

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 2008 году на базе МЛЦ МГУ и физического факультета создан Центр измерительных технологий и промышленной автоматизации. На постоянной основе в центре работают более десяти сотрудников и аспирантов физического факультета и МЛЦ МГУ. Центр укомплектован самым современным контрольно-измерительным оборудованием и лицензионным программным обеспечением. В центре проводится обучение слушателей современным технологиям сбора данных, автоматизированного проектирования и управления производством. На базе центра планируется осуществление инновационных образовательных услуг. В настоящее время центр является авторизованным учебным центром компаний

National Instruments, SolidWorks Russia и Wonderware.

Наука

В 2008 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. Наряду с этим МЛЦ МГУ активно участвовал в ряде других ФЦП с финансированием через другие головные институты. МЛЦ МГУ является исполнителем исследований по 56-ти грантам Российского фонда фундаментальных исследований.

С целью привлечения дополнительного финансирования в МЛЦ МГУ велись работы по договорам с Международным лазерным центром г. Братиславы (Словакия), Университетом Турку (Финляндия), и др .

По результатам выполняемых в МЛЦ МГУ научных исследований была опубликована одна монография, 118 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 70 статей и докладов.

Ниже приведены основные научные достижения МЛЦ МГУ за 2008 г.

1. Фундаментальные проблемы лазерной физики и нелинейной оптики.

Выращена и исследована методом спонтанного параметрического рассеяния (СПР) серия образцов ниобата лития с аperiodической доменной структурой.

Предложен метод характеристики пространственного распределения нелинейности в таких кристаллах на основе спектров СПР.

Метод конструирования аperiodических нелинейных фотонных кристаллов (АНФК) применен для анализа возможности генерации высших оптических гармоник. Численно установлена возможность эффективной генерации в АНФК LiNbO_3 8-ой и 6-ой гармоник, возбуждаемых основным излучением с длинами волн 5,0 и 2,7 мкм. Суперпозиция высших гармоник может давать световые импульсы длительностью 850 и 620 аттосекунд.

Исследовано поперечное пространственное распределение электрического поля в волне на суммарной частоте, возникающей при отражении от плоской поверхности изотропной гиротропной среды двух эллиптически поляризованных пучков гауссова профиля, падающих на нее под произвольными углами так, что центры плоскостей перетяжек пучков основного излучения совпадают и лежат на границе среды. Установлено, что в первом приближении имеет место эллиптическая форма распределения интенсивности в плоскости поперечного сечения.

Выполнено моделирование и экспериментальное исследование дисперсионных свойств и модового состава нано- и микроструктурированных волокон. Показано, что целенаправленное микро- и наноструктурирование оболочки и сердцевин оптических волокон позволяет осуществить высокоэффективное спектральное и временное преобразование лазерных импульсов с начальными длительностями от десятков наносекунд до нескольких циклов светового поля в широком диапазоне пиковых мощностей от сотен ватт до нескольких гигаватт.

Изучены эффекты распространения фс лазерных импульсов в новых типах оптических волноводах с фотонно-кристаллической (ФК) оболочкой. Продемонстрирована возможность их использования для увеличения эффективности нелинейно-оптических процессов, в частности генерации суперконтинуума. Экспериментально изучена возможность управления архитектурой оболочки. Показана возможность создания эффективных и компактных нелинейно-оптических устройств (компрессоров, умножителей частоты, оптических переключателей) на основе ФК. Разработаны принципы микроскопии ближнего поля и управления движения атомов с помощью ФК-структур за счет использования эффекта локализации светового поля.

Обоснована возможность создания виртуальной направляющей системы из пучка плазменных каналов филаментов фс лазерных импульсов для передачи сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения в воздухе. Рассчитаны эффективная проводимость и глубина скин-слоя лазерной плазмы филаментов для СВЧ диапазона. Предложены оптимальные пространственные конфигурации плазменных каналов, соответствующие однопроводной линии

передачи и полуму цилиндрическому волноводу. Получены оценки энергетических потерь СВЧ излучения в плазменных волноводах различных конфигураций.

