

## 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 МГУ, 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 связывает фундаментальные исследования в области лазерной физики и нелинейной оптики с прикладными исследованиями, использующими лазерные методы в биологии, медицине, химии и других науках.

МЛЦ МГУ является обособленным подразделением МГУ. 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. МЛЦ МГУ координирует проведение крупных междисциплинарных научно-технических программ и проектов в области лазерной физики и нелинейной оптики, является организатором крупных Международных конференций и школ.

### Наука

В 2010 г. МЛЦ МГУ проводил научную работу по следующим основным направлениям:

- Фундаментальные проблемы лазерной физики и нелинейной оптики
- Перспективные лазерные технологии
- Лазерная химия, биофизика и биомедицина
- Сверхсильные световые поля и их применение
- Физика поверхности и наноструктур;
- Квантовая оптика и физика квантовой информации.

МЛЦ МГУ является исполнителем исследований по 79-ти грантам Российского фонда фундаментальных исследований и по 11 проектам федеральных целевых и научно-технических программ.

С целью привлечения дополнительного финансирования в МЛЦ МГУ велись работы по договорам с различными государственными и коммерческими организациями и выполнялись международные контракты.

По результатам выполняемых в МЛЦ МГУ научных исследований было опубликовано 102 статьи в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, сделано 177 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 2010 г.

**В нелинейной оптике и лазерной физике** с помощью импульсного ТГц излучения в широком диапазоне температур исследованы диэлектрические свойства нового композитного материала на основе кристалла дигидрофосфата калия и нанокристаллов  $\text{TiO}_2$ . Продемонстрировано существенное изменение диэлектрической проницаемости материала при понижении температуры ниже точки Кюри. Экспериментально показана возможность возбуждения широкополосного ТГц плазмона при освещении металла вдоль поверхности. Измерено брэгговское отражение ТГц поверхностного плазмона. Исследован процесс генерации импульсного ТГц излучения в плазме оптического пробоя в воздухе и благородных газах. Показана доминирующая роль многофотонной ионизации в формировании профиля ТГц импульса.

Исследованы новые источники перестраиваемого излучения для нелинейной спектроскопии и микроскопии на основе фотонно-кристаллических волноводов с полнотелой и полой сердцевиной; проведен анализ дисперсионных свойств и моделирование физических процессов нелинейно-оптической трансформации спектра сверхкоротких импульсов в фотонно-кристаллических волокнах, включающих явления фазовой само- и кроссмодуляции, четырехволновые взаимодействия и солитонный сдвиг частоты; разработаны физические принципы полностью оптической синхронизации предельно коротких импульсов накачки и затравки в схеме оптического параметрического усиления импульсов длительностью, соответствующей нескольким периодам светового поля, в том числе, в источниках световых импульсов сверхвысокой мощности.

Исследовано появление сингулярностей поляризации в поперечном сечении неоднородно поляризованного светового пучка на удвоенной частоте, генерируемого от поверхности изотропной гиротропной среды эллиптически поляризованным гауссовым пучком основного излучения в геометрии нормального падения. Установлено, что для любых значений параметров нелинейной среды существуют состояния поляризации падающего пучка, при которых в сигнальном пучке формируются С и L линии, в точках которых излучение соответственно циркулярно или линейно поляризовано. Показана возможность определения с их помощью компонент тензоров, характеризующих локальный и нелокальный нелинейные отклики среды и ее поверхности. Показано, что в изотропных средах с нелинейностью керровского типа и нелинейной гиротропией поля-

ризация распространяющейся волны имеет весьма сложную динамику, которая в зависимости от условий эксперимента может быть как периодической — случай эллиптически поляризованной кноидальной волны, так и аперiodической — «поляризационный хаос».

**В области разработки основ новых лазерных технологий** разработана лабораторная технология получения органических солнечных фотоэлементов: полимерных солнечных фотоэлементов и ячеек, сенсibilизированных органическим красителем.

Разработано и создано устройство для скалывания монокристаллов полупроводников *in situ* в условиях сверхвысокого вакуума. Конструкция устройства предусматривает наличие в сверхвысоковакуумной камере единственного манипулятора *wobble-stick*. Работа устройства проверена на сверхвысоковакуумной установке фирмы Omicron при исследовании монокристаллов InAs (110) с n- и p- типами объемной проводимости.

**В лазерной химии, биофизике и биомедицине** изучены возможности модификации оптических свойств кожи наночастицами в целях минимизации пропускания ею излучения УФ и коротковолновой части видимого диапазона, индуцирующего опасные заболевания. Исследован характер взаимодействия наночастиц с красными клетками и белками плазмы крови *in vitro*.

Показано, что комплексы с переносом заряда (КПЗ) между полупроводниковыми полимерами и низкомолекулярными органическими акцепторами играют важную роль в фотофизике органических солнечных фотоэлементов, влияя на рекомбинацию зарядов и на морфологию донорно-акцепторного композита.

