



В преддверии Нового года бюллетень «НОВОСТИ НАУКИ» взял интервью у профессора кафедры квантовой электроники и руководителя Лаборатории квантовых оптических технологий физического факультета МГУ Кулика Сергея Павловича

В последние годы наблюдается стремительный прогресс науки на стыке квантовой физики и математики, теории информации и теории вычислений. Квантовая обработка информации и квантовая связь — новая бурно развивающаяся область знаний, которая обладает огромным потенциалом, ведущим к прорыву во многих областях науки и техники. Существенный прогресс достигается, как в области теоретических исследований, так и в экспериментальных разработках, проводимых в различных научных лабораториях.

Активные фундаментальные исследования и практические разработки в области квантовой физики ведутся научными группами и на физическом факультете МГУ. В этом выпуске Новостей Науки мы приводим интервью с руководителем лаборатории квантовых оптических технологий, профессором кафедры квантовой электроники и физического факультета МГУ Сергеем Павловичем КУЛИКОМ. Лаборатория насчитывает более 50 сотрудников факультета, включая студентов, аспирантов и молодых ученых. Исследования в области квантовой обработки информации, создание защищенной национальной квантовой сети и семейства квантовых симуляторов, проводимые научной группой, вносят существенный вклад в развитие квантовых технологий в России и по всему миру.



НН: Сергей, чем занимается Ваша лаборатория, какие направления квантовых технологий в ней развиваются и почему речь идет именно о технологиях, а не о чисто научных исследованиях?

В структуре тематик проводимых в лаборатории исследований — три крупных направления. Это традиционные для квантовой информатики области — квантовая связь, квантовые симуляторы и квантовые интерфейсы. В рамках этих направлений в лаборатории развиваются и представлены пять основных тематик исследований, которые тесно связаны между собой.

1. Инженерия квантовых оптических состояний. Это базовое направление включает в себя исследование новых методов генерации неклассических оптических состояний высокой размерности (речь идет о различных квантовых состояниях размерности от 2 до нескольких сотен), их интерференции, и полной характеристики — т.н. квантовая томография состояний (quantum state tomography) и квантовая томография процессов (quantum process tomography). Объектами исследования являются состояния N -фотонного, а также теплового (за вычетом N -фотонов) поля, в качестве степеней свободы выступают поляризация, пространственные и частотные переменные. Здесь же исследуется возможность генерации трехфотонных состояний в оптическом волокне и различные методы их характеристики.

Параллельно были разработаны эффективные протоколы адаптивной байесовской томографии и гомодинного детектирования оптических состояний. В этих протоколах очередное измерение квантового состояния выбирается исходя из результатов предыдущего, что обеспечивает более эффективную сходимость в зависимости от числа измерений ($1/N$ против $1/\sqrt{N}$). Такие методы измерения представляются адекватными для состояний с малым средним числом фотонов.

Перечисленные выше квантовые состояния и методы их измерения лежат в основе систем квантовой связи и квантовых симуляторов (об этом — чуть ниже) и эффективно используются в них.