2. Физические основы лазерных технологий.

Создан лазерно-плазменный микроисточник импульсного рентгеновского излучения, использующий в качестве мишени кювету с расплавленным металлом. Источник имеет предельно малый размер излучающего пятна (около 3 мкм), высокую долговременную стабильность и не требует смещения или замены мишени в течение нескольких часов работы.

Запущен в эксплуатацию уникальный терагерцовый спектрометр для исследования веществ в твердой и жидкой фазах в условиях вакуума и низких температур (до 4 К). Созданы экспериментальные установки по генерации и детектированию импульсного терагерцового излучения с помощью оптического выпрямления в нелинейно-оптических кристаллах и в легированных полупроводниках.

Проведены исследования динамики формирования остаточных микромодификаций в плавленом кварце в режиме образования плазменного канала с помощью методики зондирования плазменного канала пробным лазерным импульсом. Разработан метод диагностики структуры прозрачных и слабодиссеивающих твердотельных сред с помощью генерации сигнала третьей гармоники на неоднородностях. Разработан метод определения относительной нелинейной восприимчивости третьего порядка по сигналу третьей гармоники на границе среды. Аномально быстрый рост сигнала третьей гармоники остросфокусированного фемтосекундного лазерного излучения с интенсивностью до 10^{13} Вт/см² в нанокристаллической пленке может быть объяснен вкладом в процесс генерации третьей гармоники нелинейности более высокого — пятого порядка.

3. Лазерная химия, биофизика и биомедицина.

Разработан новый метод лазерной ориентации молекул с использованием короткого, достаточно интенсивного трехчастотного сфазированного лазерного импульса. Численный анализ метода показал, что он является исключительно эффективным для ориентации молекул в газовой фазе даже при комнатной температуре. Проанализированы приложения метода к задачам абсолютного асимметричного синтеза энантиомеров из рацемической смеси хиральных молекул и

генерации THz излучения из газа двухатомных молекул.

Разработана математическая модель для анализа кооперативных низкочастотных колебательных мод в белковых молекулах при наличии взаимодействия с молекулами растворителя. Параметры модели соответствуют реальным биомакромолекулам.

Показано, что методы ATR-FTIR спектроскопии можно использовать для оценки степени окисления бумаги и выявления различий между областями равномерного пожелтения старой бумаги и фоксингами. Возможна также оценка содержания воды в образцах. Показано, что лазерное излучение может быть использовано для очистки (обесцвечивания) образцов старой бумаги.

Методами оптической спектроскопии показано, что полупроводниковые полимеры могут образовывать слабые межмолекулярные донорно-акцепторные комплексы с переносом заряда (КПЗ). Такие пленки перспективны для создания высокостабильных полупроводниковых тонкопленочных органических материалов, фоточувствительных в красной и ближней ИК областях спектра, в частности, для разработки полимерных солнечных фотоэлементов и фотодетекторов.

Разработаны персонализированные модели человеческих глаз пациентов, соответствующие измеренному статусу осевых и внеосевых аберраций.

Разработаны новые алгоритмы быстрого расчета параметров светорассеяния на оптически мягких частицах несферической формы, моделирующих эритроциты и эритроцитарные агрегаты. Исследовано поведение несферических частиц разной формы в поле оптической ловушки и рассчитаны силы, действующие на эти частицы со стороны лазерного пучка при различных параметрах частиц.

Экспериментально и теоретически исследована возможность использования пространственно- и время-разрешенной регистрации диффузного отражения фс лазерных импульсов света ближнего ИК диапазона для детектирования изменений оптических свойств дисперсных сред, в частности, вызываемых изменением в них уровня содержания глюкозы. Методом МК рассчитаны сигналы от многослойных фантомов биоткани.

4. Получение сверхсильных световых полей и их применение.