Продемонстрирована эффективность методов лазерной спектроскопии для неразрушающей диагностики материалов древнерусских живописных произведений.

**В физике сверхсильных световых полей** предложена и реализована новая схема получения мощных оптических импульсов длительностью в несколько периодов светового поля на основе явления филаментации коллимированного фемтосекундного лазерного излучения в благородных газах. Получены стабильные импульсы длительностью 8 фс с энергией в несколько сот микроджоулей. Обнаружено, что при филаментации фемтосекундного исходно коллимированного лазерного излучения в молекулярном газе в центральной части филамента формируется солитонобразный импульс, смещающийся с расстоянием по спектру в ИК область. Впервые исследована филаментация фемтосекундного лазерного импульса субтераваттной мощности в атмосфере, замутненной водным аэрозолем. Установлено, что многократное рассеяние на частицах вызывает как иницирование множественной филаментации на возмущениях поля, возникающих при рассеянии, так и уменьшение числа филаментов, вплоть до их исчезновения, из-за ослабления мощности при рассеянии.

Исследованы спектры второй гармоники, генерируемой в канале твердотельной мишени, формируемой при импульсно-периодическом воздействии в одну точку мишени фемтосекундного лазерного излучения системы на титан-сапфире. Обнаружено, что модификация генерируемого спектра не зависит существенно от контраста лазерного излучения.

Обнаружена генерация когерентных фононов<sup>2</sup> в процессе генерации микроплазмы в подповерхностной области мишени из кристаллического кварца при острой фокусировке в нее излучения фемтосекундного лазера с интенсивностью более  $10^{13}$  Вт/см<sup>2</sup>.

Установлено, что при формировании крупных кластеров SF<sub>6</sub> генерация характеристического рентгеновского излучения происходит с высокой эффективностью и плотность потока характеристических рентгеновских фотонов составляет 100 квантов/мрад<sup>2</sup> на импульс при энергии лазерного импульса 5 мДж. Показано, что для характеристики пространственных размеров газо-кластерной струи и области кластерной плазмы, может быть использована генерация третьей гармоники.

Развита теория ионизации многоуровневого атома ультракороткими лазерными импульсами. Показано, что зависимость вероятности ионизации от напряженности лазерного импульса совпадает с формулой Келдыша в субатомной области. При этом в области околоатомной напряженности лазерного импульса вероятность ионизации может принимать значения как меньшие (стабилизация ионизации), так и большие (ускоренная ионизация) чем значения, предсказываемых теорией Келдыша.

Разработаны схемы лазерно-электронного генератора рентгеновского излучения на основе томсоновского рассеяния пикосекундных лазерных импульсов на банчах релятивистских электронов. Такие генераторы могут применяться в рентгеновской спектроскопии, коронарной ангиографии и микрофотографии.

**В физике поверхности и наноструктур** методами сканирующей зондовой микроскопии и спектроскопии был проведен ряд экспериментальных исследований: изучена начальная стадия адсорбции серебра на поверхности кремния Si(110); изучены процессы роста и начальной стадии адсорбции фуллеренов C<sub>60</sub> на поверхности Bi(0001)/Si(111); изучена адсорбция индивидуальных молекул фторированных фуллеренов C<sub>60</sub>F<sub>18</sub> на поверхности Si(111)-7'7. Эти результаты могут служить основой для дальнейшего развития технологии создания тонкопленочных транзисторов на основе фуллеренов.

Разработана методика нелинейно-оптической спектроскопической диагностики фазового состояния молекулярных сред в нанопорах. Анализ спектрального поведения заполняющей поры молекулярной среды позволяет получать информацию о параметрах нанопористой матрицы.

При исследовании процессов ориентации и фотоиндуцированного изменения рельефа в тонких наноструктурированных пленках из азокрасителя AD-1 был обнаружен новый эффект фотоиндуцированного изменения рельефа пленки из твердого азокрасителя под действием света, однородного вдоль поверхности пленки как по интенсивности, так и по поляризации.

Экспериментально зарегистрирован новый эффект формирования локальных провалов интенсивности лазерного излучения He-Ne лазера, прошедшего сквозь кристаллически-структурированную пленку.

Разработана линейная теория самоорганизации поверхностных наноструктур с учетом эффектов самонаведенной анизотропии поверхности при действии ионных и лазерных пучков на твердые тела.

**В квантовой оптике и квантовой информации** развита квантовая теория параметрического усиления и преобразования частоты оптического изображения в связанных нелинейно-оптических процессах. Предложена и проанализирована схема телепортации перепутанных оптических изображений при использовании изученных четырехчастотных оптических изображений, рассчитана точность телепортации таких изображений.

Применительно к задачам метрологии проведено изучение спектров резонансов когерентного пленения населенности (КПН), возбуждаемых на зеемановских подуровнях на переходе  $F_g=2 \rightarrow F_e=1$  D<sub>1</sub>-линии поглощения атома <sup>87</sup>Rb частотно-модулированным полем для различных значений индукции магнитного поля.

