей электронной компоненты приводит к смещению спектра рентгеновского свечения плазмы в более жесткую область. Ионная компонента плазмы в модифицированных мишенях претерпевает существенные изменения. С одной стороны, увеличение “температуры”

горячей электронной компоненты приводит к увеличению скорости разлета части ионов до  $2\text{--}3 \times 10^8$  см/с и энергии ионов кремния до величин свыше 100 кэВ. Для лазерномодифицированных мишеней нами наблюдался почти изотропный разлет плазмы в вакуум, причем такое поведение оказалось характерным как для тепловой, так и для горячей ионной компонент. Экспериментально апробирован ряд методов получения наноструктурированных дейтерированных образцов, поставлена методика регистрации одиночных нейтронов с энергией 2,45 МэВ. Для лазерномодифицированной титановой мишени с атомной концентрацией дейтерия 1,65 получены нейтроны в количестве 5 нейтронов за импульс.

В рамках проекта по изучению возбуждения и распада низколежащих ядерных переходов в высокотемпературной плазме сверхкороткого лазерного импульса создан и исследован ряд скинтилляторов и создан ФЭУ для регистрации гамма-свечения плазмы с разрешением 20–40 нс и регистрацией единичных гамма-квантов. Разработана программа расчета динамики плазмы с учетом остаточного газа в камере и показано, что возможно замедление распада ядерных уровней за счет подавления внутренней конверсии сильно ионизованных ионах.

Разработан и практически реализован оптико-акустический метод прямого невозмущающего измерения пространственного распределения интенсивности света и оптических характеристик в сильно рассеивающих света средах по временному профилю оптико-акустического сигнала. Проведен теоретический анализ интерференции встречных продольных акустических волн в однородной изотропной поглощающей пластинке и периодической структуре с дефектами, состоящей из чередующихся твердых слоев в жидкости и получено условие для экстремума пропускания ультразвуковых волн определенной частоты от отношения амплитуд взаимодействующих волн.

В рамках исследования диффузного и малоуглового рассеяния рентгеновских лучей в многослойных структурах с целью определения статистических характеристик шероховатостей границ раздела и объемных неоднородностей предложено использовать крайне асимметричное брэгговское отражение от кристалла для получения увеличенного изображения объекта в рентгеновском диапазоне. Экспериментально получено 20-ти кратное увеличение ( $\text{Si}$ , отражение (111), коэффициент асимметрии 20, излучение  $\text{MoK}\alpha$ ) тест-объектов (металлическая сетка с шагом 70 мкм и танталовая фольга с отверстиями от 20 мкм и выше) с разрешением лучше 20 мкм. Прове-

денные расчеты в рамках динамической теории дифракции с учетом зеркального отражения позволили получить оценки оптимального увеличения ( $K \approx 100$ ) и предельного пространственного разрешения по объекту ( $\approx 0,2$  мкм,  $\text{Ge}$  (111),  $\text{CuK}\alpha$ ).

Проведены эксперименты по высокоплотной записи голограмм в пленках фоточувствительного полимера. Исследована динамика энергообмена световых пучков в полимерных пленках.

### **3. Лазерная химия, биофизики и биомедицина**

Методом КР-спектроскопии проведено комплексное исследование влияния взаимодействия с лигандами и комплексообразования на структуру молекулы белка-фермента химотрипсина. Анализ конформационно-чувствительных полос (амид I, амид III, дисульфидные мостики, триптофан, тирозиновый дублет) позволил определить функционально значимые конформационные изменения молекулы фермента. Выполнены работы по КР-спектроскопии растительных токсинов, используемых при изготовлении лекарственных средств. Исследовались особенности строения молекул токсинов и взаимодействия их транспортных и активных субъединиц. Начаты работы по определению природы широкополосного фона в спектрах комбинационного рассеяния биомолекул.

Методом «возбуждение–зондирование» с фемтосекундным временным разрешением исследована динамика сигнала фотоиндуцированного поглощения нанополиацетилена на длине волны 800 нм (1,55 эВ) при возбуждающем излучении на длине волны 400 нм (3,1 эВ). На основе анализа спектров спонтанного комбинационного света транс-нанополиацетилена предложена модель синхронных слабозатухающих колебаний  $\pi$  сопряженной цепи транс-полиацетилена, отвечающих синхронным колебаниям длин связей  $\text{C}=\text{C}$  и  $\text{C}-\text{C}$  на длине цепи порядка 10 нм и возникающих за счет системы делокализованных  $\pi$  электронов. Методом фотоиндуцированной поляриметрии проведены эксперименты по исследованию поляризационного отклика изотропных пленок нанополиацетилена. Показано, что анизотропия отклика возбужденной цепи транс-полиацетилена на миллисекундной временной шкале мала, что соответствует сильной локализации возбужденных состояний цепи — в пределах нескольких элементарных ячеек.

