

МОСКОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ: ЕЖЕГОДНИК 2004

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 применениями 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.

Новое в структуре

В МЛЦ МГУ создан уникальный Центр коллективного пользования по проблемам сверхсильных световых полей и лазерных фемтотехнологий. Центр предназначен для проведения фундаментальных и прикладных исследований по взаимодействию мощного фемтосекундного лазерного излучения с веществом и перспективным фемтотехнологиям научными группами МЛЦ и других подразделений МГУ, а так же обучения студентов, аспирантов и слушателей МГУ принципам измерений параметров фемтосекундных лазеров и физике взаимодействия мощного фемтосекундного лазерного излучения с веществом. Основой Центра является тераваттная фемтосекундная лазерная система на TiSa (длительность импульса — 70 фс; длина волны — 800 нм; энергия в импульсе — 40 мДж; частота следования импульсов,

10 Гц). В 2004 году на этой установке начали выполняться следующие проекты:

- «Абляция и формирование плазмы при взаимодействии интенсивных фемтосекундных лазерных импульсов с конденсированными мишенями» (Руководитель профессор, д.ф.-м.н. Гордиенко В.М.)
- «Генерация горячих частиц и возбуждение низкоэнергетических ядерных уровней в плазме фемтосекундного лазерного импульса интенсивностью до 10^{18} Вт/см² (Руководитель доцент, д.ф.-м.н. Савельев-Трофимов А.Б.).
- «Возбуждение ядер и охлаждение атомов в оптических полях высокой интенсивности» (Руководитель профессор д.ф.-м.н. Андреев А.В.)

Наука

В 2004 г. МЛЦ МГУ проводил научную работу по следующим основным направлениям:

- Фундаментальные проблемы лазерной физики и нелинейной оптики;
- Физические основы лазерных технологий;
- Лазерная химия, биофизика и биомедицина;
- Получение сверхсильных световых полей и их применение;
- Физика поверхности и наноструктур;
- Квантовые компьютеры и обработка квантовой информации.

Велась работа над выполнением заданий в рамках ФЦП, финансируемых напрямую Минобрнауки. Продолжалось финансирование по гранту ведущих научных школ — Школа Ахманова–Хохлова. Наряду с этим МЛЦ МГУ активно участвовал в ряде других ФЦП с финансированием через другие головные институты (см. раздел договоров в сводных таблицах). МЛЦ МГУ является исполнителем исследований по 26-и грантам Российского фонда фундаментальных исследований и 5-ти грантам зарубежных фондов (INTAS, CRDF).

С целью привлечения дополнительного финансирования в МЛЦ МГУ велись работы по контракту с Международным лазерным центром г. Братиславы (Словакия). Настоящая фаза работ характеризуется завершением работ и выполнением совместных исследовательских проектов в рамках контракта (см. список совместных публикаций в общем списке публикаций МЛЦ МГУ). Кроме того, начаты работы по контракту с университетами г. Оулу, Турку, и Йонсу (Финляндия).

По результатам выполняемых в МЛЦ МГУ научных исследований была опубликована 121 статья в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, сделано 120 докладов на российских и международных конференциях. В эти исследования активно вовлекались студенты различных факультетов МГУ — они стали авторами и соавторами более чем 50 статей и докладов.

Ниже приведены основные научные достижения МЛЦ МГУ за 2004 г.

1. Фундаментальные проблемы лазерной физики и нелинейной оптики

Экспериментально исследован спектр когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС) комбинационно-активных колебаний молекул азота в газовой фазе, содержащихся в мезопористой матрице аэрогеля диоксида кремния и пористом стекле.

Экспериментально продемонстрировано, что МС-волокна со специальным профилем дисперсии позволяют создавать высокоэффективные источники перестраиваемых сверхкоротких импульсов с гладкой огибающей и регулируемым чирпом для спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС) с высоким временным разрешением.

Экспериментально показана возможность поляризационного управления процессом трансформации спектра фемтосекундных лазерных импульсов в системе микронных и субмикронных нитевидных двулучепреломляющих кварцевых волноводных каналов МС-волокна.

Исследовано распределение поляризации светового поля в плоскости поперечного сечения пучка на удвоенной частоте, возникающем при отражении от поверхности изотропной гиротропной среды эллиптически поляризованного гауссова пучка основного излучения. Показано, что степень эллиптичности, угол поворота главной оси эллипса поляризации, а также характер вращения вектора электрического поля второй гармоники существенным образом меняются в плоскости поперечного сечения отраженной волны с ростом полярного угла. При нормальном падении гауссова пучка основного излучения на плоскую границу среды, в ряде случаев в поперечном сечении пучка на удвоенной частоте можно выделить сектора с различным вращением вектора электрического поля. Уравнения прямых, задающих эти сектора, выражаются через параметры, характеризующие квадратичную нелинейность среды и ее поверхности, а также пространственную дисперсию квадратичной нелинейности. Измерение угла между ними позволяет получить недоступную другим методам исследования спектроскопическую информацию о веществе.