СОДЕРЖАНИЕ

1 НОВОСТИ НАУКИ

40 КОНКУРСЫ-НАГРАДЫ

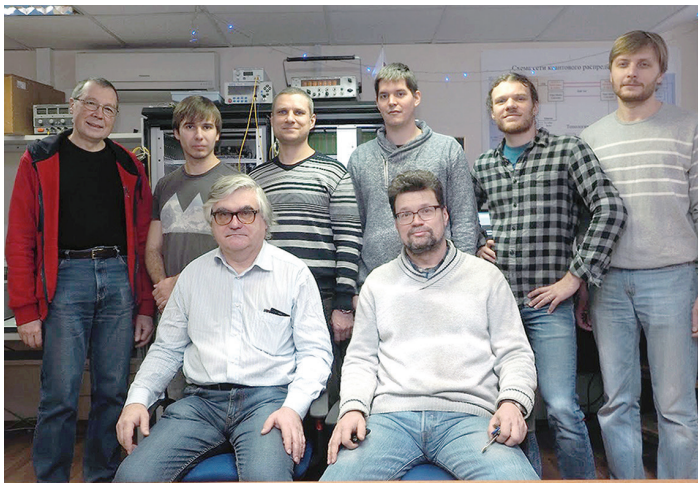
42 ВЫСТАВКИ-ПРЕЗЕНТАЦИИ

44 ДИССЕРТАЦИИ

45 УЧЕНЫЕ ФИЗФАКА

48 ФИЗФАК—ШКОЛЕ

ISSN 200-2384



2. Оптоволоконная квантовая криптография. Основной задачей является разработка новых протоколов квантового распределения ключа, обоснования их секретности, а также создания аппаратуры гарантированной стойкости. К настоящему времени разработана, создана и прошла испытания полностью автоматическая (без участия оператора) сетевая, оптоволоконная система квантового распределения ключей, обладающая свойством регенерации. Мы испытали эту систему на действующих оптоволоконных линиях ПАО «Ростелеком» при участии Фонда перспективных исследований. Параметры системы не уступают, а по защищенности превышают параметры зарубежных аналогов.

3. Атмосферная квантовая криптография. Целью является исследование возможности нового оригинального протокола квантового распределения ключей через атмосферные каналы — т.н. протокол релятивистской квантовой криптографии. В этом протоколе наряду с «традиционными» в квантовой криптографии ограничениями, накладываемыми на действия нарушителя и связанными с соотношением неопределенностей, добавляются ограничения, диктуемые специальной теорией относительности. Потенциальные возможности этого протокола, разработанного в лаборатории, лягут в основу глобальной национальной квантовой сети, элементами которой являются линии типа «земля–воздух», «воздух–воздух», охватывающей территорию РФ, включая низкоорбитальные спутники.



4. Атомная оптика. Задачей является разработка методов управления одиночными атомами в магнито-оптических и дипольных ловушках. Управляющими являются как классические, так и однофотонные поля. За последние два года была построена экспериментальная установка, включающая блок вспомогательных лазеров для охлаждения и удержания атомов ру-

бидия (Rb^{87}) и вакуумный блок. Было достигнуто рекордное время удержания в ловушке одиночного атома рубидия, которое составляет порядка 100 секунд. На основе такой дипольной ловушки создается квантовый регистр — набор упорядоченных в пространстве атомов, к каждому из которых имеется индивидуальный доступ посредством специально сформированного пучка неклассического света — для задач квантовой симуляции и квантовых вычислений, а также квантового ретранслятора для задач квантовой коммуникации. Здесь для управления пространственным распределением неклассического поля используется подход, разработанный в первой группе задач, основанный на генерации мод Гаусса-Эрмита при помощи пространственных модуляторов света.

5. Оптические квантовые симуляции и фемтосекундная лазерная печать. За истекшие два года разработан и создан комплекс фемтосекундной лазерной печати. На нем создаются оптические волноводные структуры с целью управления квантовыми состояниями света для реализации линейно-оптических квантовых симуляций. Разработаны и созданы программируемые оптические чипы на основе интерферометров Маха-Цандера — прототипы квантового симулятора для задачи boson sampling. Такие структуры также являются базовыми для решения криптографических задач типа умножения матрицы на вектор. Другим классом задач является создание и исследование компактного источника высокоразмерных квантовых состояний света на чипе.

Главным результатом здесь является создание программируемого линейно-оптического чипа, в котором преобразование фаз достигается за счет использования термооптического эффекта за времена порядка десятка миллисекунд.

Сами волноводные структуры (прямые и изогнутые волноводы, светоделители, интерферометры), конечно, являются классическими, однако на вход таких чипов подаются N-фотонные состояния, которые после преобразования в чипе подлежат измерению одним из упомянутых в разделе 1 методов. Таким образом происходит моделирование спектра собственных состояний сложных молекул при условии, что элементарные ошибки, возникающие из-за неидеальностей чипов/квантовых состояний, не превосходят пороговой величины.

НН: Почему акцент сделан именно на оптических квантовых технологиях? В чем преимущества использования фотонов как носителей квантовой информации?

Дело в том, что деятельность лаборатории является естественным продолжением направления, которое издавна развивалось на кафедре квантовой электроники (до 2001 года — кафедра квантовой радиофизики). Речь идет о квантовой оптике и традициях школы Д.Н. Клышко и А.Н. Пенина — именно эти люди во многом сформировали облик научных направлений не только нашей лаборатории, но и ряда других.

Название «квантовые оптические технологии» подчеркивает связь между фундаментальными исследованиями — прежде всего в квантовой оптике и спектроскопии — и теми задачами, которые или уже привели, или приведут в перспективе к созданию конкретных устройств для передачи, обработки и хранения квантовой информации.