Теоретически исследовано пятиволновое смешение  $\omega_b = \omega_1 + \omega_1 + \omega_1 - \omega_2$  (биоКАРС) в объеме хиральной жидкости, а также при отражении от поверхности изотропной гиротропной

среды и от тонкого слоя хиральных молекул, помещенных на изотропную centrosymmetric подложку. Установлено, что характер зависимости мощности прошедшей сигнальной волны на частоте  $\omega_b$  от состояний поляризации и радиусов пучков основного излучения существенно меняется с ростом оптической активности среды. Нелокальность нелинейного оптического отклика определяющим образом влияет на форму кривых фазового синхронизма и делает волну биоКАРС эллиптически поляризованной. Найдены аналитические зависимости амплитуды и поляризации отраженной волны на частоте  $\omega_b$  от аналогичных параметров волн основного излучения, углов падения  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , а также от локальных и нелокальных восприимчивостей нелинейной среды и ее поверхности. Выявлены условия существования неэванесцентной волны биоКАРС. Показано, что при ее скользящем отражении от поверхности среды достигается наибольшая эффективность генерации.

Предложены новые методы создания оптически индуцированной хиральности в изотропных рацемических средах. Показано, что в изотропных средах при использовании дипольно-активных переходов критерием возможности лазерного управления хиральностью является хиральность структуры поля накачки.

Аналитически и методами молекулярной динамики было показано, что добротность колебаний молекул белков в воде на частотах около 1012 Гц порядка 10, что много больше, чем величины добротности, определяемые на основе гидродинамики. При этом амплитуды колебаний не должны превышать десятых долей Å при комнатных температурах. Такие характеристики соответствуют движением субглобул белков и могут играть существенную роль в функционировании молекулярных машин.

Методом диффузионной оптической томографии проведена визуализация и проекционное восстановление скрытых процессами многократного рассеяния в модельном объекте (диаметр 140 мм, коэффициенты поглощения и рассеяния 0,005 и  $1,4 \text{ мм}^{-1}$ ) изображений сильно поглощающих и сильно рассеивающих включений диаметром до 5 мм. Определены предельные возможности метода и показано, что в таких объектах при мощности зондирующего излучения 20 мВт минимальное время измерения на одну точку составляет чуть более 0,5 сек.

Изучены условия формирования неселективного и аналитического сигналов в лазерной атомно-ионизационной спектроскопии при лазерном пробое в пламя. Найдены оптимальные условия детектирования лазерного атомно-ионизационного сигнала и предложены

способы уменьшения неселективного сигнала, что позволило достичь соотношения сигнал шум, равного 2,103 при введении в пламя порядка 5,10–11 г определяемого элемента, а также повысить воспроизводимость результатов измерений ( $sr=0,03$ ).

Выбраны оптимальные схемы возбуждения молекулы LaO и изучены мешающие влияния при определении лантана методами лазерной молекулярно-ионизационной и молекулярно-флуоресцентной спектроскопии пламени.

На примере аминокислоты (глицина) показана возможность использования новых нуклеофильных агентов (сульфит натрия, цианид калия) для лазерно-флуориметрического определения аминокислот по реакции с орто-фталевым альдегидом. Показано, что использование новых нуклеофильных агентов расширяет возможности метода (предел обнаружения в 3,5 раза ниже, а фотоустойчивость соединений, образующихся с участием цианида калия существенно выше, чем с наиболее распространенным нуклеофильным агентом — 2-меркаптоэтанолом). Разработана методика определения карбаматов по реакции продуктов их гидролиза с орто-фталевым альдегидом.

Разработан метод получения объемных образцов кристаллического нитрида углерода, основанный на термобарическом воздействии на аморфный нитрид углерода в присутствии затравок кристаллизации. В качестве таких затравок использованы пленки, содержащие кристаллический нитрид углерода, которые были получены разработанным ранее лазерно-электроразрядным методом, основанным на взаимодействии продуктов лазерного испарения углерода с компонентами азотной плазмы.

