

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 завершено создание уникального Центра 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 также 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).

Наука

В 2006 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 34-м грантам Российского фонда фундаментальных исследований.

С целью привлечения дополнительного финансирования в МЛЦ МГУ велись работы по контракту с Международным лазерным центром г. Братиславы (Словакия), который и был завершен в 2006 году. В его рамках был выполнен ряд совместных исследовательских проектов.

По результатам выполняемых в МЛЦ МГУ научных исследований было опубликовано 2 монографии, 2 учебника и одно учебно-методическое пособие, 5 сборников трудов, а также опубликовано 132 статьи в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, сделано 156 докладов 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 2006 г.

1. Фундаментальные проблемы лазерной

физики и нелинейной оптики. Развита последовательный метод получения гамильтонианов сверхтонких взаимодействий для атомарных систем. Метод основан на применении канонического лагранжева формализма к гамильтониану многочастичной системы с электромагнитным взаимодействием между частицами.

Продемонстрировано эффективное преобразование частоты излучения фемтосекундных лазерных источников на кристалле хром-форстерита в микроструктурированных волокнах, изготовленных из высоконелинейных стекол различных типов.

Экспериментально и теоретически показано, что за счет варьирования размеров и геометрии сердцевинки и оболочки волокна удается достигать значительного сдвига точки нулевой дисперсии групповой скорости, изменяя, тем самым, условия фазового согласования для четырехволновых взаимодействий и оптимизировать условия для генерации суперконтинуума.

Исследовано распространение эллиптически поляризованных световых импульсов в нелинейной изотропной среде с аномальной частотной дисперсией и пространственной дисперсией кубической нелинейности. Показано, что кубическая нелинейность обеспечивает на выходе из среды немонотонное изменение вдоль импульса степени эллиптичности и угла поворота главной оси эллипса поляризации. Для широкого класса нелинейных сред в результате распространения происходит формирование неоднородно эллиптически поляризованных во времени уединенных волн с временной огибающей колоколообразной формы. В зависимости от характеристик таких волн, а также значений параметров нелинейной среды, происходит формирование одного или нескольких новых эллиптически поляризованных импульсов, у которых временные огибающие интенсивности и зависимости параметров поляризации от времени имеют резко немонотонный вид.

Показано, что в приближении взаимодействия трех мод точное аналитическое решение задачи стационарного параметрического преобразования частоты, в том числе генерации второй гармоники и параметрического усиления в среде с квадратичной нелинейностью сводится к решению трех независимых систем нелинейных уравнений. Каждая из этих систем состоит из двух нелинейных уравнений Шредингера, связана с остальными системами лишь через граничные условия и описывает многокомпонентную кноидальную волну, содержащую две неинтерферирующие составляющие.

Исследовано когерентное эхо, возбуждаемое ультракоротким терагерцовым импульсом поля. Показано, что с его помощью возможно исследование временной динамики вращательной дефазировки молекул в газовой фазе.

Исследован процесс генерации мощного ТГц излучения в нелинейно-оптических кристаллах типа телурида цинка. Достигнута напряженность ТГц поля в импульсе длительностью 1 пикосекунда более чем 1 киловольт на сантиметр.

Модифицирован программный комплекс для моделирования анизопланатизма адаптивных оптических систем с учетом дифракции света на атмосферных неоднородностях. Проведены оценки влияния дифракционных эффектов в атмосфере при слабой турбулентности на работу адаптивной оптической системы. Разработана модификация Байесовского подхода к оценке коэффициентов аберраций ненаблюдаемого объекта по измерениям одного или нескольких наблюдаемых опорных источников.

Установлено, что диэлектрическая дисперсия в сегнетоэлектриках является нестационарной, времязависимой характеристикой и не может рассматриваться как объективная мера состояния полярного диэлектрика.

2. Физические основы лазерных технологий. В отчетный период МЛЦ МГУ завершил 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 укреплен материально-технический и экспериментальная база МГУ. В ходе подготовки и выполнения совместных проектов в области науки и образования укрепляется научное взаимодействие со словацкими и европейскими специалистами.

Впервые проведены сравнительные исследования формирования углеродных пленок методами прямого и обратного лазерного напыления в атмосфере азота с использованием импульсов фемтосекундной длительности. Обнаружено, что поверхность пленки обратного напыления практически свободна от микрочастиц, в изобилии покрывающих поверхность пленки прямого напыления. Определены скорости абляции пениграфита, а также объемы выносимого и напыляемого материала за выстрел.

По временному профилю возбуждаемого оптико-акустического импульса на длине волны лазерного излучения 1,064 мкм проведены измерения *in-vitro* зависимости эффективности оптико-акустического преобразования от температуры в говяжьей печени.