Фотоны — как носители квантовой информации — очень удобные объекты. Во-первых, они быстрые, во-вторых, про них много что известно и у нас есть богатый опыт по генерации, преобразованию и измерению неклассических состояний света, и, наконец, современные средства телекоммуникации предоставляют обширный инструментарий для работы с фотонами. Это и лазеры, и модуляторы, и детекторы, и элементы поляризационной оптики, а также много других полезных приспособлений, которые прекрасно работают на предельно низких интенсивностях света, т.е. на уровне отдельных фотонов. Все эти элементы доступны и, практически, в готовом виде используются в наших экспериментах.

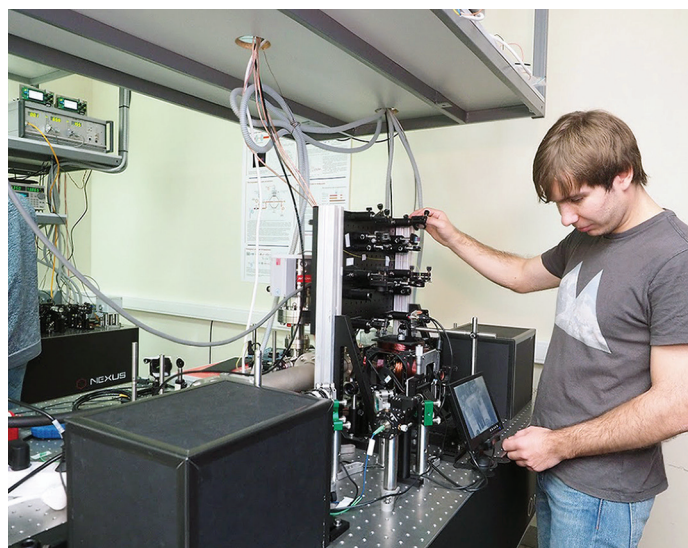
НН: Говоря о квантовой криптографии, какие новые достижения получены здесь именно Вашей лабораторией?

В лаборатории разработано и создано несколько поколений систем квантовой криптографии — мы начали серьезно заниматься этим направлением в 2005 году. А до этого были работы, в которых исследовались разные состояния света в квантово-оптических аспектах, поэтому тематика квантовой криптографии логически стройно вписывается в деятельность лаборатории. Из наиболее ярких достижений я бы назвал разработку оригинального протокола релятивистской квантовой криптографии. Такой протокол эффективно работает на основе атмосферных/космических каналов связи с большими потерями — на основе идеи, предложенной проф. С.Н. Молотковым. Другим важным результатом является разработка и построение полностью автоматического варианта системы распределения ключей с регенерацией через волоконно-оптические каналы.

Здесь важно отметить, что все разрабатываемые в лаборатории системы и новые протоколы квантовой криптографии обеспечены соответствующими математическими доказательствами защищенности — без этой базы трудно говорить о серьезных работах в области квантовой связи. Еще одним очень важным результатом служит построение квантового генератора случайных чисел. Такой генератор является основой наших криптографических систем; он прошел соответствующее тестирование и может быть использован и в других приложениях. Генератор основан на случайном характере распределения фотонов в многомодовом поле излучения и на преобразовании статистики излучения в статистику фотоотсчетов при фотоэффекте.

НН: Каковы реалии и перспективы практического использования систем квантовой связи?

Это серьезный вопрос — в контексте повышенного внимания к средствам информационной безопасности в последнее время. Конечно, интерес к системам квантовой криптографии проявляют государственные структуры — такие системы, по всей видимости, являются перспективными там, где используется симметричное шифрование. Коммерческие структуры тоже проявляют определенный интерес, хотя на сегодняшний день четкой формулировки проблематики в спектре услуг пока нет. Прежде всего, это банковская сфера, где необходимо шифрование больших потоков информации, возможно, задачи о защите персональных данных, частой смене PIN-кодов и др.

