



НОВОСТИ НАУКИ

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ им. М.В. Ломоносова

№ 2/2013



ФИЗИЧЕСКОМУ ФАКУЛЬТЕТУ МГУ 80 ЛЕТ

В 1933 году Физико-математический факультет Московского университета был разделен на Механико-математический и Физический факультеты.

В ноябре 2013 года Физический факультет отметил свой 80-летний юбилей.

Сотрудников физического факультета поздравил ректор Московского университета академик В.А. Садовничий. Физический факультет получил поздравления от руководителей и коллективов многих подразделений МГУ и многочисленных научных учреждений нашей страны.



СОДЕРЖАНИЕ

2 Новости науки

13 Премии / Награды

16 Диссертации

19 Конференции

19 Физфак — школе



В Интеллектуальном центре–Фундаментальной библиотеке МГУ состоялось торжественное заседание, посвящённое 80-летию физического факультета МГУ. С докладом выступил декан физического факультета профессор Н.Н. Сысоев.



Торжественное заседание украсили выступления Академического хора МГУ, замечательного выпускника физфака Сергея Никитина, а также самодельных студенческих коллективов.

В рамках юбилейных мероприятий при участии Совета выпускников физического факультета МГУ была проведена конференция «Фундаментальная наука как предвестник новых социально-значимых технологий и бизнес-организация современных высокотехнологических предприятий», на которой с докладами выступили ведущие ученые России.

Во Дворце культуры МГУ состоялся Концерт физических искусств. В программе концерта была показана легендарная опера «Архимед», а также лучшие номера «Ступенек» Дня физика-2013.

ноябрь
2013

2013: Открытие оптических транзиентов на сети телескопов-роботов МАСТЕР

Физики МГУ на сети телескопов-роботов МАСТЕР открыли в 2013 г. два потенциально опасных астероида 2013 SW2 и 2013 UG1 и массовые оптические транзиенты.



Сеть телескопов-роботов “МАСТЕР” была создана под руководством проф. В.М. Липунова сотрудниками ГАИШ МГУ и астрономического отделения физического факультета МГУ с целью регистрации и исследования собственного оптического излучения гамма-всплесков — первоочередной задачи современной астрофизики.

Важнейшими результатами работы сети телескопов-роботов

МАСТЕР в 2013 г. являются открытие двух потенциально опасных астероидов 2013 SW2 и 2013 UG1; массовое открытие 180 оптических транзиентов. Это сверхновые звезды Ia (образование нейтронных звезд и черных дыр и поиск тёмной энергии), Новые и повторные Новые звезды (термоядерное горение на белых карликах в двойных системах и процесс ак-креции), вспышки активных ядер галактик (свечение

релятивистской плазмы вблизи сверхмассивных черные дыр), детектирование вспышек неизвестной природы и обнаружение малых тел Солнечной системы (в том числе опасных астероидов и комет); а также фотометрические и поляризационные наблюдения собственного оптического излучения 25 областей гамма-всплесков — в большинстве своем первые в мире.



2013: Предсказана структура тонких слоев магнитосферного хвоста Земли в антисолнечном направлении

Учеными физфака, НИИЯФ МГУ и ИКИ РАН впервые построена двухмерная квазиadiaбатическая модель тонкого токового слоя в хвосте магнитосферы с учетом его продольной неоднородности и предсказана структура тонких токовых слоев магнитосферного хвоста Земли в антисолнечном направлении.

Построена и исследована само-согласованная модель сравнительно тонкого токового слоя с учетом продольной неоднородности магнитного поля. Показано, что нелинейная динамика заряженных частиц плазмы в токовом слое полностью определяет его равно-

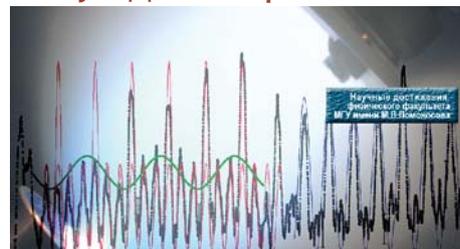
весную структуру. Электроны, пролетные и квазизахваченные ионы перераспределяются вдоль магнитосферного хвоста в зависимости от величины поперечной магнитной компоненты, благодаря чему профили плотности тока имеют продольно неоднородную

многомасштабную структуру. Квазиadiaбатическая модель предсказывает структуру тонких токовых слоев в в антисолнечном направлении.

Результаты работы опубликованы в *J. Geophys. Research: Space Physics*, 118, 4308–4318 (2013).

2013: Эффективное лазерно-плазменное возбуждение фононов с терагерцовыми частотами в объёме прозрачного диэлектрика

Ученые физического факультета МГУ обнаружили новый механизм квазирезонансного возбуждения когерентных терагерцовых фононов в объёме диэлектрической среды при экстремально большом объеме энерговкладе до 100 кДж/см³.



Круг явлений, происходящих при взаимодействии фемтосекундного острогофокусированного лазерного излучения с диэлектриками, достаточно широк: начиная от многофотонной и туннельной ионизации, нагрева электронов плазмы в поле лазерной волны, ударной ионизации и возбуждения когерентных фононов и заканчивая распространением ударных волн и формированием остаточных мик-

ромодификаций. Исследованию процессов возбуждения и релаксации когерентных фононов следует уделить особое внимание. Они не только дают представление о колебательных свойствах веществ, но и могут быть использованы для контроля молекулярных и коллективных движений, получения особых неравновесных состояний и облегчения химических или структурных изменений, которые могут

не реализовываться при обычных условиях.

В своей работе исследователи физфака МГУ, работающие на кафедре общей физики и волновых процессов, основное внимание уделили исследованию следующих процессов переноса энергии: лазерное излучение—плазма (за счет ионизации и нагрева электронов плазмы на временах длительности лазерного импульса), лазерное

излучение–фононы (на временах длительности лазерного импульса) и плазма–фононы (на временах термализации электронной плазмы). Главной особенностью проводимых в работе экспериментов является исследование возбуждения когерентных фононов в объеме кристаллической среды при экстремальной для твердого тела интенсивности фемтосекундного лазерного излучения 10^{13} Вт/см², превышающей порог формирования плазмы в среде. В этом случае к процессу возбуждения когерентных фононов посредством вынужденного внутриимпульсного комбинационного рассеяния добавляются еще эффективные процессы переноса лазерной энергии в кристаллическую решетку через электроны плазмы. Лазерно-индуцированная плазма способствует эффективному локальному нагреву среды, что может приводить к сильному изменению частоты мягких комбинационно активных

мод в кристаллах вблизи фазовых переходов, ангармонизму колебаний.

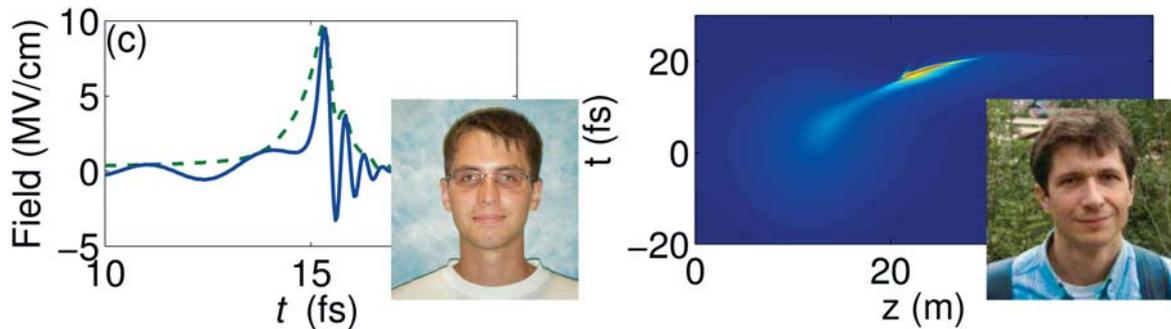
Каков же механизм возбуждения и релаксации когерентных фононов в экстремальных условиях формирования лазерно-индуцированной плазмы? Было установлено, что современные теории генерации когерентных фононов (нестационарное вынужденное комбинационное рассеяние и механизм смещения) не могут даже в общих чертах описать ключевые результаты проведенных экспериментов: сильное изменение частоты фононов, временная задержка максимальной амплитуды фононных мод. Оказывается, что сначала за счет вынужденного комбинационного рассеяния формируются "затравочные" когерентные фононы с терагерцовыми частотами, а плазма поглощает значительную часть энергии лазерного импульса. Энергия плазмы затем квазирезонансно передается от электро-

нов плазмы в появившиеся "затравочные" когерентные фононы. Квазирезонансный характер преобразования энергии становится возможным из-за больших амплитудных колебаний когерентных фононов, что приводит к синхронной модуляции ширины запрещенной зоны диэлектрика. Такая эффективная передача энергии от электронов плазмы когерентным фононам происходит в фазе с колебаниями когерентных фононов в момент, когда ширина запрещенной зоны становится минимальной. Предложенный механизм генерации когерентных фононов полностью объясняет наблюдаемые явления.

Результаты этой работы опубликованы в статье F.V. Potemkin, E.I. Maheev, P.M. Mikheev, N.G. Khodakovskij *Laser Physics Letters* 10, p. 076003, (2013).

Для выполнения работ был использован уникальный комплекс оборудования, закупленный по программе развития МГУ.

2013: Показана возможность генерации ударных волн аттосекундной длительности



Д-р Петр Жохов

Проф. Алексей Желтиков

В совместной работе физиков Московского государственного университета и университета Texas A&M предсказано появление оптических ударных волн аттосекундной длительности при распространении мощных лазерных импульсов ближнего ИК диапазона в гелии низкого давления.

Одни из наиболее захватывающих применений современной нелинейной оптики связаны с использованием световых импульсов предельно малой длительности. Разработка фемтосекундных (1 фс = 10^{-15} с) лазеров позволила наблюдать и контролировать протекание химических реакций. Аттосекундные технологии (1 ас = 10^{-18} с) позволяют наблюдать и контролировать движение электронов в атомах, реализуя, например, атомный транзистор — элементарный блок сверхбыстрой квантовой электроники будущего.