Изучен новый тип оптической дипольной ловушки — фемтосекундная дипольная ловушка, позволяющая проводить эксперименты с одиночными атомами в отсутствие внешних полей.

## Учебная работа

В 2010 году 15 студентов старших курсов физического факультета МГУ прошли в МЛЦ МГУ научно-исследовательскую и дипломную практику. Двухмесячную стажировку в МЛЦ МГУ прошел один иностранный стажер из Франции. 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 2010 году прошло обучение 5 слушателей. Из них один в объеме 72 часа (краткосрочное повышение квалификации), и 4 человека в объеме 144 часа.

Во втором полугодии 2010 года прошли обучение 8 студентов второго курса и 15 студентов 3-4 курсов физического факультета по образовательной программе «Новые технологии автоматизации эксперимента, обработки данных и компьютерного моделирования». Часть студентов приняло участие в конкурсе Робототехника (апрель 2010) и в конференции «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments – 2010». По программе "Основы LabVIEW" и "Программирование систем сбора данных National Instruments" прошло обучение 9 слушателей из МГТУ имени Н.Э. Баумана.

## Конференции

МЛЦ МГУ организовал и был соорганизатором 7-ми национальных и международных школ и конференций в 2010 г. Среди них следует особо отметить одну из крупнейших в России и в мире связку Международных конференций по когерентной и нелинейной оптике и по лазерам, их применениям и лазерным технологиям

(ICONO/LAT 2010), организованную в Казани с 23 по 26 августа 2010 года. Эти конференции собрали около тысячи участников, из которых четверть — зарубежные докладчики из ведущих институтов и лабораторий мира. В рамках этих конференций МЛЦ МГУ организовал совместно с Казанским физико-техническим институтом им. Е. К. Завойского РАН Школу для молодых ученых (ICONO/LAT–SYS 2010). Эта Школа стала форумом молодых ученых и студентов, совершающих первые шаги или уже активно работающих в различных областях лазерной физики и нелинейной оптики. В рамках Школы были прочитаны лекции признанных ученых, которые представили обзор научных исследований по основным разделам конференции, а также дали очень полезное введение в предмет для тех молодых ученых, которые только делают первые шаги в избранной области.

Следует также отметить широко известную конференцию из серии конференций по применению лазеров в науках о жизни (Laser applications in Life Sciences, LALS), которая была организована в Оулу, Финляндия, 9-11 июня 2010 года. Эта конференция собрала свыше 250 участников со всего мира и прошла с большим успехом. Принято решение об организации следующей конференции в Калифорнии, США, в 2012 г.

В рамках двухстороннего сотрудничества МЛЦ МГУ с Китаем был организован первый Китайско-Российский Лазерный Симпозиум в Тианджине, Китай, 29 ноября-15 декабря 2010 г. Принято решение о продолжении серии этих симпозиумов и проведении в 2011 году в России совместной Школы для студентов и молодых ученых.

МЛЦ МГУ совместно с физическим факультетом и с МГТУ имени Н.Э. Баумана организовал и провел Международную научную школу по оптике и фотонике (IONS-8) для студентов и аспирантов с 21 по 24 июня 2010 года с участием 70 человек, в том числе иностранных участников 30 человек. Молодые ученые, студенты и аспиранты в течение четырех дней имели возможность изучить последние достижения мировой науки в этой области. Среди приглашенных лекторов были такие известные ученые, как президент Американского оптического общества (OSA) в 2010 году James C. Wyant, Университет штата Аризона (США) и профессор Владимир Шалаев, Университет Purdue (США), известный своими пионерскими работами в области оптических метаматериалов, включая первое экспериментальное наблюдение материала с отрицательным показателем преломления в оптическом диапазоне.

Летом 2010 года (с 1 по 8 августа) МЛЦ МГУ совместно с физическим факультетом организовал и провел Первую летнюю Международную научную школу по теории сильных электронных корреляций (Conference of Correlated Electrons in Condensed matter) с участием 80 человек, в том числе иностранных участников 30 человек.

Работа Школы проходила как в Корпусе нелинейной оптике МГУ, так и во время выездной сессии на комфортабельном теплоходе, совершающем круизное плавание по Волге.

## ***Международное сотрудничество***

Международная, межвузовская и межфакультетская деятельность МЛЦ МГУ направлена главным образом на координацию крупных программ и проектов, пре-

имущественно междисциплинарного характера в области лазерной физики, химии, биологии, медицины и лазерных технологий когерентной и нелинейной оптики и их приложений.

МЛЦ МГУ состоит коллективным членом Лазерной Ассоциации. При МЛЦ МГУ успешно работает студенческое отделение SPIE и OSA.

## ***Адрес веб-страницы:***

**<http://www.ilc.msu.ru>**