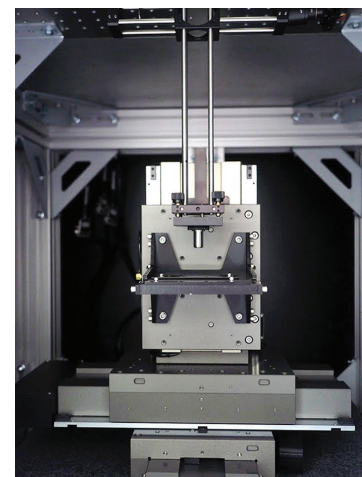


НН: Замечательные преимущества квантовой связи сталкиваются с проблемой передачи квантовой информации на большие расстояния, когда необходимо использовать, например, повторители для передачи данных по оптическому волокну. В этом случае и повторители также должны быть квантовыми. Возможно ли это и работает ли Ваша лаборатория в этом направлении?

Разумеется, проблема квантовых повторителей и квантовой памяти — одна из центральных в квантовой связи. Одна из групп в нашей лаборатории (руководитель С.С. Страупе) непосредственно занимается этой задачей. Мы хотим построить квантовый повторитель на основе одиночных атомов в дипольной микроловушке. Это сравнительно новая деятельность, однако за два с половиной года мы научились приготавливать одиночные атомы рубидия в нужном состоянии, удерживать его относительно долгое время и записывать/считывать информацию при помощи управляющих оптических полей. Параллельно мы работаем над созданием элементов твердотельных квантовых регистров в специальных кристаллах с редкоземельными примесями — совместно с группой проф. С.А. Моисеева из Казани.

НН: Каковы коммерческие перспективы квантовой связи у нас в стране? Есть ли у Вас и Ваших студентов интерес к этому, имея в виду создание т.н. spin-off компаний и т.п.?

Разумеется, коммерческие перспективы есть, но на мой взгляд, этой деятельностью должны заниматься специальные подразделения, которые являются интерфейсами между учеными и рынком. Все-таки мы, прежде всего, учебно-научное учреждение и основной задачей является воспитание квалифицированных кадров (в том числе и для нас) и проведение



научных исследований на высоком уровне. Результатом такого симбиоза и станут прикладные и коммерческие разработки, но, повторяюсь, я больше вижу лабораторию в качестве фундаментального основания этой важной деятельности.

НН: Помимо квантовой связи Вы также занимаетесь исследованиями по оптическим квантовым вычислениям. Что это такое и как это возможно проводить квантовые вычисления с обычными элементами оптических схем типа зеркал, преломляющих пластинок и т.д.? Каковы здесь успехи и перспективы?

Действительно, у нас в лаборатории две группы занимаются решением задачи о создании квантового симулятора. О деятельности одной группы я уже упомянул в контексте создания квантовых повторителей — речь идет о модели нейтральных атомов в ловушках. Такая система является реалистичным кандидатом на построение квантового симулятора и, впоследствии — квантового вычислительного устройства. Квантовый симулятор решает одну или несколько конкретных расчетных задач, связанных, например, с нахождением энергетической структуры многоатомных молекул.

Другая группа (руководитель И.В. Дьяконов) занимается задачами синтеза волноводных структур в диэлектрических матрицах. Именно такие структуры (прямые и изогнутые волноводы, светоделители, интерферометры) являются базовыми для построения т.н. линейно-оптического квантового симулятора.

Вообще, линейно-оптический квантовый компьютер занимает обособленное место в ряду физических платформ для реализации универсального квантового компьютера или квантового симулятора, поскольку, во-первых, в отличие от остальных систем квантовые состояния света слабо подвержены декогеренции и существуют эффективные методы ее подавления, а во-вторых, оптические фотоны являются универсальными носителями информации пригодными как для обработки (например, реализации алгоритмов вычислений), так и для передачи информации — в том числе и по квантовым каналам связи — об этом я уже говорил. Основными проблемами для реализации оптического квантового компьютера являются отсутствие эффективных однофотонных источников, отсутствие эффективных однофотонных детекторов с высокой квантовой эффективностью и вероятностный характер двухкубитных оптических гейтов, обусловленный малой величиной (нелинейной восприимчивости) взаимодействия одиночных фотонов друг с другом. Эти проблемы так или иначе решаются и есть надежда, что в ближайшие 1–2 года мы получим и эффективные однофотонные источники, и новые материалы с высокими значениями соответствующих восприимчивостей. Наиболее сложной представляется проблема построения квазидетерминистического квантового гейта.

НН: В Вашей лаборатории успешно работает большой отряд студентов, аспирантов и молодых сотрудников. Как Вам удается привлечь их к работе в лаборатории, Есть ли какие-то секреты?