Существующие технологии получения аттосекундных импульсов

сложны и отличаются низкими эффективностью и энергией получаемого аттосекундного импульса. В совместной работе физиков Московского государственного университета и университета Texas A&M (США) была промоделирована генерация мощных мультитераваттных аттосекундных импульсов в процессе формирования трехмерных оптических ударных волн. Образование ударных волн, или скачков физических параметров, распространяющихся волновым образом — общее свойство нелинейной волновой динамики и обнаруживается во многих областях физики: астрофизике, нелиней-

ной акустике, сейсмологии, динамике жидкостей и детонационной физике. Возникновение большого класса ударных волн связано с зависимостью скорости распространения волны от амплитуды, вызывающей укручение переднего фронта (если максимум импульса движется быстрее краев) либо заднего фронта (если максимум импульса движется медленнее краев) импульса. В нелинейной оптике одномерные ударные волны известны проявлениями в оптических волокнах. Одномерные оптические ударные волны искажают форму импульса, но не изменяют его длительности.

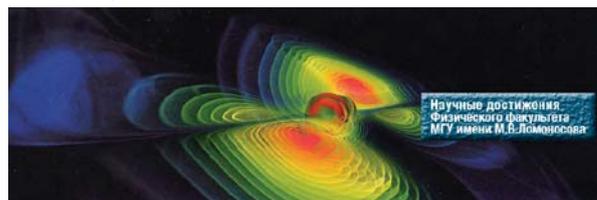
С помощью численного моделирования, проведенного на комплексах "Ломоносов" и "Чебышев" Московского государственного университета, было продемонстрировано, что в трехмерном случае нелинейная пространственно-временная динамика мощного фемтосекундного (длительностью 20–50 фс) лазерного импульса приводит к формированию оптической ударной волны аттосекундной длительности (около 300 ас). Более конкретно, в качестве среды распространения рассматривается гелий, так как гелий имеет наибольший частот-

ный диапазон прозрачности ($\sim 5 \times 10^{15}$ Гц = 21 эВ) из благородных газов, а минимальная длительность ударной волны определяется поглощением и дисперсией на краях окна прозрачности среды. Лазерный импульс длительностью 30 фс, центральной длиной волны 800 нм и мощностью 1.4 ТВт ($0.8 P_{cr}$, где P_{cr} — критическая мощность самофокусировки) распространяется в гелии в условиях мягкой фокусировки. Образование аттосекундной ударной волны происходит за линейным фокусом, на расстоянии ~ 20 м от входа в среду распространения. В точке

образования аттосекундной ударной волны поток энергии достаточно мал (< 2 Дж/см²), что делает возможным выделение аттосекундных импульсов с помощью спектрального фильтра. Подобные ударные волны позволяют исследовать законы нелинейной оптики на аттосекундных временных масштабах, а также являются перспективным инструментом визуализации и контроля электронных волновых функций в атомах.

Детали работы опубликованы в журнале *Physical Review Letters*, том 110, стр. 183903 за 2013 год.

2013: Сжатый свет улучшает чувствительность детектора гравитационных волн LIGO



Физики МГУ в международной коллаборации LIGO Scientific Collaboration экспериментально показали, что сжатый свет позволяет существенно улучшить чувствительность интерферометра гравитационных волн LIGO.

В настоящее время в мире функционирует сеть лазерных интерферометрических гравитационно-волновых обсерваторий, цель которых — детектирование предсказанных Эйнштейном почти столетие назад гравитационных волн от астрофизических источников. Эти устройства представляют собой интерферометры Майкельсона с длинами плеч от сотен метров до нескольких километров, позволяющие с чрезвычайно высокой точностью (аттметры) измерять относительные вариации расстояния между их пробными массами (см. Рис.1). Две крупнейшие и наиболее чувствительные из них, LIGO Hanford Observatory (LHO) and LIGO Livingston Observatory (LLO), находятся под "научным руководством" международной организации LIGO Scientific Collaboration (LSC), объединяющей ученых из нескольких десятков университетов и институтов по всему миру, в том числе и с физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

В конце 2011 г. в обсерватории LHO был выполнен уникальный эксперимент — инжекция в интерферометр света с подавленными квантовыми флуктуациями (сжатого света), что позволило получить рекордную на настоящий момент чувствительность для таких устройств (<http://www.nature.com/nphoton/journal/v7/n8/full/nphoton.2013.177.html>).

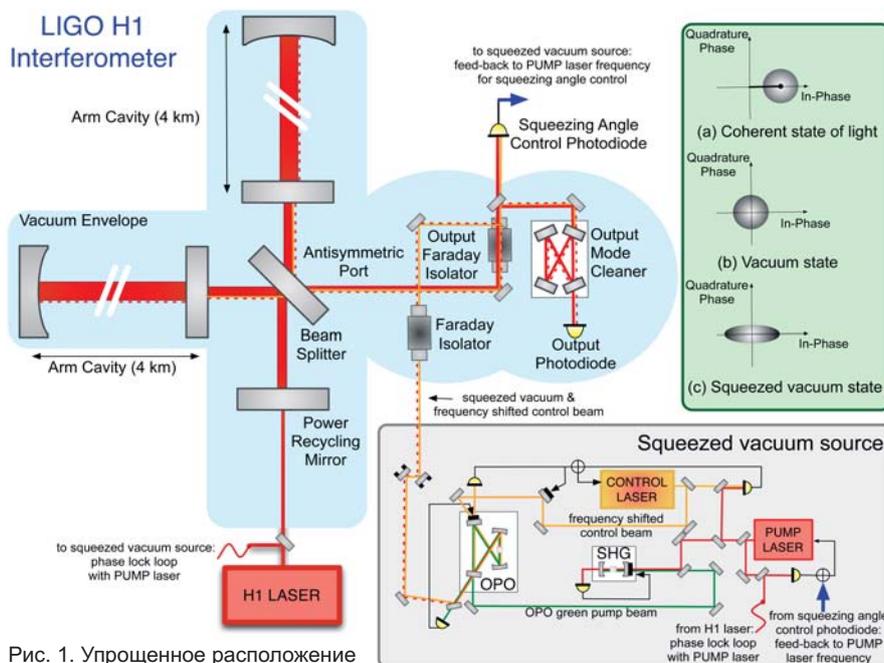
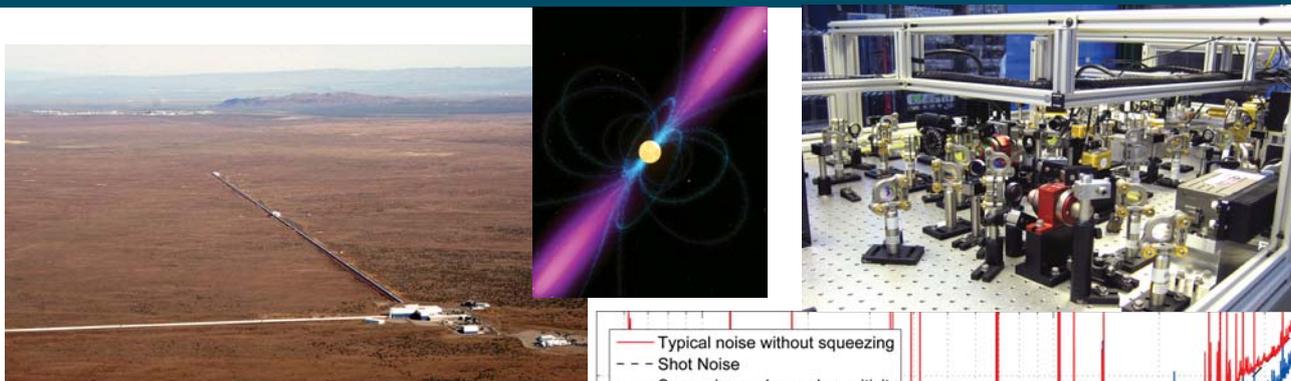


Рис. 1. Упрощенное расположение интерферометра H1 со сжатой вакуумной инжекцией.

Электромагнитная волна может быть описана двумя некоммутирующими канонически сопряженными операторами, известными как "фазовая" и "амплитудная" квадратуры. В обычном (когерентном) состоянии неопределенности этих квадратур равны друг другу. В сжатом состоянии неопределенность одной из них уменьшена, у другой — пропорционально увеличена. В обоих случаях, произведение неопределенностей всегда удовлетворяет неравенству Гейзенберга (см. зеленую врезку на рис. 1).

На серой врезке на рис.1 представлена упрощенная схема генерации сжатого света, использовавшаяся в описываемом эксперименте. Излучение лазера накачки (Pump laser) с длиной волны 1064 нм, привязанного по фазе к основному лазеру (H1 laser) возбуждало генератор второй гармоники (SHG), давая свет с длиной волны 532 нм. Последний, в свою очередь, возбуждал оптический параметрический генератор (OPO), генерировавший сжатый свет с длиной волны 1064 нм



посредством вырожденного параметрического преобразования частоты вниз.

В выполненном эксперименте, квантовые флуктуации света были основным источником шума на частотах выше 400 Гц, и вносили существенный вклад в суммарный шум на частотах выше 150 Гц. Увеличение чувствительности за счет использования сжатого света показано на рис. 2. Красная кривая соответствует случаю без сжатия, синяя — со сжатием. Величина подавления спектральной плотности шума составила 2.15 дБ, что позволило получить наилучшую на настоящий момент чувствительность к широкополосным источникам гравитационных волн.