Исследована зависимость выхода жесткого рентгеновского излучения фемтосекундной лазерной плазмы от номера воздействующего лазерного импульса. Установлено, что эта зависимость имеет экстремум. При интенсивности излучения на поверхности мишени в вакууме $I \approx 10^{16}$ Вт/см² максимальное возрастание выхода жесткой ($E > 10$ кэВ) рентгеновской компоненты в канале алюминиевой мишени составило ≈ 2 раза ($P \approx 0,01$

Торр) и ≈ 4 раза ($P \approx 760$ Торр). Реализован двухимпульсный режим лазерного воздействия на твердотельную мишень, находящуюся при атмосферных условиях, когда первый импульс ($\tau \approx 30$ нс, $\lambda = 308$ нм, $I \approx 10^8$ Вт/см²) инициировал приповерхностный оптический пробой, обеспечивая формирование зоны разреженной плотности газа и, как следствие, подавление нелинейных процессов самовоздействия второго (фемтосекундного высокоинтенсивного) лазерного импульса ($\tau \approx 110$ фс, $\lambda = 1,24$ мкм, $I \approx 10^{16}$ Вт/см²) при его доставке на мишень. Установлена величина оптимального времени задержки между импульсами $\Delta t \approx 10$ мкс, при которой выход жесткого ($E > 2,5$ кэВ) рентгеновского излучения в эксперименте был максимальным.

Впервые проведены сравнительные измерения средней энергии горячей электронной компоненты плазмы на поверхности мишени и в абляционном канале. В вакууме обнаружено возрастание средней энергии горячей электронной компоненты плазмы мишени от $T_{hot} = 8 \pm 2$ кэВ (на поверхности) до $T_{hot} = 13 \pm 3$ кэВ (в канале) при интенсивности лазерного излучения на мишени $I \approx 10^{16}$ Вт/см².

Проведены эксперименты по взаимодействию фс лазерного излучения (1240 нм, 140 фс, 10^{16} Вт/см²) с кластерным пучком Хе в бинарной смеси Хе-Не. Получено сужение кластерного пучка Хе и увеличение выхода рентгеновских квантов в области около 4 кэВ при формировании кластеров Хе в присутствии легкого носителя Не. Эффективность генерации рентгеновского излучения была $\sim 10^{-8}$.

Экспериментально обнаружен эффект двукратного увеличения средней энергии горячих электронов до 300 МэВ при ухудшении наносекундного контраста лазерного излучения с интенсивностью основного импульса порядка 10^{18} Вт/см². Эффект является пороговым по интенсивности лазерного излучения и наблюдается при интенсивности свыше 5×10^{17} Вт/см².

Показано, что в релятивистском случае решение задачи о движении частицы в кулоновском поле, наряду со стандартным спектром состояний, содержит спектр глубоколежащих состояний, отвечающий состояниям античастиц. Глубоколежащие состояния описываются сингулярными в нуле, но нормируемыми волновыми функциями и определяют состояние ядра атома. На основе непертурбативной теории взаимодействия лазерного излучения с одиночным атомом проведены численные эксперименты по расчету зависимости угловых спектров

фотоэлектронов от напряженности электрического поля электромагнитной волны. Аналитический вид матричных элементов, а именно их зависимость от величины волнового вектора фотона и напряженности падающей волны, демонстрирует нарушение правил отбора по орбитальному квантовому числу в околоатомных полях. Нарушение правил отбора приводит к появлению дополнительных лепестков в угловом спектре фотоэлектронов.

5. Физика поверхности и наноструктур.

Развита теория самоорганизации упорядоченных ансамблей наноструктур на поверхности полупроводника CdTe при импульсном лазерном облучении. Построена теория размерного эффекта при лазерно-индуцированном образовании периодических микроструктур рельефа поверхности латуни в воде. На основе теории солитонов нового типа: нанометровых дефектно-деформационных солитонов в средах с градиентом деформации построен механизм дальнедействующего фотомеханического эффекта.