Создана новая установка — компьютеризированный лазерный дифрактометр для измерения деформируемости эритроцитов. Исследовано влияние фотосенсибилизатора на эритроциты. Проведено исследование возможностей лазерной доплеровской микроскопии по измерению скоростей потоков суспензий светорассеивающих частиц, в частности — эритроцитов, в капиллярах, погруженных в рассеивающую среду. Разработан новый метод расчета многократного рассеяния света на суспензиях больших агрегирующих несферических частиц с использованием приближения геометрической оптики.

Создана экспериментальная установка для исследования аберраций человеческого глаза в реальном времени (частота измерений 30 Гц). Разработано программное обеспечение для анализа искажений волнового фронта. Проведены эксперименты по измерению аберраций *in vivo*. Разработано программное обеспечение для цифровой деконволюции изображений

глазного дна. Разработаны алгоритмы оценки качества изображений при цифровой деконволюции.

В рамках Программы Российско-Белорусского научного сотрудничества проведена разработка оптической схемы КР-микроскопа со спектральным разрешением  $4 \text{ см}^{-1}$ . В качестве источников возбуждения в микроспектрометре могут использоваться или непрерывный Ag лазер ( $\lambda = 488 \text{ нм}$ ) или квазинепрерывный Nd:YAG лазер ( $\lambda = 532 \text{ нм}$ ).

#### **4. Получение сверхсильных световых полей и их применение**

В эксперименте показано, что в лазерномодифицированных мишенях происходит возрастание температуры горячих электронов, а разлет быстрых ионов носит почти изотропный характер. Впервые зарегистрированы нейтроны, полученные при иницировании термоядерной реакции в плотной горячей плазме наноструктурированной мишени.

Развита теория взаимодействия атома со сверхсильным пространственно-неоднородным лазерным полем. С точностью до первой производной по пространству от векторного потенциала поля, произведён учёт пространственно-нелокальных — магнитодипольных, квадрупольных и обусловленных градиентом пондеромоторного потенциала поля — взаимодействий. Развита модель применима для анализа как резонансных, так и нерезонансных взаимодействий атома с ультракоротким импульсом поля произвольной длительности. Показано, что учёт динамики населённостей уровней атома и конечной длительности импульса приводит к тому, что в угловом спектре поля отклика появляются новые спектральные компоненты по сравнению с результатами стационарной теории возмущений.

Проведен комплекс компьютерных расчетов по динамике взаимодействия ансамбля двухуровневых атомов с ультракороткими лазерными импульсами высокой интенсивности, которые позволили установить в приближении заданного поля угловое распределение излучения второй и третьей гармоник для различной поляризации внешнего поля.

Путем численного решения уравнения Шредингера для атома водорода в осциллирующем электрическом поле, рассчитаны зависимости амплитуд гармоник атомного отклика от интенсивности возбуждающей световой волны  $1,06 \text{ мкм}$  в диапазоне интенсивностей  $4,9 \times 10^{13} - 2,1 \times 10^{14} \text{ Вт/см}^2$ . Все зависимости, начиная с 5-ой и, по крайней мере, до 55-ой гармоники, содержат глубокую модуляцию. В случае гармоник высокого порядка глубина модуляции близка к единице. Проведен анализ

ГТВП, основанный на полуклассической теории явления и дополненный соображениями, которые ранее не учитывались. Получены аналитические выражения для амплитуд гармоник высокого порядка, которые хорошо согласуются с результатами численных расчетов в области туннельной ионизации и удовлетворительно — в области надбарьерной.

Предложен принципиально новый механизм ускорения заряженных частиц (либо их эффективного “охлаждения”), основанный на развитой теории пондеромоторных сил в сверхсильных лазерных полях. В таких полях пондеромоторные силы приобретают вихревой характер и зависят от поляризации поля. На основе обнаруженного отличия в пондеромоторных силах для линейно и циркулярно поляризованных полей показана возможность разработки устройств нового типа для лазерного ускорения электронов.

#### **5. Физика поверхности и наноструктур**

Построена фундаментальная теория самоорганизации микро и нанометровых упорядоченных структур в твердых телах под действием лазерного излучения. Совместно с группой проф. Н. И. Желудева (Университет г. Саутгемптона, Англия) выполнен цикл работ по новому оптическому материалу: нанопленкам кристаллического Ga на аморфных подложках. Построена теория гигантской оптической нелинейности в нанослоях Ga, вблизи его точки плавления. В частности экспериментально обнаружен эффект и теоретически исследован эффект лазерно-индуцированного подавления зеркального отражения в Ga в непосредственной окрестности его точки плавления.