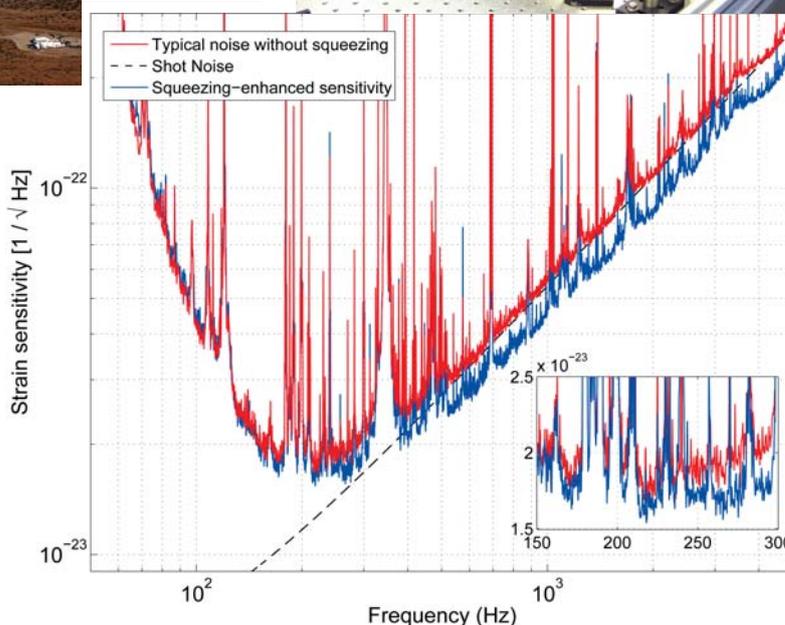


Рис. 2. Измеренная чувствительность детектора H1 с применением сжатия (синий спектр) и без применения (красный спектр).

2013: Впервые наблюдалась лазерная филаментация в среднем инфракрасном диапазоне



Совместные исследования физиков из Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова и Венского технического университета позволили впервые наблюдать явление филаментации сверхкоротких лазерных импульсов в среднем инфракрасном диапазоне.

Филаментация сверхкоротких лазерных импульсов — одно из наиболее захватывающих последних открытий в оптической физике. Как физическое явление оно включает в себя сложную, сильно связанную пространственно-временную динамику оптического поля в нелинейной быстро ионизирующейся среде, вызывая уникальные режимы сверхбыстрой электродинамики. В этом режиме распространения сверхкоротких импульсов баланс между керровской самофокусировкой и плазменной дефокусировкой позволяет локализовать лазерный пучок на

дистанции больше длины Рэлея, поддерживая очень высокую интенсивность лазерного излучения. Это дает радикальное усиление нелинейно-оптических процессов в области филамента. В науке о сверхбыстрых оптических процессах лазерная филаментация находит всё больше приложений как мощный метод компрессии импульсов, позволяя генерацию оптических полей высокой пиковой мощности, длительностью несколько оптических периодов, со стабилизированной фазой несущей относительно огибающей импульса, в широком частотном диапазоне

от глубокого ультрафиолетового до ближнего и среднего инфракрасного. Помимо огромного разнообразия новых пространственно-временных нелинейно-оптических явлений, фемтосекундные филаменты открывают новые перспективы во многих важных приложениях, таких как спектроскопия дистанционного зондирования атмосферы, управление высоковольтными разрядами, конденсация воды, источники терагерцового излучения.

На настоящий момент времени экспериментальные исследования фемтосекундной филаментации

импульсов намеренно проводятся на длинах волн, отстоящих от длины волны 0.8 мкм стандартных фемтосекундных титан-сапфировых лазеров. Фемтосекундная филаментация с длинноволновыми источниками представляет особое внимание из-за увеличения критической мощности самофокусировки с длиной волны лазера. Реализация фемтосекундной филаментации в среднем ИК спектральном диапазоне позволила бы преодолеть ограничения текущей 0.8-мкм технологии. Во-первых, суперконтинуум в среднем ИК спектральном диапазоне необходим, чтобы достичь характерной для молекул спектральной области фундаментальных колебательных и вращательных переходов на длинах волн >2.5 мкм. Во-вторых, комбинация больших длин волн и высокой интенсивности импульса гарантирует туннельный механизм ионизации и усиливает терагерцовое излучение из филамента. Наконец, высокая критическая мощность позволяет генерировать фи-

ламенты с энергией в 25 раз больше, чем на длине волны 0.8 мкм.

Недавно, в статье, опубликованной в *Optics Letters* 38, 3194–3197 (2013), совместные исследования физиков из Московского государственного университета и Венского технического университета позволили впервые наблюдать явление филаментации сверхкоротких лазерных импульсов в среднем инфракрасном диапазоне в атомарных и молекулярных газах: аргоне, азоте и кислороде. В аргоне продемонстрирована высокоэффективная генерация суперконтинуума с шириной спектра несколько октав, покрывающего часть ультрафиолетового, видимый, ближний и часть среднего инфракрасного спектрального диапазона. Спектры суперконтинуума на выходе филамента в молекулярных газах сильно отличаются от наблюдаемых в аргоне существенным красным сдвигом.

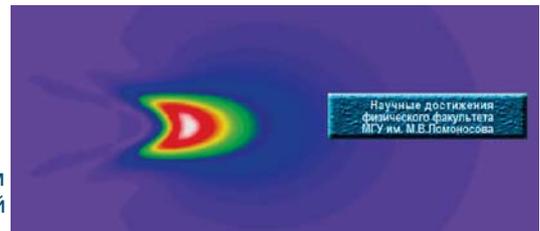
Для выявления физических механизмов генерации суперконтинуума проведено трехмерное суперкомпьютерное моделирование

на вычислительных комплексах СКИФ-МГУ "Чебышёв" и "Ломоносов" Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Результаты численного моделирования в хорошем согласии с экспериментом и показывают, что генерация гармоник низкого порядка и спектральное уширение импульса накачки являются основными физическими механизмами генерации суперконтинуума в аргоне. В азоте и кислороде, красный сдвиг спектров обусловлен усиленным рамановским эффектом, позволяющим эффективный сдвиг частоты сверхкоротких лазерных импульсов в сторону среднего инфракрасного диапазона. Говоря более детально, филаментация 80-фс 10-мДж лазерных импульсов с центральной длиной волны 3.9 мкм в азоте генерирует рамановски сдвинутый суперконтинуум, простирающийся на длинах волн от 2.5 до 6 мкм, а филаментация в кислороде дает 65% эффективность преобразования частот.

Световые пули и спектр суперконтинуума

Физики МГУ предсказали и совместно с коллегами из института спектроскопии РАН впервые зарегистрировали в фемтосекундном филаменте световые пули с высокой пространственно-временной локализацией светового поля и их частотно-угловой спектр.

[*Optics Letters*, 38 (1), 16, (2013), *Laser Physics Letters* 10, 105401 (2013), *Квантовая электроника*, 43, 326, (2013)].

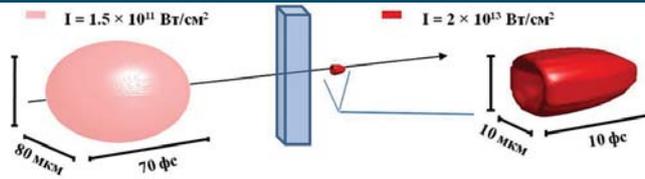


Получение импульсов сверхкороткой длительности и генерация широкополосного излучения относятся к актуальным проблемам современной оптики, связанным с развитием систем передачи информации, широкополосной спектроскопии, медицинской диагностики и других. Использование дисперсионных свойств сред для управления пространственно-временным распределением интенсивности мощного фемтосекундного импульса и его спектральными параметрами в процессе распространения представляет большой интерес для фундаментальных и прикладных аспектов лазерной физики и нелинейной оптики. Наибольший интерес вызывает возможность формирования локализованного в пространстве и времени высокоинтенсивного волнового пакета, обладающего свойствами солитона.

Протяженный филамент, создаваемый в объеме прозрачной среды фемтосекундным лазерным импульсом, является самоорганизующейся системой, нелинейные процессы в которой подобны процессам в оптических волокнах, фотонных кристаллах и других направляющих структурах. Образование солитонов в нелинейных оптических структурах с оптимальным законом модовой дисперсии и формирование световых пуль при филаментации фемтосекундного излучения в объеме прозрачного диэлектрика имеют общие закономерности. Узкий филамент с высокой плотностью мощности светового поля формируется в результате динамического баланса керровской самофокусировки в среде и плазменной дефокусировки излучения в наведенной лазерной плазме. При филаментации в

условиях аномальной дисперсии групповой скорости одновременно с пространственным сжатием волнового пакета происходит его компрессия во времени. Световую пулю, образующуюся в результате пространственно-временной компрессии фемтосекундного излучения в филаменте, можно рассматривать, как обобщение временного солитона в направляющей структуре на пространство размерности $3D+1$ в объеме прозрачного диэлектрика.

Физики МГУ на основе численного моделирования предсказали возможность образования последовательности световых пуль — микронных областей с высокой плотностью мощности при филаментации фемтосекундного лазерного импульса на длине волны в области аномальной дисперсии групповой скорости — и установи-



Схематическое 3D-изображение импульса, падающего на образец плавленого кварца, и световой пули на выходе из образца.

ли закономерности их формирования. Пиковая интенсивность светового поля в световой пуле на длине волны 1800 нм достигает $\sim 5 \times 10^{13}$ Вт/см², ее длительность составляет около ~ 10 фс, а радиус ~ 10 мкм.

В экспериментах, выполненных в Институте спектроскопии РАН в развитие проведенных исследований, впервые зарегистрированы световые пули при филаментации в плавленом кварце фемтосекундного лазерного импульса на длине волны 1800 нм. На основе измерений автокорреляционной функции световой пули минимальная длительность световой пули достигла 13.5 фс, что составляет около двух осцилляций светового поля.