Методом нестационарной КАРС спектроскопии показано, что дефазировка перехода $S_0(1)$ в естественной смеси H_2 демонстрирует значительное расхождение с моделью статистически независимых возмущений вращательного и поступательного движения молекул при плотностях в пределах нескольких десятых Амага, становящееся наиболее значительным при азотной температуре. В то же время, дефазировка перехода $S_0(0)$ удовлетворительно соответствует этой модели, так же как и дефазировка перехода $S_0(1)$ в буферном газе He. Отклонение от модели статистически независимых возмущений описывается путем введения параметра корреляции. Высказано предположение, что наблюдаемые особенности в характере дефазировки переходов $S_0(1)$ в естественной смеси H_2 связаны главным образом с проявлением резонансных дефазировочных столкновений.

На основе цикла экспериментов по нестационарной и стационарной КАРС-спектроскопии компонент фермиевского дублета молекул двуокиси углерода в условиях от разреженного газа до жидкой фазы предложена теоретическая модель для описания вращательной релаксации, основанная на введении функции вероятности вращательных переходов сравнительно простой формы и учитывающая взаимосвязь (корреляцию) процесса вращательной релаксации и столкновительного уширения. Показано, что вблизи перехода газ-жидкость и в окрестности критической точки дефазировка моды V_1 обусловлена практически полностью столкновительным сбоем фазы вследствие упругих столкновений, в то время как значительный вклад в дефазировку моды $2V_2$ обусловлен вкладом вращательной релаксации.

Реализована схема полностью твердотельного пикосекундного Nd:YAG лазера с импульсной диодной накачкой на основе электрооптической активной синхронизации мод и отрицательной обратной связи и полупроводникового нелинейного зеркала SESAM, обеспечивающая генерацию одиночных 30-пикосекундных импульсов с частотой повторения 1–100 Гц и с энергией в импульсе до 0,3 мДж.

Реализована схема пикосекундного Nd:YAG лазера с импульсной диодной накачкой, работающего в режиме самосинхронизации мод на основе электрооптической положительной и отрицательной обратной связи. В цепях обратной связи используется режим формирования пилообразных напряжений с крутыми фронтами. При оптимальной задержке между фронтами импульсов положительной и отрицательной обратной связи реализуется режим временной «щели», обеспечивающий генерацию пикосекундных импульсов длительностью до 30 пс. В то же время, отрица-

тельная обратная связь обеспечивает стабилизацию энергии пикосекундных импульсов.

2. Физические основы лазерных технологий

В отчетный период МЛЦ МГУ продолжал работы по международному контракту на создание в Международном лазерном центре Братиславы комплекса научного, научно-технологического и учебного оборудования. Контракт выполняется в рамках программы конверсии внешнего долга Российской Федерации перед Словацкой Республикой в соответствии с межправительственным соглашением. В результате выполнения работ укреплены материально-техническая и экспериментальная база МГУ. В ходе подготовки и выполнения совместных проектов в области науки и образования укрепляется научное взаимодействие со словацкими и европейскими специалистами. Выполнен цикл работ по созданию мультимедийных спецкурсов по лазерной физике и применениям лазеров.

Аналогичные работы выполнялись по международному контракту с университетом Оулу, Турку и Йонсу (Финляндия).

Разработана оригинальная методика численного решения прямой и обратной задач оптикоакустики для лазерного оптико-акустического томографа. На основе результатов моделирования проведена оптимизация условий облучения среды. Создана 64-элементная фокусированная антенна для диагностики рака молочной железы человека. При облучении среды излучением с длиной волны 1,064 мкм впервые экспериментально получены изображения поглощающего объекта – кусочка говяжьей печени, размером 2 мм, находящегося в мутной среде с оптическими свойствами, характерными для молочной железы человека, на глубине до 3,5 см. Показано, что использование излучения лазера на александрите позволит получать изображения объектов на глубине более 5 см.

Экспериментально исследована динамика наносекундного ультразвукового импульса в среде с двумя процессами релаксации. В диапазоне до 45 МГц измерены спектр затухания и дисперсия скорости звука.

Разработаны лазерный ультразвуковой метод измерения пористости печатной бумаги и неразрушающий оптико-акустический метод определения толщины субмикронных металлических покрытий по измерению эффективности оптико-акустического преобразования для системы, в которой напыленная на подложку металлическая пленка контактирует с иммерсионной жидкостью.