Разработан лазерный ультразвуковой метод диагностики остаточных напряжений в металлах. В основе метода лежат прецизионные времяпролетные измерения скорости поверхностных акустических волн, возбуждаемых лазерным излучением.

Проведено комплексное исследование высокоэнергетических состояний и фазовых

переходов свинца при воздействии наносекундного лазерного импульса в широком диапазоне интенсивностей. Динамика термодинамического состояния металла анализируется по форме и амплитуде импульса давления, распространяющегося от нагреваемой поверхности и по изменению отражательной способности облучаемой поверхности металла.

Совместно с сотрудниками Института кристаллографии им. В.А. Шубникова РАН разработан и изготовлен рентгеновский микроскоп на основе асимметричного отражения от кристаллов с двадцатикратным двумерным увеличением с использованием лабораторного источника излучения.

3. Лазерная химия, биофизика и биомедицина.

Экспериментально реализован макет аберрометра для измерения аберраций человеческого глаза методами адаптивной оптики. Предложена уникальная методика расширения зоны высокого разрешения изображения глазного дна, получаемого с помощью фундус-камер. Экспериментально продемонстрирована возможность генерации вихревых пучков разных порядков с помощью жидкокристаллического транспаранта и гибкого биморфного зеркала. Предложена модификация алгоритма Гершберга-Сакстона, позволяющая формировать заданные световые поля многомодового излучения.

Предложена новая схема лазерного асимметричного синтеза энантиомеров молекул H_2O_2 из рацемической смеси без их предварительной ориентации. Предложен принципиально новый подход к контролю трехмерной ориентации молекул, базирующийся на одновременном воздействии электростатического и резонансных лазерных полей на ансамбль молекул.

Методами время-разрешенной спектроскопии поглощения и жидкостной хроматографии проведены исследования фотоиндуцированных преобразований фоточувствительного субстрата для белка-фермента α -химотрипсина.

Показано, что устойчивость фазовой функции Хени-Гринштейна позволяет резко ускорить решение задачи распространения света через сильно рассеивающие объекты с использованием той же, что и в исходной постановке задачи априорной информации о процессах взаимодействия. В рамках стандартного предположения о статистической независимости длины свободного пробега фотона и угла его рассеяния получено точное аналитическое выражение, связывающее эффективное число актов рассеяния с длиной оптического пути.

Получены спектры в субтерагерцовой области частот в макроскопическом объеме жидкой воды и водных растворов белков в диапазоне ± 3.5 см⁻¹, включающем в себя резонансы Бриллюэна, узкую и широкую части крыла Релея и возможные КР резонансы, относящиеся к колебательным и ориентационным движениям крупных молекулярных фрагментов, а также проведены измерения фрактальной размерности дистиллированной воды и водного раствора белка с помощью нелинейной

спектроскопии четырехфотонного рассеяния.

Разработана и создана рабочая модель компактного поляризационного капилляроскопа, обеспечивающего более высокий контраст изображения кровеносных капилляров по сравнению с его неполяризационным аналогом.

Проведено исследование временного профиля фемтосекундного импульса при его распространении в средах с высокой анизотропией рассеяния, соответствующей в частности суспензии эритроцитов и их агрегатов. Предложен итерационный метод, основанный на разложении светового поля в ряд по кратностям рассеяния фотонов с выделением многократно рассеянной компоненты.

Проведены эксперименты по определению глубинного профиля поверхностно нанесенных наночастиц диоксида титана, играющих роль физических УФ-фильтров, в роговом слое кожи человека и животных.

Создана математическая модель жидкой воды в виде идеальной смеси водных кластеров, находящихся в динамическом равновесии, для описания температурной зависимости валентной полосы в КР-спектрах.

4. Получение сверхсильных световых полей и их применение. В МЛЦ МГУ создан центр коллективного пользования по проблемам сверхсильных световых полей и фемтосекундных лазерных технологий, базирующийся на тераваттной фемтосекундной лазерной системе на сапфире с титаном со следующими характеристиками: длина волны 800 нм, длительность импульса 40 фс, энергия в импульсе до 40 мДж, стабильность по энергии 3% rms, частота следования импульсов 10 Гц, пространственное качество пучка $M_2 \sim 2$. В рамках проектов этого ЦКФ получены следующие результаты.

Исследована зависимость угла поворота плоскости поляризации в кристалле BaF_2 от интенсивности излучения фемтосекундного лазерного излучения на длине волны 0.62 мкм в процессе вида $\omega = \omega + \omega - \omega$ на кубической нелинейности $\chi^{(3)}$. Впервые наблюдается аномальное увеличение эффективности генерации кросс-поляризованного излучения при $I > 2 \cdot 10^{12}$ Вт/см². Получена эффективность генерации ортогональной компоненты 10% при интенсивности порядка 3×10^{12} Вт/см².