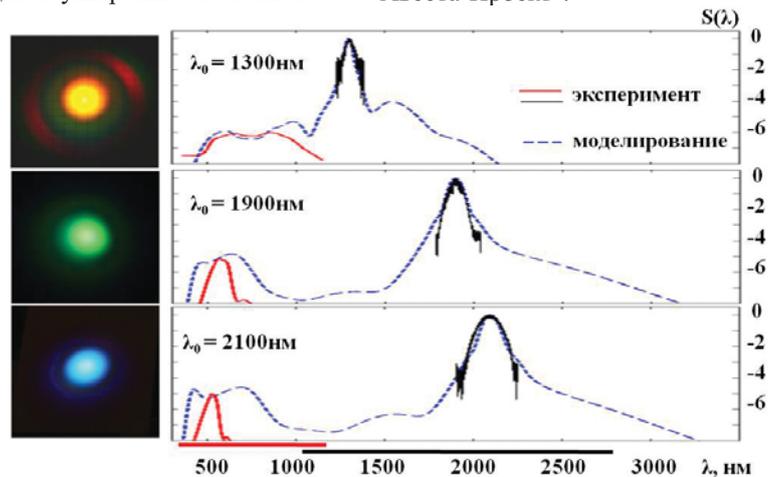
Возникновение "световых пуль" непосредственно связано с уши-

рением частотного спектра импульса в филаменте. В нашей работе предсказано и экспериментально исследовано формирование изолированного антистоксового крыла в видимой области спектра суперконтинуума световой пули импульса на длине волны в ближнем ИК диапазоне [*Optics Letters*, 38 (1), 16, (2013), *Квантовая электроника*, 43, 326, (2013)]. Образование световой пули с высокой плотностью энергии сопровождается генерацией лазерной плазмы, и, как следствие этого, резкой дефокусировкой излучения и формированием ударного фронта (резкого спада интенсивности) на ее хвосте. Фазовая самомодуляция светового поля, вызванная временным градиентом интенсивности, приводит к уширению частотного

спектра суперконтинуума в антистоксову область. Поэтому образование каждой световой пули сопровождается "выбросом" коротковолновых компонент в суперконтинуум, спектр которого становится асимметричным. В результате деструктивной интерференции широкополосного излучения суперконтинуума летящей световой пули, в ее спектре формируется широкий минимум, отделяющий видимую область от ИК излучения действующего импульса.

При спектроскопических измерениях в Центре коллективного пользования Института спектроскопии РАН использовались ИК коррелометр ASF 20 и ИК спектрометр ASP-IRHS Российской фирмы "Авеста-Проект".

Изображение на экране излучения конической эмиссии суперконтинуума и спектр суперконтинуума при филаментации импульса на длине волны 1300 нм при нулевой дисперсии групповой скорости и при образования световых пуль в импульсе на длинах волн 1900 и 2100 нм, лежащих в области аномальной дисперсии групповой скорости.



2013: Волоконно-оптический нейроинтерфейс для исследования работы мозга бодрствующих животных



Физики МГУ разработали и испытали волоконно-оптический нейроинтерфейс для параллельного долговременного динамического зондирования функциональной активности нейронов в пространственно разделенных структурах головного мозга живых свободноподвижных животных.

Для понимания клеточных и системных механизмов высшей нервной деятельности, включая обучение и память, необходимо выявление и исследование паттернов функциональной активности нейронных сетей в живом, активно работающем мозге. И

именно уникальные свойства оптических волокон, такие как, компактный размер, механическая гибкость и все более растущая функциональность в сочетании с последними разработками флуоресцентных маркеров для разнообразных клеточных процессов

обеспечивают новые возможности для *in vivo* функциональной визуализации в биологических задачах. В исследованиях был продемонстрирован специально разработанный волоконно-оптический нейроинтерфейс, обеспечивающий новые возможности для

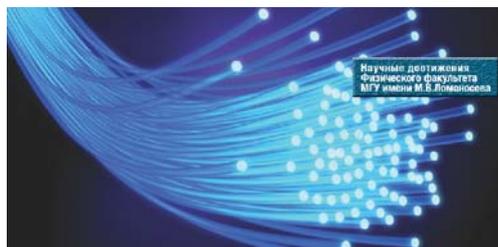
параллельного оптического зондирования пространственно разделенных и функционально различающихся областей головного мозга живого бодрствующего животного в течение длительного времени. Разработанный метод основан на использовании преимуществ волоконно-оптических технологий зондирования и позволяет проводить измерения количества флуоресцентных маркеров в любых областях мозга живых животных при их свободном поведении во время и после обучения. Предлагаемый подход принципиально рассчитан на длительные, в масштабах нескольких недель, изме-

рения нейронной активности с высоким временным разрешением (до нескольких мс), что позволяет визуализировать различные процессы, протекающие в нейронах: экспрессия генов или кальциевые токи. Благодаря максимальному легкому и компактному размеру вживляемой системы все время между измерениями животные могут жить в своих домашних клетках без каких-либо неудобств, а также без опасности повредить оптоволокну. Возможности и эффективность предлагаемой методики зондирования нейронной активности были продемонстрированы на примере регистрации

флуоресцентного отклика белка EGFP в мозге трансгенных животных, у которых ген флуоресцентного белка встроен под промотор немедленно раннего гена *zif/268*. Данные измерения были проведены на живой бодрствующей мыши, что позволило впервые продемонстрировать оптическую регистрацию маркеров нейронной активности одновременно двух пространственно разнесенных областей мозга живого свободноподвижно животного.

Результаты данной работы опубликованы в журналах *Scientific Reports (Nature)*, 3 (2013) и *Applied Physics Letters*, 102, 161113 (2013).

2013: Достигнута рекордная дальность передачи информации: на 500 км со скоростью 100 Гбит/с по однопролетной линии волоконной связи



Физики МГУ совместно с сотрудниками компании T8 НТЦ и Corning Inc. увеличили дальность передачи информации со скоростью 100 Гбит/с в однопролетной волоконно-оптической линии связи до 500 км.

Сверхдлинные однопролетные волоконно-оптические линии связи, работающие без использования активных элементов вне конечных узлов, находят широкое применение для соединения островов и создания отводов от подводных магистральных линий связи, а также для соединения нефтегазодобывающих скважин, расположенных на океаническом шельфе, с материком.

Ученым МГУ совместно с сотрудниками компании T8 НТЦ и Corning Inc. продемонстрировали передачу со скоростью 100 Гбит/с в одном канале однопролетной линии связи длиной 500 км, использующей только усилители с удаленной оптической накачкой.

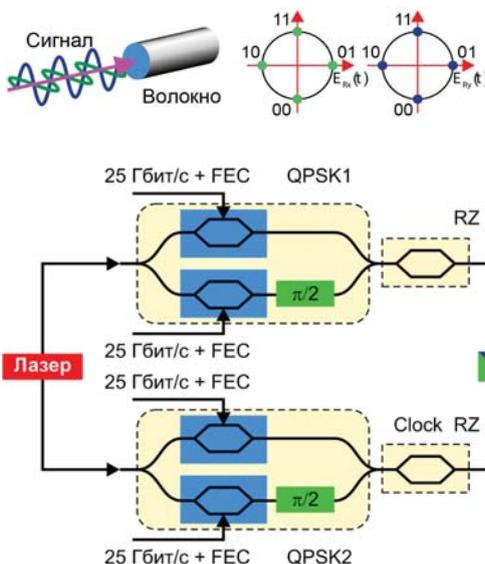
Мировой рекорд дальности передачи без промежуточных усилителей (500 км!) стал возможен благодаря применению разработанной авторами новой методики ослабления нелинейных искажений сигналов, использовано когерентного детектирования, поляризационного уплотнения и четырехуровневой фазовой модуляции в транспондерах российской компании T8, волокна с ультранизким затуханием компании Corning и оптимизации параметров усилителей с удаленной накачкой (ROPA).

Результаты работы опубликованы в статье "Record 500 km unrepeateread 100 GB/s transmission" в журнале *Laser Phys. Lett.* Vol. 10, 075107 (2013).

Проведенная демонстрация открывает новые возможности для повышения эффективности работы опорных транспортных сетей связи. Возможности увеличения длины пролетов и дальности передачи информации без использования дорогостоящих регенераторов особенно актуальны для России в силу больших расстояний между населенными пунктами.



Студент кафедры оптики и спектроскопии физического факультета МГУ около однопролетной линии связи длиной 500 км



Структура оптического сигнала. Один символ несет 4 бита информации

Оптический передатчик с четырехуровневой фазовой модуляцией и поляризационным уплотнением



В.А. КУЛЬБАЧИНСКИЙ

2013: Топологические изоляторы: На пути к созданию магнитного монополя

Физики МГУ в международной коллаборации построили магнитную фазовую диаграмму топологического изолятора и экспериментально подтвердили ее, продемонстрировав таким образом управляемые магнитным полем фазовые переходы с использованием допированных магнитных ионов в топологических изоляторах.

Топологический изолятор — это диэлектрик, на поверхности которого возникает металлическое состояние. Проводящие свойства поверхности являются следствием сильного спин-орбитального взаимодействия, которое приводит к возникновению спин-расщепленных топологических поверхностных состояний с дисперсией так называемого дираковского типа, то есть линейной зависимостью энергии от импульса. Обычно зависимость энергии E от импульса p характеризуется квадратичным законом $E=p^2/2m$. Поверхностные состояния защищены симметрией обращения времени от рассеяния на дефектах, то есть электроны в этих состояниях могут двигаться вдоль поверхности объемного материала почти без потери энергии. В обычных материалах даже малые возмущения (неровности рельефа поверхности или примеси) приводят к образованию запрещенной зоны для поверхностных состояний, и поверхность перестает быть проводящей, поскольку уровень Ферми оказывается в запрещенной зоне. В топологических изоляторах поверхностные состояния гораздо более устойчивы, поскольку описывающий их гамильтониан инвариантен по отношению к малым возмущениям. Электроны ведут себя как безмассовые частицы и характеризуются линейной зависимостью энергии от импульса: $E = \hbar k v_F$, где v_F — фермиевская скорость электронов.

Таким образом, в объеме материал имеет запрещенную зону и не проводит при низких температурах если нет легирования, а на поверхности имеются состояния, обеспечивающие поверхностную проводимость. Первыми экспериментально открытыми топологически-

ми изоляторами стали сплавы $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ в полупроводниковой области. Такие же поверхностные состояния были открыты в теллуридах и селенидах висмута и сурьмы: Bi_2Se_3 , Bi_2Te_3 , Sb_2Te_3 . Поверхностные состояния внутри объемной запрещенной зоны с линейным законом дисперсии как в графене легко наблюдаются с помощью фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением (ARPES) (рис. 1а для Bi_2Se_3 — J.E. Moore, Nature 464, 2010).