Создан офтальмологический датчик оптических aberrаций с частотой измерения до 77 Гц. Проведено экспериментальное исследование физиологических флуктуаций aberrаций глаза человека. Показано, что спектр этих флуктуаций лежит в области частот до 12 Гц.

Разработаны алгоритмы модальной оптической фазовой томографии работоспособные в условиях значительных масштабных преобразований. Получены аналитические выражения для решения

задачи томографического восстановления изображений безитерационным методом. Проведено численное моделирование функционирования алгоритма в условиях неточного задания положений фазовых экранов, ошибок измерения и шумов регистрации.

Решена обратная задача определения геометрических параметров адаптивных зеркал из вида распределения фазы, которого данное зеркало должно воспроизводить. Предложен уникальный алгоритм решения такой задачи, реализованный в виде пакета программ. Разработана и экспериментально реализована адаптивная модель искусственного глаза, моделирующая пространственно-временную динамику глаза. Проведены исследования свойств человеческого глаза, как рассеивающей, анизопланатичной среды.

3. Лазерная химия, биофизика и биомедицина

Теоретически исследована проблема управления хиральными состояниями молекул с помощью света. Конкретизированы общие требования к набору коротких лазерных импульсов, вызывающих цепочку резонансных дипольных переходов, когерентно связывающую симметричное и антисимметричное хиральные состояния. Выявленные ограничения применены для построения схем индуцирования динамической хиральности в молекуле перекиси водорода с использованием пикосекундных лазерных импульсов ближнего и среднего ИК-диапазона, настроенных в резонанс с различными колебательно-вращательными переходами. Предложена четырехимпульсная схема, в которой в приближении заданного поля требования на когерентность полей накачки выполняются на масштабах порядка нескольких сантиметров.

Проведен первичный анализ низкочастотных КР спектров модельных аминокислот (цистина и цистеина).

Методом время-разрешенной спектроскопии поглощения проведены исследования фотоиндуцированных преобразований катализатора инверсной функции белка-фермента α -химоотрипсина пара-азидо-бензо-18-Краун-6.

Методами флуоресцентной спектроскопии с временным разрешением и стационарной КР спектроскопии исследованы конформационные изменения белка-фермента пиррофосфатазы при его функционировании.

Разработан метод обработки и сравнения КР спектров биополимеров, основанный на применении специального Фурье-фильтра низких частот.

Исследована структура сигнала оптического когерентного томографа (ОКТ). Показано, в частности, что малый радиус детектора вместе с большим значением численной апертуры обеспечивает оптимальную конфигура-

цию ОКТ для измерения оптических свойств однородной среды по наклону сигнала.

Исследована структура сигнала оптического доплеровского томографа (ОДТ). Показано, в частности, что при больших концентрациях рассеивателей в потоке детектирование многократно рассеянных фотонов с помощью ОДТ ведет к искажениям и сдвигу максимума восстановленного профиля скорости. Однако если в детектируемом сигнале преобладает однократное рассеяние, то наблюдается хорошее соответствие восстановленного и исходного (пуазейлевского) профилей.

Исследованы возможности ослабления проходящего через кожу человека ультрафиолетового излучения Солнца с использованием наночастиц оксида титана. Показано, что существуют определенные размеры частиц, которые наиболее эффективно ослабляют излучение определенных длин волн. Эти размеры соответствуют максимуму зависимости фактора ослабления излучения от размера частицы для сильно выраженного поглощения (для УФ-излучения с длиной волны менее 380 нм).

Исследованы возможности медикаментозного улучшения микрореологических характеристик эритроцитов. Показано, что, хотя хирургическое вмешательство само по себе влияет на микрореологию эритроцитов, ослабляя их способность к деформации в сосудах, внутривенная инъекция препарата устраняет этот эффект.

Исследованы пороги термического влияния излучения He-Ne лазера (632.8 нм) на эритроциты при их облучении в объеме цельной крови *in vitro*. Показано, что при исследованиях нетермических влияний этого излучения необходимо использовать интенсивности, не превышающие 190 мВт/см^2 при температуре образца 30°C . При охлаждении проточной кюветы до этой температуры можно использовать интенсивности пучка вплоть до 350 мВт/см^2 .

Проведены теоретические и экспериментальные исследования воздействия света с различной поляризацией пучков на пленки азосодержащих полимеров с аморфными и жидкокристаллическими свойствами. Построена модель взаимодействия и на ее основе объяснена динамика записи голограмм в полимерных пленках. Исследован энергообмен световых пучков с искаженным волновым фронтом в режимах процесса установления и при фиксированной частотной расстройке пучков. Наблюдалась визуализация фазовых искажений, т.е. преобразование фазовой модуляции в амплитудную модуляцию.