На основе анализа экспериментальных данных и численного моделирования развита модель формирования быстрых ионов на резкой границе плазма-вакуум, объясняющая основные особенности ионных спектров: наличие ионов с высокой кратностью ионизации, преимущественное ускорение определенного типа ионов и др. Выявлена

роль амбиполярного поля, формирующегося на резкой границе горячей плотной плазмы, в формировании зарядового состава быстрых тяжелых ионов. Показано, что в условиях импульсной лазерной очистки возможно формирование квазимоноэнергетических пучков протонов и многозарядных легких ионов.

Экспериментально продемонстрировано, что высокотемпературная фемтосекундная лазерная плазма, сформированная на свободной поверхности жидкого металла (галлий, висмут, индий и др.), обеспечивает стабильную эффективную генерацию жесткого рентгеновского излучения при частоте следования импульсов 10 Гц в течение более чем 50000 импульсов (более 1 часа непрерывной работы).

Исследовано влияние флуктуаций показателя преломления на филаментацию суб-тераваттного фемтосекундного импульса на километровой трассе в турбулентной атмосфере. Предложен оригинальный метод численного моделирования филаментации импульса на протяженной атмосферной трассе, в котором используются аналитические решения для частотно модулированного импульса в воздухе.

Показано более чем двукратное уменьшение длительности мощного фемтосекундного лазерного импульса в объеме воздушной среды в условиях дифракции, керровской нелинейности, генерации свободных электронов, материальной дисперсии и волновой нестационарности.

5. Физика поверхности и наноструктур.

Обнаружена возможность получения аттосекундных импульсов высокой интенсивности при взаимодействии релятивистских лазерных импульсов с тонкими пленками. Показано, что выделение ограниченных участков в спектрах как отраженного, так и прошедшего сквозь тонкий плазменный слой света с помощью полосового фильтра позволяет получать одиночные аттосекундные импульсы с интенсивностью, достигающей нескольких процентов от интенсивности возбуждающего света.

Экспериментально и теоретически исследованы кинетика и механизмы дефазировки обеих компонент фермиевского дублета двуокиси углерода в широкой области плотностей от разреженного газа до сжатой жидкости с помощью методов спектроскопии стационарного и нестационарного рассеяния КАРС. Получены экспериментальные данные по уширению и сдвигу обеих полос фермиевского дублета в нанопористом стекле при плотностях, соответствующих плотному газу и жидкости.

При экспериментальном исследовании пространственного распределения поля, созданного уединенным прозрачным полимерном наноцилиндром, были зарегистрированы оптические вихри интенсивности, т.е. в поперечных сечениях, перпендикулярных оси цилиндра и направлению распространения света наблюдалась не кольцевая структура распределения интенсивности света, а спиральная.

Было обнаружено явление наведенной оптической анизотропии рассеяния на наноструктурированных твердотельных пленках из

азокрасителя AD-1.

Исследована генерация оптических гармоник при возбуждении поверхностного плазмона в коллинеарной схеме на металлической дифракционной решетке. Установлено, что для второй и третьей оптических гармоник интенсивность первого порядка дифракции превосходит более чем в 10 раз интенсивность второго порядка дифракции.

Построена теория самоорганизации упорядоченных ансамблей наноструктур на поверхности полупроводников при лазерном и ионном облучении. Построена теория кристаллизации нанокластеров кремния в матрице двуокиси кремния.

6. Квантовые компьютеры и обработка квантовой информации. Разработана концепция обобщенных квантовых измерений, в которой квантовое измерение определяется как преобразование, устанавливающее однозначное соответствие между начальными состояниями измеряемого объекта и конечными состояниями совместной системы объект-прибор с помощью классического информационного индекса, связанного с классически-совместимым набором квантовых состояний.

Впервые выполнен теоретический анализ взаимодействия трехуровневого атома в I-конфигурации с частотно-модулированным полем при наличии эффекта когерентного пленения населенности.

Разработана квантовая теория параметрического усиления и преобразования оптического изображения в последовательных связанных нелинейно-оптических процессах с учетом эффектов дифракции и дисперсии нелинейно-оптического кристалла.

Развит новый метод реализации связанных нелинейно-оптических процессов в нелинейных кристаллах с аperiodической доменной структурой. Детально изучен процесс взаимодействия пяти волн с различными частотами. Для установления перепутанности генерируемых разночастотных фотонов использованы критерии сепарабельности, в основе которых лежит расчет дисперсий и корреляционной матрицы квадратурных компонент. Показано, что в рассмотренном процессе формируются полностью перепутанное трёхчастотное поле.