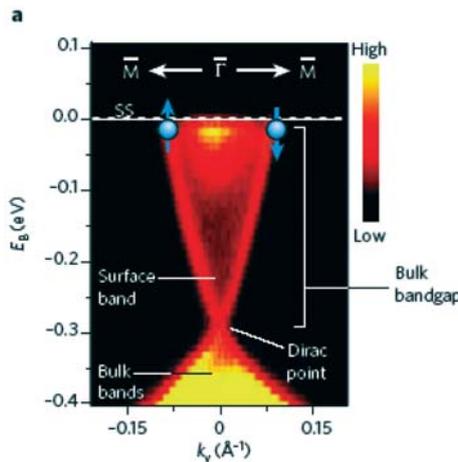


Рис. 1а

Спины электронов на дираковском конусе связаны с их импульсом, как показано на рис. 1b. Если удастся открыть щель для поверхностных электронов, то возможно получить необычные магнитные свойства материала, например магнитный монополю. Основная проблема в теллуридах и селенидах висмута и сурьмы — большая объемная концентрация электронов или дырок, что полностью маскирует поверхностную проводимость. Легирование этих материалов — один из путей решения проблемы. А легирование магнитной примесью позволяет не только изменять концентрацию носителей тока в объеме, но и изменять магнитные свойства. При этом

возможно открытие щели в дираковском спектре на рис. 1b.

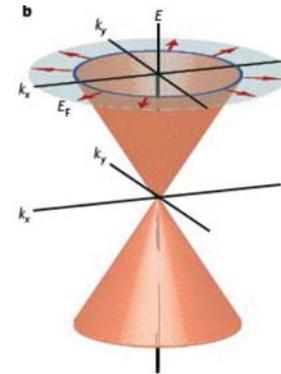


Рис. 1b

В работе Topological Phase Transitions Driven by Magnetic Phase Transitions in $\text{Fe}_x\text{Bi}_{2-x}\text{Te}_3$ ($0 \leq x \leq 0.1$) Single Crystals (PRL 110, 136601 (2013)) была выращена и исследована серия образцов монокристаллов теллурида висмута с последовательным увеличением концентрации железа. Наблюдалось изменение магнитного взаимодействия от ферромагнитного к антиферромагнитному с парамагнитным поведением для топологического изолятора. Построена магнитная фазовая диаграмма топологического изолятора. Показано, что объемное легирование магнитной примесью очень эффективно для получения топологического изолятора с Ферми энергией внутри запрещенной зоны объемного материала. Наблюден экспериментально открытие щели в дираковском спектре для $\text{Fe}_{0.025}\text{Bi}_2\text{Te}_3$. Работа важна для понимания магнитных свойств топологических изоляторов, показывает как экспериментально открыть щель в таких материалах, что является путем к созданию магнитного монополя.

2013: Железный век сверхпроводимости



Физики МГУ существенно продвинули науку в понимании сверхпроводимости.

Исследовав один из представителей нового семейства сверхпроводников, международная команда физиков с участием ученых МГУ сделала открытие, которое может помочь до конца разобраться в физических основах сверхпроводимости — наиболее таинственного и увлекательного явления квантовой физики, все более востребованной современными технологиями. Результаты этой работы опубликованы в одном из наиболее престижных физических журналов мира — *Physical Review B*.

Вслед за открытием высокотемпературной сверхпроводимости в сложных оксидах меди экзотическая, то есть обладающая многими необычными чертами, сверхпроводимость была обнаружена в слоистых соединениях железа. И хотя критические температуры перехода в сверхпроводящее состояние в новых объектах уступают пока аналогичным параметрам своих предшественников, можно с уверенностью утверждать, что в развитии физики конденсированного состояния медный век сменился железным.

Согласно всем справочникам, сверхпроводимость — это свойство некоторых материалов обладать строго нулевым электрическим сопротивлением при достижении ими температуры ниже определенного значения (критическая температура).

Это явление нашло широкое применение в создании электромагнитов для ускорителей заряженных частиц (в том числе и на Большом адронном коллайдере) или, например, в ядерно-резонансной томографии — одном из наиболее передовых методов диагностики в медицине.

Когда в 1957 году изобретатель транзистора Джон Бардин вместе с Леоном Купером и Джоном Шриффером объяснили механизм сверхпроводимости (он получил название по первым буквам фамилий ученых — БКШ, он был настолько математически элегантен, что ни у кого не вызывал сомнений. Сегодня он остается таким же

неприступным для критики, но физики все больше приходят к выводу, что механизм БКШ представляет собой лишь основу сложного комплекса явлений, обуславливающих сверхпроводимость.

По БКШ, сверхпроводимость возникает вследствие объединения несущих ток электронов в пары, которое вызывается их взаимодействием с фононами. В создании условий для сверхпроводимости играет роль такое важное понятие, как поверхность Ферми. Под этим термином понимается граница в атоме между энергетическими квантовыми уровнями, которые уже заняты электронами, и уровнями, которые еще свободны. Все это имеет место в пространстве не обычных координат, а импульсов. Возникновение сверхпроводимости по БКШ вызывается наличием на этой поверхности некой энергетической щели — совокупности энергетических уровней, запрещенных для заполнения.

Поверхность Ферми исходно считалась сферической, и щель на ней могла предполагаться на всех участках одной и той же. По словам одного из участников проведенного исследования, профессора Алек-сандра Васильева, заведующего кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, в реальности все сложнее.

Форма поверхности Ферми может быть далека от сферической (она зависит от разных факторов — например, от внешнего давления). Щелей, в принципе, может быть несколько. Да и спариваться электроны могут не только при посредстве колебаний решетки: роль посредника могут играть колебания в магнитной подсистеме вещества.

Сверхпроводники, основанные на соединениях железа, которыми занимались авторы статьи, были открыты сравнительно недавно, в 2008 г. Почти сразу эти соединения поставили перед исследователями множество вопросов. На эти вопросы существует очень мало

ответов, которые бы всех устроили. Исследователи выбрали для изучения селенид железа — из всего уже весьма многочисленного семейства "железных" сверхпроводников он имеет простейшую кристаллическую структуру и в силу этого обстоятельства является "идеальным" кандидатом для изучения.

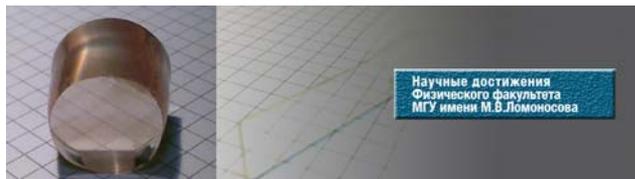
По словам профессора Васильева, такие объекты исследуются во всех ведущих лабораториях мира.

В описываемом эксперименте изучались температурная и полевые зависимости критических параметров селенида железа и, прежде всего, так называемого "первого критического поля", — минимального магнитного поля, способного проникнуть внутрь кристалла. Полученная информация оказалась очень важна для дальнейшего анализа механизмов сверхпроводимости в железных сверхпроводниках. Прорыву способствовали исключительно высокое качество сверхпроводников, изготовленных Дмитрием Чаревым в ростовских лабораториях Московского государственного университета, и оригинальный метод обработки экспериментальной информации, предложенный бельгийскими физиками Махмудом Абдель-Хафизом и Виктором Мошчалковым.

Из результатов проведенных измерений вытекает, что сверхпроводимость в селениде железа связана либо с сильной модулирующей энергетической щели, либо с наличием двух, отличающихся почти на порядок, энергетических щелей. Очень важным представляется также полученный авторами статьи вывод о том, что сверхпроводящая щель не зануляется ни на одном из фрагментов поверхности Ферми. Изложенная в статье совокупность экспериментальных наблюдений может оказаться хорошим подспорьем для ведущих теоретиков мира, разрабатывающих физические основы одного из наиболее таинственных и увлекательных квантовых физических явлений, все более востребованных современными технологиями.

(Печатается по материалам сайта www.msu.ru).

2013: Генерация терагерцового излучения в периодически поляризованных кристаллах



Исследуя условия коллинеарной лазерной генерации терагерцового излучения в периодически поляризованных кристаллах, физики МГУ и тайваньского университета National Tsing Hua University впервые показали, что эффективность преобразования лазерной энергии в энергию терагерцовой волны может возрастать с ростом длины кристалла даже в условиях высоких потерь, связанных с поглощением терагерцового излучения. [*Optics Express*, 21(2), 2452 (2013), *Laser Physics Letters*, 10(5), 055404 (2013)].

Исследуя условия коллинеарной лазерной генерации терагерцового излучения в периодически поляризованных кристаллах, физики МГУ и тайваньского университета National Tsing Hua University впервые показали, что эффективность преобразования лазерной энергии в энергию терагерцовой волны может возрастать с ростом длины кристалла даже в условиях высоких потерь, связанных с поглощением терагерцового излучения. [*Optics Express*, 21(2), 2452 (2013), *Laser Physics Letters*, 10(5), 055404 (2013)].

Среди большого разнообразия методов, которые разрабатываются или уже применяются сегодня для генерации и детектирования излучения терагерцового диапазона частот (0.1–10 ТГц), нелинейно-оптические методы занимают лидирующие позиции. Эти методы неуклонно совершенствуются, делая терагерцовые спектроскопические установки доступными любой лаборатории, оснащенной промышленно выпускаемыми оптическими лазерами и фотоприемниками. При этом схемы генерации, основанные на параметрических процессах вычитания близко расположенных оптических частот, могут быть легко инвертированы в схемы детектирования терагерцовых волн. При нелинейно-оптическом детектировании частота терагерцового излучения смешивается с частотой лазерной накачки и преобразованное оптическое излучение измеряется обычным фотоприемником. Для осуществления всех этих процессов требуются среды с высоким нелинейно-оптическим откликом, как правило, квадратичным по полю.