Теоретически интерпретировано и описано впервые наблюдаемое в группе профессора П. К. Кашкарова (Физический факультет МГУ) явление сверхлюминесценции ионов  $\text{Er}^{+3}$  в матрице аморфного кремния.

Разработана методика идентификации изомерных и конформационных форм фотохромных веществ с высоким пространственным разрешением вплоть до молекулярного с помощью СТМ/СТС. Методом СТМ/СТС обнаружены различия в электронной и топологической структурах как для упорядоченных молекулярных пленок так и для индивидуальных молекул при светоиндуцированном переходе. Экспериментально и теоретически исследован обратимый фотоиндуцированный конформационный переход молекул нафтаценхинонов из одной формы в другую при изменении длины волны воздействующего оптического излучения. Методом СТМ/СТС обнаружен конформационный светоиндуцированный переход в индивидуальных молекулах ЛБ пленки

нафтаценхинонов и изучены особенности топографии и электронной структуры молекулы.

В рамках приближения магнитодипольного взаимодействия исследованы процессы пространственной самоорганизации носителей заряда (формирование т.н. «strip-структур») в купратных плоскостях оксидных высокотемпературных сверхпроводников. На плоскости «уровень легирования — температура» построена диаграмма соответствующего фазового перехода. Показана возможность существования сравнительно долгоживущих (время жизни более 10 нс) метастабильных strip-структур при сверхбыстром разогреве сверхпроводника сверхкоротким световым импульсом.

При исследовании процессов термализации неравновесных носителей в сверхтонких пленках металлов показано, что характерное время остывания предварительно разогретого сверхкоротким световым импульсом электронного газа в сверхтонких металлических пленках определяется, в первую очередь, сверхбыстрыми процессами электронного рассеяния на поверхности пленки и поэтому зависит от толщины последней. Возникающее за счет этого процесса избыточное давление на поверхности достигает 100 атм и является эффективным прямым источником звуковых волн.

Методом генерации второй оптической гармоники (ВГ) обнаружено двумерное (2D) сегнетоэлектричество в сверхтонких пленках полимера поливинилиденфторида с трифторэтиленом (ПВДФ-ТрФЭ), приготовленных методом Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ).

Обнаружен поверхностный сегнетоэлектрический фазовый переход в пленках ПВДФ-ТрФЭ методом генерации отраженной ВГ. Этот переход наблюдается как в монослойной пленке ПВДФ-ТрФЭ, так и в первом приповерхностном слое более толстых (вплоть до 60 монослоев) пленок.

Исследован нелинейно-оптический магнитный эффект Керра (ГНК) в гранулированных магнитных пленках, обладающих гигантским магнитосопротивлением (ГМС). Обнаружена корреляция эффектов ГНК и ГМС, проявляющаяся в наблюдении максимумов обоих эффектов при одной и той же концентрации магнитного материала.

Предложен механизм генерации ВГ в гранулированных магнитных пленках, основанный на возбуждении локальных поверхностных плазмонов на границах раздела магнитного и немагнитного материалов. Развита модель гипер-рэлеевского рассеяния в упорядоченных ансамблях наночастиц.

Обнаружена гигантская вторая гармоника в микрорезонаторах на основе фотонных кристаллов пористого кремния. Показано, что резонансное усиление в окрестности резонаторной моды (примерно в 200 раз) и на краях запрещенной фотонной зоны (примерно в 50 раз) обусловлено совместным проявлением эффектов локализации излучения накачки внутри микрорезонатора, многолучевой интерференцией излучения ВГ в фотонном кристалле и двухфотонного резонанса квадратичной восприимчивости пористого кремния на частоте ВГ.

Развита методика комбинированной спектроскопии ВГ для исследования электронной структуры поверхностей полупроводников IV группы. С ее помощью исследованы спектральные особенности комбинированной плотности состояний на границах раздела Si-SiO<sub>2</sub> и Ge-GeO<sub>2</sub>, установлена взаимосвязь формы линий спектров интенсивности и фазы ВГ с типами критических точек электронной плотности состояний.

## **6. Квантовые компьютеры и обработка квантовой информации**

Основным направлением исследований было изучение квантовых процессов в простых квантовых системах, лежащих в основе элементной базы квантовых компьютеров на поверхностных атомных структурах и единичных примесных атомах в упорядоченной полупроводниковой матрице, а также в других атомных системах.