Уровень подготовки студентов, которые приходят к нам, очень разный. Конечно, далеко не все студенты способны

разобраться в специфике тематик лаборатории, хотя бы потому, что они не прослушали соответствующие специальные курсы — я думаю, это общая проблема на физфаке при формулировке задач для студентов. Кроме того, иногда они “заражены” тем популистским материалом, который в избытке представлен в интернете и масс-медиа по теме квантовой обработке информации. И здесь, на мой взгляд, важно, чтобы студент оказался вовлеченным в научную деятельность с самого начала и постигал ее нюансы на ходу, т.е. в процессе работы на установке. Во всяком случае, так происходило с большинством тех ребят, которые прошли через нашу лабораторию и в итоге остались с нами. Никаких других “секретов” нет...

НН: Видимо это также требует существенных финансовых источников для поддержки работы лаборатории и ее сотрудников, поделитесь своими рецептами “добывания” финансирования в реалиях современной России.

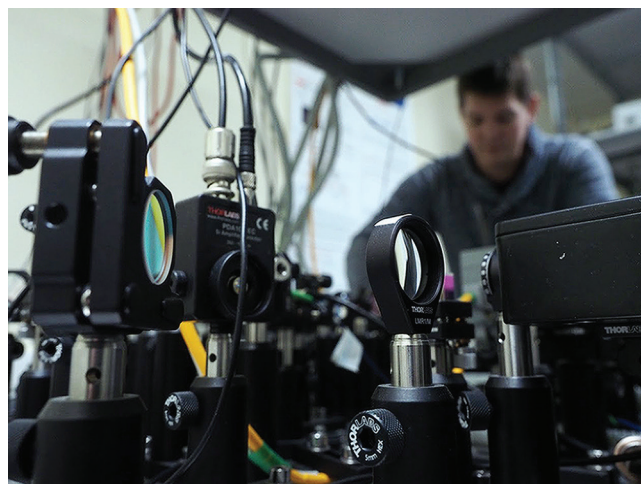
Конечно, материальное обеспечение такой большой лаборатории — очень затратная вещь и, действительно, поиск источников финансирования рассматривается как важная и неотъемлемая часть нашей деятельности. Наверное, ключевую роль здесь играет репутация — и научная, и педагогическая, и организационная — мы стараемся не нарушать свои обещания и делать то, под чем подписываемся. Это не просто, но, похоже, других вариантов просто нет — как при работе над чисто научными проектами, так и в рамках специальных тематик.

НН: В Московском университете как ни в одном другом учебном заведении в России огромное значение имеет научная школа, в которой вырос тот или иной ученый, его учитель или учителя. Какое значение это имеет для Вас лично и кто Ваш Учитель/учителя? Прививаете ли Вы традиции этой школы уже Вашим ученикам?

Конечно, огромное значение имеет “воспитание” — это обстановка в научном коллективе, которая создавалась десятилетиями силами таких Учителей, многих из которых, к сожалению, с нами уже нет. Без таких “планок” ничего бы не получилось. Для меня, это прежде всего Александр Николаевич Пенин и Давид Николаевич Клышко, которые по праву являются основателями Школы квантовой оптики, признанной во всем мире. Долгое время нашу кафедру возглавлял Леонид Вениаминович Келдыш, который считал квантово-оптическое направление приоритетным и очень сильно помогал нам и поддерживал, когда это было необходимо. Наверное, основной принцип, который, я надеюсь, перешел от этих Учителей, заложен в понятии “коллега” — т.е. полноправный научный партнер, не взирая на возраст и регалии. Конечно, и в научной среде есть авторитеты, но принципы научной дискуссии предполагают равноправие на высказывание и выслушивание мнения коллег. Я надеюсь, что и молодые ребята, которые когда-то закончили нашу кафедру, сейчас выросли и сами стали руководителями групп, будут достойными продолжателями этих традиций.

НН: Вам довелось достаточно долго работать за границей, в том числе и в США. Сравнивая уровень научных исследований в МГУ и там, так сказать по Гамбургскому счету, чему мы должны учиться у них и они у нас?