Показано, что сопряженный полимер (на примере растворимой формы полипарафенилвинилена (МЕН-PPV)) может образовывать донорно-акцепторные межмолекулярные комплексы с переносом заряда (КПЗ) с низкомолекулярными органическими акцепторами как в растворе, так и в пленках. Методами спектроскопии комбинационного рассеяния света и ИК спектроскопии обнаружен ряд полос, испытывающих смещение по частоте в зависимости от соотношения донор-акцептор. Существенно, что энергия полосы КПЗ находится ниже основных полос поглощения как донора, так и акцептора, давая существенное поглощение в «красном» и ближнем

ИК диапазонах. Используя спектроскопию фотоиндуцированного поглощения и фотоэлектрические измерения, показано, что при фотовозбуждении в полосу КПЗ эффективно образуются долгоживущие состояния с разделенными зарядами. Полученные результаты указывают, что КПЗ на основе сопряженных полимеров могут быть использованы для создания фоточувствительных материалов в «красной» и ближней ИК области, что перспективно, в частности, для разработки полимерных солнечных фотоэлементов.

4. Получение сверхсильных световых полей и их применение

Предложена схема возбуждения ядер рентгеновскими линиями ионов лазерной плазмы с использованием двух фемтосекундных лазерных импульсов. При этом первый из импульсов формирует плазму заданной кратности ионизации, что позволяет подстроить энергии рентгеновских линий ионов мишени в резонанс с ядерным переходом, а второй служит для генерации горячих электронов, необходимых для генерации рентгеновского излучения. Впервые экспериментально продемонстрировано, что высокотемпературная фемтосекундная лазерная плазма, сформированная на свободной поверхности жидкости в вакууме, обладает во многом аналогичными свойствами с плазмой, сформированной на поверхности твердотельной мишени.

Проведены исследования процесса формирования плазменного канала в твердотельном веществе в режиме острой фокусировки фемтосекундного лазерного излучения микрожоульного уровня энергии. Предложена модель для описания процесса поглощения энергии в веществе при интенсивностях порядка 10^{13} Вт/см^2 , включающая потери энергии на ионизацию и нагрев электронной компоненты плазмы. Показано, что в плазменном канале интенсивность лазерного импульса достигает значений 10^{13} Вт/см^2 , плотность электронов плазмы — $6 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, средняя температура электронов составляет 3 эВ, изменение показателя преломления в канале 5% и коэффициент поглощения в канале $\sim 25 \text{ см}^{-1}$ при энергии лазерного импульса 1 мкДж.

Создана фемтосекундная импульсно-периодическая лазерная система на хром-форстерите с выходными параметрами: длина волны генерации 1.24 мкм, энергия в импульсе 1 мДж при длительности 115 фс при частоте повторений 50 Гц. Осуществлена высокоэффективная генерация второй и третьей гармоники. Достигнута эффективность преобразования 69% и 33% соответственно, что позволяет получить при фокусировке интенсивность более 10^{16} Вт/см^2 на длинах волн 1.24 мкм, 0.62 мкм и 0.4 мкм.

Создана система оптического гетеродинамирования на основе фемтосекундного хром-

форстеритового лазера с использованием балансной схемы компенсации шумов лазера. Проведены измерения зависимости гетеродинного сигнала от временной задержки при регистрации сигнала обратного рассеяния от сильно рассеивающего пористого объекта. Установлено, что в обратном сигнале присутствует “длинный хвост” с экспоненциальным спадом, обусловленный многократным рассеянием. Показатель данной экспоненты определяется временем жизни фотона в рассеивающем слое. По времени жизни фотона определены коэффициенты поглощения и рассеяния.

Разработан новый метод дейтерирования титановых мишеней, основанный на предварительном разогреве поверхности мишени коротким лазерным импульсом в атмосфере дейтерия. Достигнута концентрация атомов дейтерия в приповерхностном слое титановой мишени – 25%. Метод был успешно применен для инициирования термоядерной реакции в лазерной плазме титановой мишени, насыщенной дейтерием, при ее облучении фемтосекундными лазерными импульсами умеренной интенсивности $\sim 10^{16}$ Вт/см².

Исследована динамика формирования множества филаментов в поперечном сечении мощного фемтосекундного лазерного импульса с первоначальным возмущением интенсивности и при распространении в турбулентной атмосфере. Показано, что нестационарная интерференция при дефокусировке в лазерной плазме является причиной зарождения вторичных филаментов. Динамическая конкуренция сформировавшихся филаментов в течение импульса сокращает их протяженность и длину плазменных каналов.