Зарегистрировано изменение топологии пространственного распределения интенсивности светового поля, формируемого уединенным прозрачным полимерным наноцилиндром при изменении направления поляризации падающего света относительно образца.

Зарегистрирован эффект самомодуляции профиля наноструктурированной пленки под воздействием света. Показано, что процесс двухфотонной ориентации в наноструктурированной пленке из азокрасителя AD-1 не приводит к разрушению молекул. Обнаружена локализация света на поверхности нанодоменов пленки из AD-1.

Разработана методика лабораторного выращивания нового материала для приложений в терагерцовом диапазоне частот — наноструктурированного оксигидроксида алюминия (НОА). Разработана методика получения двухкомпонентных наносистем, наполненных наночастицами оксидов TiO₂, ZrO₂, и другими.

6. Квантовые компьютеры и обработка квантовой информации.

Экспериментально исследованы поляризационные состояния бифотонов, рожденных при спонтанном параметрическом рассеянии (СПР) света в полидоменных кристаллах KDP. Определены значения мер перепутанности и поляризационные характеристики таких состояний. Исследована частотная и угловая структура амплитуды бифотона при СПР в простейших конфигурациях нелинейных кристаллов, приводящих к генерации поляризационно-перепутанных состояний.

Разработан метод генерации произвольного чистого состояния поляризационных состояний двухфотонного поля (куквартов). Обнаружено, что сегнетоэлектрические кристаллы, обладающие слоистой доменной структурой, могут генерировать

сильно перепутанные поляризационно-частотные состояния.

Метод конструирования аперриодических нелинейных фотонных кристаллов применен для анализа возможности генерации много-частотных перепутанных квантовых состояний. Развита квантовая теория трех связанных квазисинхронных параметрических процессов, протекающих в поле одной накачки. Показано, что перепутанность квантовых состояний при генерации суммарных частот в значительной мере сохраняется. Генерируемые четырёхчастотные перепутанные состояния использованы для квантовой телепортации неизвестных двухчастотных перепутанных состояний, вычислена точность телепортации.

Учебная работа

В рамках учебной работы МЛЦ МГУ в 2008 г. 17 студентов старших курсов физического факультета МГУ прошли в МЛЦ МГУ научно-исследовательскую и дипломную практику. Семь слушателей обучались по программе многомесячных стажировок, включая одного стажера из Малайзии. По языковой программе, рассчитанной на сотрудников, аспирантов и студентов старших курсов МГУ, обучалось 8 человек.

По программе повышения квалификации «Автоматизация измерений и управления экспериментом» в 2008 году прошло обучение 8 слушателей. Из них 3 человека в объеме 72 часа (краткосрочное повышение квалификации), 2 человека в объеме 144 часа и 1 человек в объеме 161 час. Кроме того, прошло обучение 10 студентов 1 курса (факультатив), 6 студентов 2 курса и 16 студентов 3 курса. Совместно с физическим факультетом созданы и введены в строй новые задачи практикума "Виброакустический анализ" и "Тензометрия".

В 2008 году созданный в МЛЦ МГУ лекционно-практический курс «Основы параллельного программирования» впервые был прочитан на альтернативной основе группе студентов 2-го курса физического факультета. Практическая часть курса включает параллельное программирование на вычислительном кластере МЛЦ МГУ в режиме дистанционной работы.

Конференции

МЛЦ МГУ организовал и был соорганизатором 10 национальных и международных школ и конференций в 2008 г. Среди них следует особо отметить Международную конференцию по применению лазеров в науках о жизни (LALS-

2008), которая с большим успехом была организована в г. Тайпей, Тайвань. В ней приняли участие около 300 человек, из которых российских участников — 12 человек. Также три конференции были проведены в рамках двухстороннего сотрудничества МЛЦ МГУ с Германией (Немецко-Российский Лазерный Симпозиум), Францией (Российско-Французская Летняя Школа для молодых ученых) и Тайванем (Российско-Тайваньский симпозиум).

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.

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.

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