Я не считаю, что в тех местах, где я работал за рубежом, был какой-то особенно высокий научный уровень по сравнению с тем, что есть в МГУ; в том числе и по уровню приборного обеспечения — сегодня наша лаборатория экипирована не хуже многих ведущих зарубежных. Важно то, чтобы молодой научный сотрудник был всецело занят научной работой — это очень важный критерий научной деятельности. То, чего не хватает у нас — долгосрочности научных Программ и, отсюда понимания того, что твоя деятельность находится в русле стратегического развития какого-то направления. Я очень приветствую финансирование “по проектам”, когда и штат, и соответствующее обеспечение формируется под конкретный проект — даже в пределах одной лаборатории. Но беда состоит в том, что когда проект успешно заканчивается, то накопленный потенциал необходимо использовать для решения очередных задач, а это невозможно по причине окончания финансирования. К тому же в науке о квантовой обработке информации большинство задач является долгосрочными — это задачи, которые при правильной организации должны органически переходить к следующим и в итоге привести к построению глобальных национальных квантовых сетей и/или построению квантовых компьютеров/симуляторов. А зачастую такого продолжения (финансирования) нет, и люди должны искать себе достойное место для продолжения работы на стороне. Таких мест с соответствующим финансированием в РФ очень мало — это, наверное, основное отличие от раз-



витых стран, где окончание проекта вовсе не означает конец научной карьеры. Соответственно, учиться надо организации научного процесса, что предполагает решение и кадровых проблем в контексте стратегического планирования научных тематик.

НН: Это интервью мы берем у Вас в преддверии наступающего 2017 Нового года. Желаем Вам и всем студентам, аспирантам и сотрудникам Вашей лаборатории успехов и процветания в новом году, новых идей, новых открытий и достижений! Спасибо.

И Вам спасибо:)

ФОНД ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, МГУ И РОСТЕЛЕКОМ УСПЕШНО ИСПЫТАЛИ СИСТЕМУ КВАНТОВОЙ КОММУНИКАЦИИ МЕЖДУ ДВУМЯ ГОРОДАМИ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В Московской области успешно завершились трехнедельные испытания автоматической системы квантового распределения криптографических ключей* на базе стандартных линий связи ПАО «РОСТЕЛЕКОМ»: между городами был налажен обмен сообщениями, зашифрованными с помощью квантовых технологий.

Квантовая связь была успешно осуществлена между Ногинском и Павловским Посадом на оптоволоконной линии длиной 32 км.

По мере внедрения этой технологии она сможет использоваться в сферах, где необходима защищенная связь для передачи конфиденциальных данных: например, в банковской сфере, для управления критическими технологическими объектами, для доступа к информации в центрах обработки данных, а также в локальных и распределенных сетях обмена конфиденциальной информацией.

Основной целью испытаний стала демонстрация возможности долговременной и устойчивой работы системы квантового распределения криптографических ключей на базе стандартной инфраструктуры. Испытания показали, что система стабильно работает на оптоволоконных линиях ПАО «Ростелеком» между двумя городами Московской области, Ногинском и Павловским Посадом, в полностью автоматическом режиме.

Испытанная система квантового распределения ключей разработана лабораторией квантовых оптических технологий, учрежденной совместно Фондом перспектив-

ных исследований и физическим факультетом МГУ имени М.В.Ломоносова. В лаборатории ведутся исследования по нескольким прорывным направлениям в сфере квантовой обработки информации, и уже получен ряд серьезных результатов, в том числе прикладного характера. В частности, в лаборатории разработано оборудование, которое при подключении к действующим волоконно-оптическим линиям обеспечивает связь гарантированной стойкости.

Руководитель лаборатории квантовых оптических технологий МГУ, член комиссии по проведению испытаний, профессор Сергей Кулик: «Проведенные испытания имеют принципиальное значение для развития всей отрасли квантовых технологий. В ходе испытаний были продемонстрированы «три кита» современной квантовой связи. Во-первых, осуществлено распределение симметричных криптографических ключей в соответствии с ГОСТ. Распределение ключей происходило в режиме квантовой сети, когда идентичные ключи генерировались у пар абонентов по их запросу. Во-вторых, квантовая связь осуществлялась между двумя конкретными населенными

пунктами — городами Московской области. В-третьих, система работает в полностью автоматическом режиме, без участия оператора».