Предложен, численно обоснован и экспериментально продемонстрирован метод упорядочения в пространстве хаотически расположенных филаментов в мощном фемтосекундном лазерном импульсе. Метод основывается на наложении регулярных возмущений светового поля в поперечном сечении импульса. Метод ориентирован на применение в фемтосекундных лидарных системах, работающих в условиях атмосферной турбулентности.

Экспериментально измерена динамика торможения ионов Ca^{6+} в процессе их взаимодействия с аэрогельной мишенью. Проведено молекулярно-динамическое моделирование равновесной и неравновесной неидеальной плазмы. Зарегистрирована синхронизация ферментов P450–B4 при оптическом возбуждении.

Проведено численное исследование взаимодействия сверхкоротких (50–200 фс) интенсивных (10^{16} – 10^{18} Вт/см²) световых импульсов с плотной плазмой на поверхности пористых мишеней. Продемонстрировано увеличение эффективности поглощения фемтосекундных импульсов в мишенях с высокой пористостью. Показано, что наличие наномасштабных пространственных неоднородностей существенно влияет на степень и характер разогрева электронов и ионов плазмы; в частности, средняя энергия и количество горячих электронов при облучении неоднородной плазмы оказываются существенно выше, чем в случае однородной плазмы той же плотности.

Численное исследование динамики электронов плазмы позволило выявить физические механизмы их нагрева в пористой среде.

Продемонстрирована возможность генерации одиночного аттосекундного рентгеновского импульса при отражении ультракороткого лазерного импульса релятивистской интенсивности от твердой мишени.

Предложен и исследован фазовый контроль надпороговой туннельной ионизации атомов в двухчастотных лазерных полях. Показано, что в двухчастотных полях возможен контроль как момента ионизации (в пределах оптического цикла), так и момента рекомбинации. Исследован случай специальной двухчастотной накачки с использованием эллиптически поляризованного излучения. Показано, что в этом случае возможна генерация когерентных электромагнитных импульсов предельно короткой длительности ~ 10 аттосекунд. Экспериментальная реализация таких импульсов обеспечит прорыв в развитии новых методов фемто- и аттосекундной диагностики быстропротекающих процессов.

5. Физика поверхности и наноструктур

Совместно с лабораторией проф. В.И. Панова (физический факультет) зарегистрирована генерация «оптических нановихрей» при дифракции лазерного излучения на металлизированных уединенных наностолбиках с характерными размерами (300x300x900 нм).

Предложена самосогласованная теория оптического отклика тонких и ультратонких металлических пленок (1–10 нм), показано, что в условиях возбуждения нечетных продольных коллективных мод, металлическая пленка нанометровой толщины может практически полностью отражать падающее оптическое излучение. Исследована генерация третьей гармоники при отражении фемтосекундных лазерных импульсов от металлической дифракционной решетки.

На примере кристалла ZnTe исследована эффективность генерации терагерцовых импульсов с помощью оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов. Экспериментально обнаружено существенное уменьшение мощности терагерцового излучения при уменьшении поперечного размера пучка лазерного излучения в кристалле. Наряду с конкуренцией процессов оптического выпрямления и двухфотонного поглощения данный эффект обусловлен уменьшением размера источника нелинейной поляризации. Процессы каскадного поглощения, генерации второй гармоники, дифракционной расходимости в меньшей степени влияют на эффективность оптического выпрямления. Определены оптимальные условия использования кристалла ZnTe <110> для получения наиболее эффективной генерации терагерцового излучения.

Найден способ прослеживания кинетики формирования приэлектродного запорного слоя – явления, присущего всем видам диэлектриков в постоянных полях. Доказано фундаментальное отличие компонент, ответственных за диэлектрическую дисперсию, в полярной и неполярной структурной фазах сегнетоэлектриков; Обнаружено и, в первом приближении, объяснено общее, ранее не изучавшееся явление – гигантский максимум высокочастотной проводимости в области сегнетоэлектрического фазового перехода.

Построена общая теория нелинейно-оптических свойств монослоев наночастиц на подложках. На основе этой теории проведено описание нелинейного отклика ансамбля наночастиц Ga вблизи точки фазового перехода.

Построена нелинейная теория самоорганизации гексагональных ансамблей макро и нанопор при травлении и окислении полупроводников и металлов. Теория объясняет различие в степени когерентности спонтанно образующихся ансамблей пор в Al_2O_3 , Si и InP и указывает способы направленного изменения масштаба и симметрии ансамбля пор.