Однако одного наличия высокой квадратичной восприимчивости среды мало. Необходимо фазовое согласование оптических и тера-

герцовых волн в среде. Для решения этой проблемы, как правило, используются схемы фазового синхронизма, при которых направления распространения оптических и терагерцовых волн не совпадают (методы импульсной накачки с наклонным фронтом, "Черенковские" схемы и др.). Тем не менее, в идеальных условиях прозрачной нелинейной среды только при сонаправленном (коллинеарном) распространении взаимодействующих волн возможен максимальный коэффициент оптико-терагерцового преобразования энергии, тем больший, чем длиннее среда. Поскольку скорости распространения терагерцовых и оптических волн, как правило, существенно различаются, для подобного распространения требуются кристаллические структуры с пространственной модуляцией знака нелинейной восприимчивости — периодически поляризованные кристаллы. В таких кристаллах реализуется режим квазисинхронизма, при котором нелинейная сверхрешетка помогает согласовать фазы терагерцовых и оптических волн. Чаще всего для этой цели создаются периодически поляризованные кристаллы ниобата лития (PPLN). Наиболее распространенным методом создания PPLN является метод переполаризации монокристаллического слоя во внешнем электрическом поле. Альтернативный подход — создание доменной структуры непосредственно в процессе роста кристалла в асимметричном тепловом поле. Благодаря большим поперечным размерам, для применений в условиях предельно мощной лазерной накачки более предпочтительны кристаллы, изготовленные по второй технологии, хорошо развитой на физическом факультете МГУ. Но точно контролировать толщину доменов

в процессе роста сложно. В 2013 г. опубликована совместная работа [*Laser Physics Letters*, 10(5), 055404 (2013)] по прямому сравнению временных и спектральных характеристик излучения, генерируемого кристаллами двух типов, изготовленных в лабораториях МГУ и тайваньского университета National Tsing Hua University (NTHU). Сравнение показало, что нерегулярность не приводит к заметному изменению формы спектра и эффективности оптико-терагерцового преобразования.

Выбор квазисинхронизма позволяет организовать полностью коллинеарное взаимодействие на любой заданной частоте нелинейно-оптического преобразования при создании доменной сверхрешетки с требуемым периодом. Более того, создание аперийных составов доменной структуры, в принципе, позволяет генерировать терагерцовое излучение с заранее заданным спектральным составом. Однако преимущества режима квазисинхронизма, связанные с возможностью существования протяженности нелинейной среды для повышения эффективности оптико-терагерцовых взаимодействий, долгое время никак не исследовались. Причиной этому было общепринятое убеждение в том, что делать длину кристалла выше расстояния, на котором происходит затухание терагерцовых волн, неэффективно. Поскольку коэффициенты поглощения терагерцовых волн в кристаллах ниобата лития достаточно велики, это расстояние не превосходит 1–3 мм. Однако данное утверждение справедливо для нелинейного взаимодействия плоских волн и не учитывает особенностей дифракционного расплывания пучков, ограниченных в поперечном направлении.

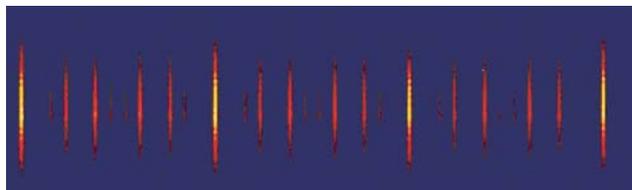
Опубликованные в 2013г. эксперименты [*Optics Express*, 21(2), 2452 (2013)] показали, что с ростом длины кристаллов PPLN до 1 см и выше на практике происходит неуклонный рост энергии терагерцового излучения, генерируемого в условиях бигармонической накачки лазерными импульсами нано-

секундной длительности. При этом теоретически было показано, что даже в пределе, когда потери на поглощение превышают параметрическое усиление волны, ее интенсивность может монотонно расти с ростом расстояния в нелинейной среде вплоть до достижения режима истощения

накачки. Полученные результаты проливают свет на механизм коллинеарной нелинейно-оптической генерации и пути дальнейшего повышения эффективности нелинейно-оптического детектирования терагерцовых волн.

(Печатается по материалам сайта www.msu.ru).

2013: Стабильность — признак мастерства



Ученые МГУ вместе с коллегами из Швейцарии совершили прорыв в создании компактных, устойчиво работающих оптических устройств для генерации стабильных сверхкоротких импульсов лазерного излучения.

Развитие электроники и средств коммуникаций требует от приборной базы все большей точности, эргономичности и пропускной способности. Так, для спутников связи и GPS-навигации весьма важно снижение массы полезного оборудования и снижение помех, а также обеспечение стабильности сигнала. В прошлом году ученым МГУ совместно с коллегами из Швейцарской высшей технической школы Лозанны удалось провести работу, способную послужить этим целям. Тогда исследователям удалось показать (статья была опубликована в *Nature Photonics*, 6, 480–487 (2012)), что причина, по которой в оптических "гребенках" (широкий спектр из большого числа равноудаленных узких линий) возникают шумы, кроется в нелинейных процессах генерации, а не в термодинамических шумах. Тогда впервые было показано, что помехи не вызваны какими-то фундаментальными ограничениями и с ними можно бороться.

22 декабря 2013 г. в журнале *Nature Photonics* вышла новая публикация, где ученые развивают и расширяют свой успех. По словам одного из авторов работы, профессора физического факультета МГУ и сотрудника Российского квантового центра в Сколково Михаила Городецкого, в исследовании, фактически, получены сразу три важных результата: учеными разработан метод генерации стабильных фемтосекундных (порядка 10^{-15} сек) импульсов, оптических "гребенок" и СВЧ частот.

Ученым с помощью микрорезонатора (в данном случае — миллиметровый диск из кристалла

фторида магния, в котором можно возбуждать закольцованные, т.е. движущиеся по замкнутой траектории, электромагнитные колебания) удалось превратить непрерывное излучение лазера в периодические сверхкороткие импульсы. Известными устройствами, работающими в таком режиме, являются фемтосекундные лазеры, у которых с огромной частотой генерируются короткие, длительностью сравнимой с 10^{-15} с, импульсы высокой мощности. Без них немислимы современные спектроскопические методы исследования вещества и телекоммуникации, и даже современная офтальмология, в которой фемтолазеры используются для проведения операций на глазах.

"В лазерах с синхронизацией мод для генерации импульсов используются сложные оптические устройства, среды и специальные зеркала. Мы же смогли получить такие стабильные импульсы в простом пассивном резонаторе, используя только собственную нелинейность кристалла", — говорит Городецкий. Это позволяет в перспективе резко уменьшить объем всего устройства. Генерируемые в микрорезонаторе короткие импульсы представляют собой так называемые оптические солитоны (солитон — это устойчивая частицеподобная волна, распространяющаяся в нелинейной среде; пример солитона в природе — цунами). "Мы можем генерировать одиночный стабильный солитон, который бежит внутри микрорезонатора по кругу. При этом в выходном оптоволокне получаются импуль-

сы следующие друг за другом через время одного оборота", — рассказывает Городецкий.

Длительность подобных импульсов 100–200 фемтосекунд, но авторы уверены, что реально достичь значительно более коротких солитонов. Они полагают, что их новация открывает возможность создания компактных, стабильных и дешевых генераторов коротких оптических импульсов в режимах, не достижимых другими методами. Такие импульсы на спектральном языке представляют собой так называемые оптические "гребенки", которые произвели революцию в метрологии и спектроскопии и были удостоены Нобелевской премии 2005 года (ее получили американец Джон Холл и немец Теодор Хэнш "за вклад в развитие лазерной прецизионной спектроскопии, включая технику оптических гребенок"). Существующие генераторы гребенок имеют значительно большие размеры.

Одновременно, как показали исследователи, электрический сигнал от такой гребенки представляет собой очень чистый СВЧ-сигнал с низким уровнем шумов. Сверхмалощумящие компактные СВЧ-генераторы имеют огромную роль в современных технологиях; они используются в метрологии, радиолокации, телекоммуникационном оборудовании, в том числе на спутниках. Авторы работы отмечают, что их результаты критичны для развития таких направлений, как широкополосная спектроскопия, телекоммуникации, радиолокация и астрономия.

(Печатается по материалам сайта www.msu.ru).

ПРЕМИИ / НАГРАДЫ

Анатолий Михайлович ЧЕРЕПАЩУК,



заведующий кафедрой астрофизики и астрономии, директор Государственного астрономического института им. П.К.Штернберга, академик РАН стал лауреатом

Премии Правительства

Российской Федерации 2013 года в области образования.

Премия присуждена за научно-практическую разработку "Создание инновационно-образовательного центра Московский планетарий для популяризации естественно-научных знаний и внедрения эффективных технологий обучения".

В соответствии с указом Президента РФ № 760 от 4 октября 2013 г.
за «заслуги в области образования и многолетнюю плодотворную
деятельность»

медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» I степени

награжден заведующий кафедрой общей физики
физического факультета МГУ, профессор

Александр Михайлович САЛЕЦКИЙ



Премия им. М.В.Ломоносова за научную деятельность II степени

присуждена заведующему кафедрой физики низких температур
и сверхпроводимости физического факультета МГУ, профессору

Александру Николаевичу ВАСИЛЬЕВУ

за цикл работ

“Квантовые основные состояния материи:
сверхпроводимость и магнетизм — единство и борьба противоположностей”



Премия им. М.В.Ломоносова за педагогическую деятельность

присуждена доценту кафедры математики физического факультета МГУ

Александру Александровичу ШИШКИНУ

Поздравляем!

"У.М.Н.И.К." МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ИННОВАЦИОННЫЙ КОНКУРС

1 ноября 2013 г. на физическом факультете состоялся финальный тур секции «Новые приборы и аппаратные комплексы» конкурса молодежных научных инновационных проектов по Программе "Участник молодежного научно-инновационного конкурса ("У.М.Н.И.К."), организованной Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям и Федерального агентства по образованию Российской Федерации.



Целью Программы "У.М.Н.И.К." является выявление молодых учёных, стремящихся самореализоваться через инновационную деятельность, стимулирование массового участия молодежи в научно-технической и инновационной деятельности путем организационной и финансовой поддержки инновационных проектов, а также изучение возможности расширения связей между наукой и производством, реализации и коммерциализации предложенных проектов.