Учебная работа

В 2006 году 26 студентов старших курсов физического факультета МГУ прошли в МЛЦ МГУ научную и преддипломную практику. В этом же году в МЛЦ МГУ обучались 4 стажера, включая одного иностранного. По языковой программе лаборатории лингвострановедения, рассчитанной на сотрудников, аспирантов и студентов старших

курсов МГУ, обучалось 7 человек.

В 2006 году МЛЦ МГУ расширил программу дополнительного образования «Автоматизация измерений и управления экспериментом». Начиная с сентября 2006 г., в нее были включены два новых блока «Система автоматизированного проектирования САПР» и «Система автоматизированного проектирования SolidWorks». В настоящее время специалисты по этим системам являются одними из наиболее востребованных на рынке современных систем автоматизированного проектирования. Объем каждого блока составляет 72 учебных часов. По программе повышения квалификации «Автоматизация измерений и управления экспериментом» в 2006 году прошло обучение 11 человек. Кроме того, по этой программе прошли обучение две группы студентов, аспирантов и сотрудников МГУ.

В 2006 году третий раз был прочитан созданный в МЛЦ МГУ факультативный лекционно-практический курс «Основы параллельного программирования» для студентов 4-го курса физического факультета. Практическая часть курса включает параллельное программирование на вычислительном кластере МЛЦ МГУ.

Конференции

В 2006 г. большая работа была проделана в МЛЦ МГУ по организации и проведению молодежных Школ, семинаров и конференций.

МЛЦ МГУ организовал и провел совместно с физическим факультетом на базе санаторно-оздоровительного и образовательного комплекса «Вятичи» Вторую международную молодежную школу «Современные проблемы лазерной физики» (10-13 октября 2006 г.). Школа была посвящена 80-летию со дня рождения академика Рема Викторовича Хохлова, одного из первооткрывателей нелинейной оптики и лазерной физики. Молодые ученые, последователи научной школы Р.В. Хохлова, студенты и аспиранты в течение трех дней имели возможность изучить последние достижения мировой науки в этой области. Тематика Школы включала такие разделы лазерной физики, как фемтосекундная оптика и сверхсильные оптические поля, квантовая информация и квантовая криптография, нелинейная оптика. В работе Школы приняло участие около 230 человек. Традиционно, наряду со слушателями из Москвы, на эту Школу приехали большие группы слушателей из Санкт-Петербурга (СПбГУ ИТМО и физический факультет СПбГУ), Нижнего Новгорода (ИПФ РАН), Киева (ИФ НАНУ) и др. Среди лекторов были ученые из Австрии, Германии, Италии, Нидерландов, России, Украины и Японии. Научная программа Школы, состоявшая из девяти полуторачасовых и семи 50-ти минутных лекций, была полностью выполнена.

Впервые на Школе доклады молодых ученых прозвучали в устной форме. На Молодежной секции было сделано 19 докладов. Тезисы докладов опубликованы в трудах Школы и розданы всем

участникам во время регистрации. На Школе, также впервые, работали представители прессы от РФФИ.

МЛЦ МГУ совместно с коллегами из Российского центра лазерной физики Санкт-Петербургского университета провели в период с 26 по 30 июня 2006 г. Молодежную конференцию LOYS-06 - спутник "взрослой конференции" Оптика Лазеров. Кроме этого совместно с коллегами из Франции был организован и с 3 по 6 октября 2006 г. проведен Российско-французский семинар для молодых ученых «Лазерная физика: приложения к атомной физике и наукам о материалах». Семинар прошел в г. Уш (Франция). В его работе приняло участие около 35 человек, в том числе 14 человек с российской стороны.

В период с 16 по 20 октября 2006 г. МЛЦ МГУ совместно с Санкт-Петербургским институтом точной механики и оптики организовали и провели в г. Санкт-Петербурге IV Международную конференцию «Фундаментальные проблемы оптики-2006». МЛЦ МГУ организовало поездку на нее группы студентов и аспирантов физического факультета МГУ.

Кроме того, МЛЦ МГУ был соорганизатором конференций Applied Laser Technologies (ALT-2006), Румыния, 8-12 сентября 2006 г., 200 участников и Laser Physics 2006 в Лазанне, Швейцария, 20-25 июня 2006 г., 300 участников.

Издательская деятельность

Издан обновленный буклет о МЛЦ МГУ и кафедре Общей Физики и Волновых Процессов Физического факультета МГУ.

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>