Показано, что модель электронного нелинейного отклика, основанная на насыщении межзонных электронных переходов в «реальной» зонной структуре с «замороженной» энергетической щелью в спектре состояний, практически точно описывает все известные из эксперимента спектрально-временные особенности. Установлено, что спектральные особенности отклика ВТСП пленок обусловлены изменением фазовых соотношений между интерферирующими компонентами электронной нелинейной восприимчивости, наличие которых обусловлено коммутационными соотношениями в уравнении Лиувилля для матрицы плотности. Именно поэтому их характер очень слабо зависит от конкретного вида спектра электронных состояний, зависимостей чисел заполнения, дипольных моментов перехода и скоростей релаксации от квазиимпульса. Это объясняет то, что снижение уровня возбуждения (энергии импульса накачки) на 3-4 порядка приводит к исчезновению каких-либо особенностей на зависимости скорости процессов внутризонной релаксации от температуры в точке фазового перехода и снимает большую часть аргументов, высказывавшихся в пользу моделей, трактующих данные эксперимента «замораживанием» процессов внутризонной релаксации на поверхности Ферми.

Исследованы процессы излучательной рекомбинации экситонов в кремниевых нанокристаллах, окруженных акцепторами энергии. Обнаружена крайне эффективная передача энергии от экситонов к близкорасположенным акцепторам энергии. Найдены условия для достижения максимальной эффективности фотосенсибилизации молекул кислорода (получения синглетного кислорода) и люминесценции ионов эрбия в слоях пористого кремния и кремниевых нанокристаллов в матрице оксида кремния.

Отработана методика контроля эффективности фотосенсибилизации синглетного кислорода в ансамблях кремниевых нанокристаллов в различных кислородсодержащих газообразных и жидких средах.

Установлено, что при низких температурах (ниже 70K) квантовый выход генерации синглетного кислорода может достигать единицы, тогда как при комнатной температуре эффективность процесса меньше вследствие наличия конкурирующих процессов безызлучательной рекомбинации экситонов и безызлучательной деактивации молекул кислорода. Времена жизни молекул синглетного кислорода при низких температурах составили порядка 1 мс, тогда как при компактных температурах они лежат в микросекундном временном диапазоне.

Изучена модификация линейных и нелинейных свойств кремния, возникающая при его наноструктурировании. Показана применимость модели эффективной среды Бруггемана для описания линейных оптических свойств.

Наблюдались два новых нелинейно-оптических эффекта в nanoостровковых пленках серебра: генерация гигантской третьей гармоники и гиперрелеевское рассеяние третьего порядка (генерация некогерентной диффузной третьей гармоники).

Впервые наблюдалась генерация магнитоиндуцированной третьей гармоники в магнитофотонных кристаллах.

Проведен анализ возможных механизмов передачи возбуждения носителям и экситонам в коллоидных квантовых точках, а также механизмов подавления безызлучательных каналов диссипации энергии носителей в точках с пассивированной поверхностью. Анализ строился с учетом характеристик коллоидных квантовых точек CdSe, покрытых слоем ZnS, имеющихся в нашем распоряжении, на которых планировалось проведение экспериментов.

Для измерения спектров фотолюминесценции и возбуждения фотолюминесценции коллоидных квантовых точек CdSe с пассивированной ZnS поверхностью была создана экспериментальная установка, основу которой составляют два монохроматора (задающий и приемный) и широкополосный источник излучения. В качестве такого источника была выбрана ксеноновая лампа высокого давления с коротким разрядным промежутком (ХВО R 180 W/45). Одновременно имелась возможность возбуждать фотолюминесценцию квантовых точек излучением непрерывного He-Cd лазера и наносекундными импульсами второй гармоники YAG: Nd лазера, работающего в режиме модуляции добротности. При этом спектры фотолюминесценции и пропускания регистрировались на многоканальном оптическом анализаторе OVA 287.

Измерены спектры пропускания, фотолюминесценции и возбуждения фотолюминесценции двух типов образцов: квантовых точек CdSe двух различных (отличающихся в 5 раз) концентраций с пассивированной ZnS

поверхностью растворенных в толуоле и без него. Измерения проводились при температурах 77 и 300 К.

Измерены спектры фотолюминесценции образцов при различных уровнях наносекундного возбуждения. Было обнаружено, что с ростом уровня возбуждения в большей степени возрастает интенсивность высокочастотной части спектра, сопровождающаяся эффективным сдвигом максимума спектра фотолюминесценции в область больших энергий.