К участию в конкурсе принимаются научные инновационные проекты студентов, аспирантов и молодых ученых (до 28 лет включительно), чья научная деятельность связана с областями «Информационные технологии», «Медицина будущего», «Современные материалы и технологии их создания», «Новые приборы и аппаратные комплексы», «Биотехнологии» и научные результаты которых обладают существенной новизной и потенциальной коммерциализацией.

Каждый победитель программы получает по 400 тыс. рублей на 2 года (включая отчисления, предусмотренные законодательством РФ). По результатам секционных отборов Конкурсное жюри выбрало 25 победителей, в числе которых 9 от физического факультета.

Победители Программы, успешно закончившие ее двухлетний цикл и в результате создавшие интеллектуальную собственность, получают право подавать заявку на участие в программе «СТАРТ».

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА У.М.Н.И.К. 2013 года

Секция "Новые приборы и аппаратные комплексы"

Дайген Дарья Михайловна, «Разработка компактного прибора для диагностики наноматериалов на пригодность использования в фотокаталитических фильтрах и газовых сенсорах».

Зотов Денис Александрович, «Создание сенсора для комплексного изучения живых единичных клеток».

Свиридов Андрей Павлович, «Установка для ультразвуковой тераностики раковых опухолей с использованием кремниевых наночастиц».

Куренков Александр Сергеевич, «Высокоточные преобразователи перемещений на основе микроразмерных высокочувствительных сенсоров магнитного поля».

Муха Илья Рэмович, «Разработка многофункционального прочного магнитооптического сенсора на основе поверхностного плазмонного резонанса».

Миннеханов Антон Анурович, «Фотокаталитический фильтр очистки воздуха от токсичных примесей на основе легированного диоксида титана».

Фролов Александр Юрьевич, «Преобразователь фемто-секундных лазерных импульсов на основе магнито-плазмонных кристаллов».

Секция "Современные материалы и технологии их создания"

Харламова Анна Михайловна, «Создание современных «толстых» аморфных микропроводов с помощью модифицированного метода Улитовского–Тейлора и мониторинг их свойств».

Секция "Медицина будущего"

Жулябина Ольга Александровна, «Клеточный биочип для определения иммунного статуса».



В программе «СТАРТ» принимают участие уже не физические лица, а малые предприятия, условия отбора победителей гораздо жестче, но и финансирование куда более внушительное – за три года около шести миллионов рублей. В идеальном варианте основными участниками программы «СТАРТ» должны стать «У.М.Н.И.К.и», «созревшие» для самостоятельной работы.



КОНКУРС МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ

В ноябре 2013 года на физфаке состоялся конкурс молодых ученых, посвященный 80-летию факультета. В этом году призерами конкурса стали 6 лучших работ молодых ученых, которые были отмечены дипломами конкурса.



«Световые пули филамента и их спектральные характеристики», Сметанина Евгения Олеговна, аспирантка кафедры общей физики и физики волновых процессов.

В работе Е.О. Сметаниной экспериментально и теоретически исследована динамика пространственно-временной компрессии мощного фемтосекундного лазерного излучения, установлены закономерности формирования высокоинтенсивных световых пульс длительностью в несколько перио-

дов светового поля и генерации широкополосного когерентного суперконтинуума при филаментации лазерного излучения в прозрачных диэлектрических средах. К областям возможного практического применения результатов данной работы относятся время-разрешенная спектроскопия процессов в молекулярных соединениях и биологических объектах, время-разрешенное зондирование и экологический мониторинг окружающей среды.

«Медицинские и аэроакустические приложения высокоамплитудных акустических волн с разрывами» Юлдашев Петр Викторович, научный сотрудник кафедры общей физики и физики конденсированного состояния.

В работе П.В. Юлдашева изучены нелинейные и дифракционные волновые эффекты, проявляющиеся при распространении акустических волн с разрывами в неоднородных средах, фокусировке и отражении от границ. Данная проблематика актуальна в связи с появлением новых медицинских

приложений, использующих разрывные волны – экстракорпоральная ударно-волновая терапия и неинвазивная ультразвуковая хирургия, предполагающая разрушение опухолевых тканей с помощью мощного фокусированного ультразвука. В задачах аэроакустики экологические последствия распространения волн звукового удара и мощных аэроакустических шумов в атмосфере интенсивно изучаются в связи с созданием нового поколения сверхзвуковой пассажирской авиации.



Дипломом II степени отмечены работы:

- **Колмычек Ирина Алексеевна**, ассистент кафедры общей физики за работу «Генерация магнитоиндуцированной второй гармоники в магнитных наноструктурах и тонких пленках»;
- **Попова Елена Петровна**, научный сотрудник кафедры математики за работу «Моделирование солнечной магнитной активности».

Дипломом III степени награждены:

- **Зверев Владимир Игоревич**, докторант кафедры общей физики и физики конденсированного состояния, за работу «Магнитные и магнитно-тепловые свойства тяжелых редкоземельных металлов в области магнитных фазовых переходов»;
- **Рыжикова Юлия Владимировна**, научный сотрудник кафедры оптики и спектроскопии, за работу «Новые возможности улучшения характеристик оптических систем и средств диагностики».

ДИССЕРТАЦИИ

В мае 2013 года состоялась защита докторской диссертации
доцента кафедры общей физики и волновых процессов

Александра Павловича ШКУРИНОВА

на тему:

**"ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА
ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО
НЕЛИНЕЙНОГО ОТКЛИКА СРЕДЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
СВЕРХКОРОТКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ С МОЛЕКУЛАМИ
В ОБЪЕМЕ И НА ПОВЕРХНОСТИ"**



В диссертационной работе рассматриваются поляризационные нелинейно-оптические явления, обусловленные зависимостью нелинейного отклика среды от состояния поляризации взаимодействующих с ней световых волн, что составляет один из важных разделов волновой оптики и служат основой реальных методов исследования вещества. Эффекты и новые явления, описанные в данной работе, относятся к различным спектральным диапазонам электромагнитного излучения: от ультрафиолетового до дальнего инфракрасного диапазона длин волн. Впервые проведены исследования различных нелинейно-оптических и поляризационных эффектов, относящихся к терагерцовому диапазону частот. Активное применение этого типа излучения до последне-

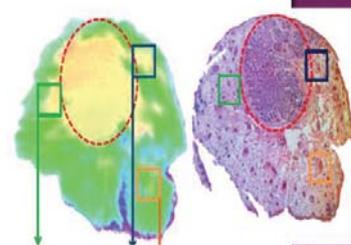
го времени было ограничено отсутствием удобной для лабораторного применения аппаратуры для его генерации и регистрации. С появлением широко доступных источников сверхкоротких фемто-секундных импульсов появилось новое направление исследований, относящихся к терагерцовому диапазону частот, непосредственно связанное с развитием лазерной физики, — импульсная терагерцовая спектроскопия и терагерцовая спектрохронография.

Наряду со многими другими перспективными применениями, импульсное ТГц-излучение находит широкое применение в области полупроводниковых и нанотехнологий, в кристаллографии и молекулярной спектроскопии. В отличие от спектроскопии видимого и ближнего ИК-диапазонов, в кото-

рых исследуются в основном электронные переходы и колебательные процессы, связанные с внутримолекулярными движениями и валентными колебаниями, спектральный отклик молекулярных систем, относящийся к терагерцовому диапазону частот, несет информацию о низкочастотных колебаниях молекул, медленных движениях молекулярных групп и о коллективных возбуждениях фононного типа в твердом теле.

**Терагерцовое излучение
для исследований
в медицине**

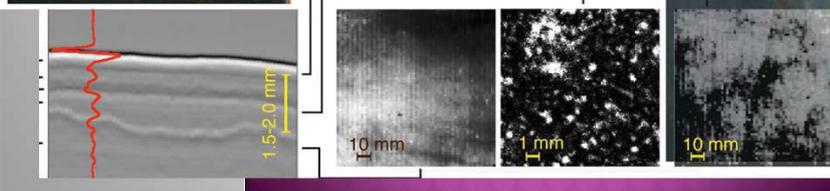
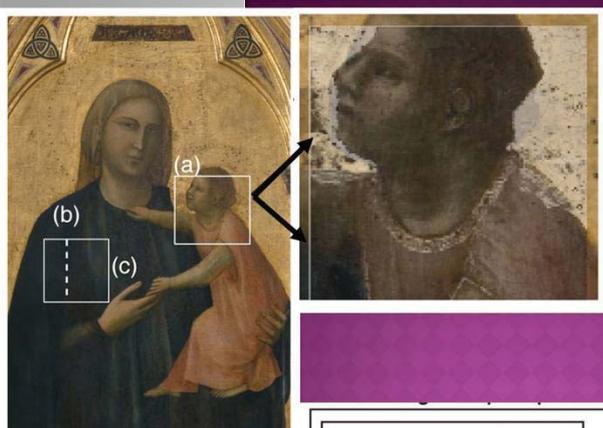
ТГц Гистология



Ранняя диагностика
онкологических заболеваний кожи

**Терагерцовое излучение
для исследования
предметов
культуры и искусства**

Базилика Санта-Мария-Маджоре
(Рим, Италия)



ДИССЕРТАЦИИ

В октябре 2013 года состоялась защита докторской диссертации доцента кафедры общей физики

Юрия Алексеевича КОКШАРОВА

на тему:

“ЭЛЕКТРОННЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМАХ ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ”



В диссертации методом электронного магнитного резонанса (ЭМР) изучены различные типы наночастиц, квазидвумерных кристаллов, сопряжённых полимеров, сверхтонких плёнок. Разнообразие объектов исследования обусловило необходимость анализа спектров ЭМР, заметно различающихся как качественно (регистрировались парамагнитные, ферромагнитные, суперпарамагнитные сигналы), так и количественно (в частности, разброс сигналов по ширине составляет три порядка). Общим для всех изученных систем является су-

щественная неоднородность химического состава, кристаллической и магнитной структуры, морфологии и др. Разработке методик компьютерного анализа проявлений различных видов неоднородности в спектрах ЭМР посвящена значительная часть диссертации. Экспериментально доказана сильная чувствительность спектров ЭМР к неоднофазности магнитных наночастиц, обнаружены температурные аномалии спектров ЭМР ферромагнитных наночастиц, необычные релаксационные свойства парамагнитных наночастиц и магнитных центров в

сопряжённых полимерах. На примере наночастиц гётита, кристаллов ВТСП и родственных им соединений показана возможность использования дефектов магнитной структуры как "естественных спиновых зондов" для исследования магнитных свойств некоторых низкоразмерных антиферромагнетиков. В целом, на основе исследования широкого круга систем пониженной размерности установлены различные виды взаимосвязи между структурными особенностями таких систем и их магниторезонансными характеристиками.