В эксперименте, методом сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии изучено взаимодействие двух примесных локализованных состояний атомов Si на поверхности GaAs. Обнаружены эффекты двукратного "включения" и "выключения" состояний для каждого из взаимодействующих атомов, взаимное затягивание уровней этих состояний за счет туннельного взаимодействия и стабилизация уровней вблизи EF. В рамках расширенной модели Андерсона дано объяснение наблюдаемым эффектам.

В теории, развито понятие когерентной квантовой информации, применимой для описания квантовых систем, используемых для обработки квантовой информации. Набор простых модельных квантовых систем проанализирован с использованием понятия когерентной информации, включая Λ-системы. Предложены новые методы создания перепутанных состояний в атомах. Изучены потенциальные возможности нового носителя квантовой информации — хиральных молекул с состоянием хиральности, управляемым полем лазерного излучения.

## Учебная работа

Основная часть учебной работы МЛЦ МГУ в 2000 г. была связана с программами переподготовки кадров и повышения квалификации. В МЛЦ МГУ на постоянной основе действуют четыре образовательные программы. По общим программам "Лазерная физика и технология" объемом 524 и 1048 часов в 2000 г. обучалось 18 и 17 человек соответственно. По окончании слушатели получают диплом о переподготовке кадров государственного образца. По языковой программе лаборатории лингвострановедения, рассчитанной на сотрудников и аспирантов МГУ, в 2000 г. обучалось 26 человек. Для студентов факультета фундаментальной медицины в МЛЦ МГУ ежегодно читается специальный курс "Лазерная медицина", который в 2000 г. прослушало 15 человек. Кроме того, в 2000 г. в МЛЦ МГУ прошел месячную стажировку стажер из Мексики и принят на годичную стажировку по программе обмена один стажер из КНР.

## Конференции

В 2000 г. МЛЦ МГУ организовал и стал соорганизатором девяти международных школ и конференций. Среди них следует особо отметить две конференции для молодых ученых и специалистов (Оптика-2000, С.-Петербург, октябрь 2000 и LO-YS-2000, С.-Петербург, июнь 2000), в которых приняло участие свыше сорока студентов и аспирантов, работающих по программам МЛЦ МГУ.

В августе 2000 г. МЛЦ МГУ совместно с Боннским университетом организовал и провел в г. Бонн (Германия) Летнюю Школу по Квантовой Оптике для студентов МЛЦ МГУ и немецких университетов. 5 студентов физического факультета МГУ, работающих по договорам в МЛЦ МГУ, и свыше 30 немецких студентов приняли участие в работе Школы.

Перечень остальных конференций включает:

- Third Italian-Russian Symposium on Problems of Laser Physics and Technologies (ITARUS'2000), Palermo, Italy, 16–20 September 2000.
- Russian-German Laser Symposium, Vladimir/Suzdal, September 21–26, 2000.
- XIX European CARS Workshop "International Conference on Nonlinear Light Scattering Spectroscopy", Moscow, March 21–23, 2000.
- 9th Annual International Laser Physics Workshop, Bordeaux, France, July 17–21, 2000.

- VIII International conference on "Laser Application in Life Sciences" (LALS'2000). Tokyo, Tokyo, Japan, August 13–18, 2000.
- Юбилейный научный семинар памяти Р. Л. Стратоновича, Москва, 2 июня 2000 г.

## Международное сотрудничество

Международная, межвузовская и межфакультетская деятельность МЛЦ МГУ направлена главным образом на координацию крупных программ и проектов, преимущественно междисциплинарного характера в области лазерной физики, химии, биологии, медицины и лазерных технологий когерентной и нелинейной оптики и их приложений.

В 2000 г. велись работы по нескольким международным контрактам, из которых следует отметить следующие:

- Контракт с Международным лазерным центром г. Братислава (МЛЦБ, Словацкая Республика) на разработку, создание и поставку в МЛЦБ комплекса научного оборудования, направленный как на создание в Братиславе уникального современного исследовательского центра для решения задач лазерной физики, химии, биологии, медицины и технологий, так и на совместные научные проекты в перечисленных областях.
- Продолжено выполнение контракта с Клиникой "Шарите" Гумбольдского университета г. Берлин (ФРГ) на тему "Development of a laser spectroscopic method and its application to blood samples of patients who suffer from disproteinemy", направленного на развитие лазерных биомедицинских технологий.

В 2000 г. МЛЦ МГУ состоял коллективным членом российского отделения SPIE - The International Society for Optical Engineering и Лазерной Ассоциации.

**Адрес страницы в интернете: <http://www.ilc.msu.su>**