6. Квантовые компьютеры и обработка квантовой информации

Проанализирована микроскопическая структура физических преобразований, соответствующих введённому ранее классу супероператоров перепутывающего квантового измерения, и специфика их физической реализации. Предложена простейшая трёхкубитовая модель, позволяющая минимальными средствами реализовать квантовое измерение с произвольной степенью перепутанности. Рассмотрен специальный класс нечётких квантовых измерений как реалистичная модель широко представленных в физике измерений мягкого типа и проанализированы их информационные характеристики. Показано, что модель отбора квантовой информации с помощью невозмущающего измерения, обобщённого с учётом эффектов перепутанности, в наиболее явной форме суммирует фундаментальные отличия квантовой информации от классической. В частности, в задачах квантовой криптографии возможность рассмотрения регулируемой степени вмешательства Евы при использовании нечёткого измерения с целью получения секретной информации, передаваемой по каналу Алиса–Боб, позволяет использовать данную модель квантового измерения как наиболее простую физически содержательную модель взаимодействия потоков квантовой информации.

Развита квантовая теория двух последовательных параметрических процессов при учёте дифракционных эффектов, которая является основой квантовой теории изображений в квазиоптическом приближении. В рассмотренном взаимодействии имеет место параметрическое усиление и преобразование изображения на частотах как ниже, так и выше частоты накачки. Изучено поведение функций передачи в зависимости от длины взаимодействия и поперечного волнового числа. Выявлена возможность передачи изображения без искажений при взаимодействии волн с кратными частотами. Анализ последовательного взаимодействия волн с некротными частотами показал наличие трехмодового перепутывания, причём возможен режим взаимодействия, допускающий интерпретацию с точки зрения квантового эффекта Зенона.

В рамках проекта по спектроскопии квантовых и статистических свойств как пространственно-однородных объектов, так и объектов с регулярной и нерегулярной модуляцией по объёму линейных и нелинейных оптических параметров систем с обратной связью и процессов самовоздействия светового поля получены следующие результаты:

- Выполнен эксперимент по унитарным условным поляризационным преобразованиям бифотонного поля. Проведены эксперименты по приготовлению произвольных состояний бифотонов–кутритов и наблюдению ортогональности таких состояний поля. Разработан метод измерения произвольного состояния бифотонов–кутритов. Метод включает в себя как оптическую регистрационную часть, так и статистическую обработку экспериментальных данных – корневой метод оценки плотности вероятности состояний
- Исследован эффект расплывания корреляционной функции бифотонного поля в оптических волокнах и разработана методика приготовления бэлловских состояний на основе этого эффекта
- Реализован экспериментальный контроль над произвольным состоянием оптических трехуровневых квантовых систем. Разработан и экспериментально осуществлен операциональный критерий ортогональности для подобных систем.
- Исследованы некоторые особенности параметрического рассеяния света в полидоменных кристаллах с периодическим и случайным распределением доменов по объёму
- Разработана теоретическая модель, описывающая влияние пространственной структуры объектов на спектры параметрического рассеяния и параметрического преобразования света. На основе этой модели развита методика определения строения слоистых квазипериодических структур по спектрам спонтанного параметрического рассеяния света.

Учебная работа

Значительная часть учебной работы МЛЦ МГУ в 2004 г. была связана с программами дополнительного образования. Так по программе переподготовки кадров "Лазерная физика и технология" в 2004 г. обучалось 10 человек и еще 10 слушателей в течение года обучалось по программе "Нелинейная оптика и лазерная оптоакустика". Три человека прошло обучение по программе стажировки. По языковой программе лаборатории лингвострановедения, рассчитанной на сотрудников, аспирантов и студентов старших курсов МГУ, в 2004 г. обучалось 17 человек.

В учебно-методической работе, как и ранее, МЛЦ МГУ уделял в отчетном году значительное внимание привлечению молодежи (студентов и аспирантов) к современным научным исследованиям и к участию в конференциях и публикациях. В 2004 году 28 студентов

старших курсов физического факультета МГУ прошли в МЛЦ МГУ научную и преддипломную практику.

В 2004 г. в МЛЦ МГУ создан новый “Авторизованный учебный центр технологий National Instruments”, оснащенный современным оборудованием для сбора, обработки данных и автоматизации измерений. В центре оборудовано 10 посадочных мест для студентов, имеется проекционное оборудование для преподавателей. Для проведения занятий используется лицензионное программное обеспечение LabVIEW 7. В распоряжении центра есть 20 комплектов измерительного оборудования National Instruments, системы машинного зрения. Для проведения практических лабораторных работ по автоматизации измерений в центре оборудовано 10 тестовых стендов. На базе центра ведется подготовка слушателей для сдачи экзамена на международный сертификат Certified LabVIEW Associate Developer.