В феврале 2013 г. состоялась защита докторской диссертации доцента кафедры фотоники и физики микроволн

Владимира Игоревича БЕЛОТЕЛОВА

на тему:

"ПЛАЗМОННЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ И ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ С ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ"

Исследования, проведенные в рамках диссертационной работы, посвящены теоретическому и экспериментальному изучению взаимодействия оптического излучения с наноструктурами, оптические свойства которых могут быть модифицированы посредством внешнего воздействия: магнитного поля или интенсивного лазерного излучения. Специально подобранная периодическая структура плазмонных и фотонных кристаллов приводит к резонансным явлениям, в результате которых оптические и магнитооптические эффекты

существенно усиливаются в нужном диапазоне длин волн. Это открывает большие возможности для создания новых оптических элементов, в которых различные характеристики оптического излучения эффективно модулируются с частотой вплоть до ТГц.

Одним из главных результатов В.И. Белотелова является разработка нового наноструктурированного материала — магнитного плазмонного кристалла, который позволяет эффективно управлять поляризацией и интенсивностью света и плазмонными колебаниями

посредством магнитного поля или оптического излучения. Данный материал очень перспективен для информационных технологий. Его уникальной особенностью является возможность работы как в дальней оптической зоне (с распространяющимся светом), так и в ближней оптической зоне (с локализованными волнами — плазмон-поляритонами и волноводными модами).

В работе впервые исследовано резонансное усиление магнитооптических эффектов в магнитных плазмонных кристаллах и создана

теория этого усиления. Продемонстрировано резонансное усиление экваториального эффекта Керра в 10^3 раз и эффекта Фарадея в 10 раз по сравнению с магнитными пленками без плазмонного слоя.

Кроме того, предсказан и экспериментально продемонстрирован магнитооптический интенсивностный эффект, возникающий в плазмонных кристаллах за счет возбуждения волноводных мод в волноведущем слое, намагниченном мери-дионально, т.е. в плоскос-

ти пленки и вдоль направления распространения моды.

Создана теория резонансного увеличения эффекта Фарадея и других магнитооптических эффектов в магнитных фотонных кристаллах и получены аналитические выражения для удельного угла Фарадея, которые хорошо согласуются с данными экспериментов. Теоретически предсказан обратный экваториальный эффект Керра.

Впервые продемонстрировано управление коэффициентами пропускания и отражения, а также поверхностными плазмон-поляритонами в плазмонном кристалле при воздействии фемтосекундным лазерным импульсом (плотность энергии импульса ~ 500 мкДж/см²). Также экспериментально получена модуляция плазмонного резонанса в плазмонном кристалле посредством импульса приповерхностной акустической волны на частотах вплоть до 110 ГГц.

В марте 2013 состоялась защита докторской диссертации доцента кафедры физики колебаний

Александра Павловича ПЯТАКОВА

на тему:

"МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В МУЛЬТИФЕРРОИКАХ И МАГНИТНЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ"



Диссертация А.П. Пятакова посвящена быстро развивающейся области физики твердого тела — магнитоэлектрическим явлениям. В отличие от известного из курса общей физики электромагнетизма, магнитоэлектричество связывает магнетизм и электричество не только в области высокочастотных колебаний, но и в статике: даже постоянное электрическое поле порождает намагниченность в веществе, а статическое магнитное — электрическую поляризацию. Магнитоэлектрические явления проявляются в магнитных средах и мультиферроиках (магнитных сегнетоэлектриках).

Несмотря на привлекательность таких материалов для приложений

в магнитной электронике и сенсорной технике, они не получили широкого распространения в силу немногочисленности высокотемпературных мультиферроиков. Поэтому мотивацией исследования, легших в основу диссертации, было расширение класса веществ, которые проявляют магнитоэлектрические свойства при комнатной температуре за счет нахождения новых механизмов магнитоэлектрических эффектов.

Основным сюжетным мотивом диссертации являются магнитные неоднородности и структуры: спиновые спирали, доменные границы, магнитные вихри. С перечисленными объектами связан флексомагнитоэлектрический эф-

фект, вынесенный в заглавие работы. Этот термин был введен автором диссертации по аналогии с флексоэлектрическим эффектом в жидких кристаллах (см. рис.) и стал использоваться в работах ряда научных групп для обозначения класса магнитоэлектрических явлений, связанных с возникновением электрической поляризации на магнитных неоднородностях. Исследование данного эффекта позволило научиться управлять магнитными доменными границами с помощью электрического поля, а также улучшить свойства высокотемпературных мультиферроиков, что может найти применение в магнитной электронике.

ДИССЕРТАЦИИ

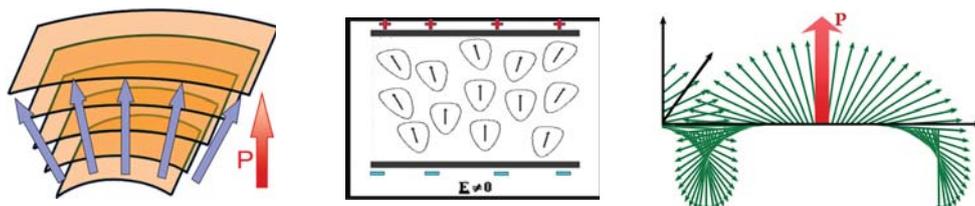


Рис. Флексоэлектрический эффект — возникновение электрической поляризации: а) в диэлектриках за счет возникновения градиента механической деформации при изгибе б) в нематических жидких кристаллах при пространственной модуляции ди-ректора, указывающего ориентацию молекул в) в магнитоупорядоченных средах при возникновении спиновой циклоиды. P-электрическая поляризация, E-электрическое поле.

КОНФЕРЕНЦИИ



14–16 ноября 2013 года на физическом факультете МГУ прошло заседание Президиума УМО по физике

С 14 по 16 ноября на физическом факультете МГУ прошло расширенное заседание Президиума Учебно-методического совета по физике Учебно-методического объединения по классическому университетскому образованию, приуроченное к празднованию 80-летнего юбилея физического факультета МГУ. В работе пленума приняли участие деканы около тридцати физических факультетов

университетов России. На заседаниях были рассмотрены вопросы о практической реализации закона об образовании; об аспирантуре как новом уровне образования; об участии в Международных конференциях по физическому образованию, а также целый ряд других проблем. Деканы физических факультетов университетов России приняли участие в торжественном заседании, по-

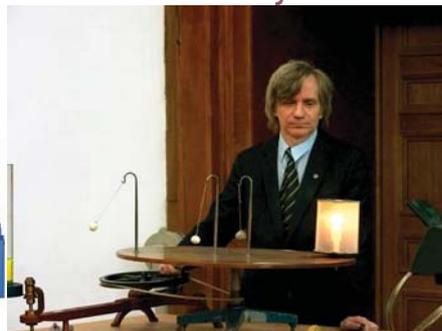
священном юбилею физфака МГУ, где тепло поздравили руководство, сотрудников и аспирантов и студентов физического факультета. В своих выступлениях они отмечали «большую и плодотворную работу физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по координации деятельности в области физического образования в университетах России».

КОНФЕРЕНЦИИ

ФИЗФАК — ШКОЛЕ



"ЛЕКТОРИЙ ПО ФИЗИКЕ" для школьников и учителей



Осенью 2013 года в рамках совместной программы МГУ и Департамента образования г. Москвы "МГУ-школе" физический факультет провел целый ряд мероприятий. Самым масштабным из них стал "лекторий по физике". Программа лектория объединила 12 лекций по трем направлениям:

- цикл "Реальная физика" — 5 лекций, посвященных различным разделам курса физики, основным содержанием которых были демонстрационные эксперименты, с помощью которых слушатели могли познакомиться с широким кругом физических явлений и увидеть много интересных и необычных проявлений физических законов;

- цикл "Портрет современной физики" — 5 научно-популярных лекций о "горячих" новостях и пе-

редовых исследованиях в физике элементарных частиц, космологии, биофизике, физике наносистем;

- 2 мастер-класса по использованию демонстрационных экспериментов в преподавании физики. Этот цикл был главным образом ориентирован на учителей и преподавателей физики, но на него пришло и довольно много школьников.

Лекции проходили еженедельно в период с 13 сентября по 29 ноября в ЦФА.

Всего было показано более 100 демонстрационных экспериментов, в работе лектория приняли участие 26 сотрудников факультета, для учителей — слушателей мастер-классов было издано методическое пособие по использованию экспериментов в преподавании физики.

Работа лектория вызвала очень большой интерес в Москве. Наибольшей популярностью пользовались лекции цикла "реальная физика". На многих из них собиралось более 400 слушателей! На лекции "В мире высоких напряжений" вели съемку группы двух московских телеканалов — "ТВ-центр" и "Москва-24".



ФИЗФАК — ШКОЛЕ

ФИЗИЧЕСКОМУ ФАКУЛЬТЕТУ МГУ

80 ЛЕТ



Научное издание

Бюллетень "НОВОСТИ НАУКИ"

© 2013 Физический факультет МГУ

Под. ред. Н.Н. Сысоева, В.Н. Задкова, А.А. Федянина, Н.Б. Барановой

Дизайн и верстка: О.В. Салецкая, И.А. Силантьева

Фотограф С.А. Савкин

Подписано в печать Тираж 500 экз. заказ №

Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова,
119991, Москва ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии МГУ имени М.В.Ломоносова

ноябрь
2013