В 2005 году МЛЦ МГУ на базе созданного центра планирует открыть новую программу дополнительного образования «Современные системы автоматизации научных исследований», которая для удобства слушателей будет состоять из отдельных независимых блоков, среди которых можно выделить следующие:

- Основы систем сбора данных
- Вводный курс: сбор данных в LabVIEW
- Сбор данных и управление в LabVIEW
- Коммуникационные и другие возможности LabVIEW
- Основы систем автоматического управления
- Системы машинного зрения
- Создание систем сбора данных на КПК

С 4 по 6 апреля 2004 года МЛЦ МГУ провел Высшую лазерную школу - короткие курсы "Современные проблемы лазерной физики", посвященную памяти выдающегося профессора Московского университета, организатора Высших лазерных школ Сергея Александровича Ахманова, и 250-ти летию МГУ. Число участников Школы составило 120 человек, из них около 80 человек – это студенты, аспиранты и сотрудники физического факультета МГУ. Лекторами Школы были ведущие ученые из различных стран, в том числе, России, Нидерландов, Франции, Финляндии и Украины.

В июле 2004 г. МЛЦ МГУ совместно с Российским центром лазерной физики Санкт-Петербургского государственного университета провели Первый Российско-Французский семинар по лазерной физике для молодых ученых (RFLPW-YS). Семинар проходил в г. Санкт-Петербурге в период с 3 по 9 июля. В его работе участвовало 35 человек, включая 15 иностранных участников. МЛЦ МГУ организовало поездку на нее группы студентов, аспирантов и сотрудников физического факультета МГУ в количестве 6 человек.

Созданный ранее в МЛЦ МГУ мультимедийный конспект лекционного курса профессора В.В.

Шувалова "Введение в физику лазеров" в 2004 г. прошел регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам и получил Свидетельство № 2004612002 от 1 сентября 2004. Этот мультимедийный конспект занял первое место на конкурсе научных и учебно-методических работ МУНЦ «Фундаментальная оптика и спектроскопия» 2004 г.

Конференции

МЛЦ МГУ организовал и был соорганизатором 7 национальных и международных школ и конференций в 2004 г. Среди них следует особо отметить Высшую лазерную школу – короткие курсы “Современные проблемы лазерной физики”, Москва, Россия, 4-6 апреля, 2004 (100 участников), а также организацию First Russian-French Workshop on Laser Physics for Young Scientists, July 6-10, 2004, St. Petersburg, Russia (100 участников), в которые было вовлечено большое число студентов МГУ и др. ВУЗов.

Издательская деятельность

При финансовой поддержке МЛЦ МГУ осуществлено издание новой монографии А.М. Желтикова «Оптика микроструктурированных волокон». В книге изложены физические основы волноводной оптики микроструктурированных оптических волокон – световодов нового типа, отличающихся по своей архитектуре, принципу действия и свойствам от традиционных оптических волокон. В книге обсуждаются особенности волноводных режимов, механизмы усиления нелинейно-оптических взаимодействий и практические приложения микроструктурированных и фотонно-кристаллических волокон в различных областях научных исследований, включая оптику сверхкоротких импульсов, лазерную физику, нелинейную оптику, оптическую метрологию, лазерную биомедицину и лазерную фотохимию.

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 2004 г. МЛЦ МГУ велись работы по контракту с Международным лазерным центром г. Братиславы (Словакия). Настоящая фаза работ характеризуется завершением работ и выполнением совместных исследовательских проектов в рамках контракта (см. список совместных публикаций в общем списке публикаций МЛЦ МГУ). Кроме того, начаты работы по контракту с университетами г. Оулу, Турку, и Йонсу (Финляндия).

МЛЦ МГУ состоит коллективным членом российского отделения SPIE - The International Society for Optical Engineering и Лазерной Ассоциации. При МЛЦ МГУ успешно работает студенческое отделение SPIE.

Мероприятия, посвященные 250-ти летию МГУ

1. МЛЦ МГУ приняло участие в специализированной выставке оборудования, технологий и материалов лазерно-оптической и электронной промышленности LIC Russia 2005, прошедшей с 1 по 4 марта в выставочном комплексе в Сокольниках (Москва). На стенде МЛЦ МГУ были представлены новые научные разработки, приборы и прототипы приборов, созданных в МЛЦ МГУ, рассказано о новых образовательных программах. Сотрудники МЛЦ МГУ выступили организаторами и приглашенными докладчиками на круглом столе, посвященном проблемам информационного обеспечения работ по созданию и практическому освоению лазерной техники в СНГ и прошедшем в рамках мероприятий выставки.
2. Высшая лазерная школа - короткие курсы «Современные проблемы лазерной физики».
3. Публикация нового мультимедийного курса профессора В.В. Шувалова «Введение в физику лазеров».

Адрес веб-страницы:
<http://ilc.phys.msu.ru>