Участие оператора требуется только при первом запуске системы и настройке ее основных параметров, в зависимости, например, от расстояния между абонентскими пунктами. Все текущие значения параметров работы системы тестируются и поддерживаются автоматически: система подстраивает их в зависимости от колебаний показателей оптоволоконной линии. Во время испытаний использовался клиент-серверный вариант системы, позволяющий не только добиться ее долговременной и стабильной работы, но и минимизировать стоимость клиентского узла. Ключи распределялись между центральным сервером и несколькими клиентскими узлами: последовательно получаемые на различных узлах, ключи специальным образом синхронизируются, что позволяет всем абонентам напрямую обмениваться сообщениями, зашифрованными в соответствии с российским национальным стандартом. Сегодня система обеспечивает криптографические свойства, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 28147-89.

Заместитель начальника управления Центра ФСБ России, член-корреспондент Академии криптографии Российской Федерации, член комиссии по проведению испытаний Андрей Корольков: «Система, в составе которой есть серверная станция с возможностью коммутации между

32 клиентскими узлами, использует оригинальный отечественный протокол передачи данных. Его криптографическая стойкость позволяет генерировать ключи, подходящие для использования в современных и перспективных аппаратно-программных средствах криптографической защиты информации ограниченного доступа».

Главный архитектор по стратегии безопасности сетевых и облачных решений ПАО «Ростелеком», член комиссии по проведению испытаний Муслим Меджлумов: «Демонстрация долговременной работы сетевого варианта системы квантового распределения ключей, работающей на инфраструктуре стандартных волоконно-оптических линий связи и соответствующей всем требованиям по криптографической стойкости, показывает, что в России созданы условия для внедрения этой технологии».

Справочно:

Криптографический ключ — это последовательность чисел определенной длины, созданная для шифрования информации. Квантовое распределение ключей — это новая технология, которая решает одну из основных задач криптографии — гарантированное на уровне фундаментальных законов природы распределение ключей между удаленными пользователями по несекретным (открытым) каналам связи. Постоянная и автоматическая смена ключей при передаче каждого сообщения позволяет реализовать стойкое шифрование в режиме одноразового «шифроблокнота»: на сегодняшний день это единственный вид шифрования со строго доказанной криптографической стойкостью.

МГУ ПОДТВЕРДИЛ СТАТУС ОДНОГО ИЗ ЛУЧШИХ ВУЗОВ МИРА ПО ВЕРСИИ РЕЙТИНГА QS WUR

6 сентября 2016 года опубликован Глобальный рейтинг университетов **QS World University Rankings 2016/17**, в котором представлены ведущие мировые вузы.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова вновь стал лучшим в России, сохранив позицию прошлого года — 108-е место в мире. При этом физический факультет занимает 27 место, поднявшись в рейтинге с 36 места. Всего для включения в рейтинг в этом году были рассмотрены 3 800 университетов, из которых 891 вошли в список, что на 25 университетов больше, чем в 2015 году.

«МГУ в очередной раз подтвердил лидирующие позиции в условиях возросшей глобальной конкуренции, особенно со стороны быстроразвивающихся университетов азиатского региона. В 2016 году мы традиционно улучшили позиции в категориях “мнения экспертов из академической среды” (Academic Reputation) и “репутация вуза среди работодателей” (Employer reputation), которые являются основными показателями работы университета, именно эти критерии определяют качество преподавания в вузе и уровень проведения научных исследований. Также в этом году мы успешно провели приемную кампанию по привлечению иностранных учащихся, что является хорошим заделом на будущее,» — прокомментировал ректор МГУ имени М.В. Ломоносова академик В.А. Садовничий.

© QS Quacquarelli Symonds 2004–2016
<http://www.TopUniversities.com/>



QS World University Rankings — это ежегодный рейтинг лиги лучших университетов мира, который является, пожалуй, одним из самых известных и уважаемых рейтингов в своем роде. QS World University Rankings®, составленный аналитическим отделом QS Intelligence Unit при тесном сотрудничестве с международным консультативным советом, состоящим из ведущих ученых, он широко используется абитуриентами и студентами, специалистам университетов и правительствами во всем мире. Целью рейтинга является признание университетов, многосторонними организациями и обеспечение сравнения их достижений с другими вузами на глобальном уровне, в том числе и с университетами мирового класса.

Ключевые факты и цифры:

В репутационных опросах экспертов было собрано 74 651 ответов представителей научного сообщества и 37 781 ответов работодателей, что делает оба исследования крупнейшими в мире в своем роде. Для включения в рейтинг в этом году были рассмотрены 3 800 университетов и 891 вошли в список, что на 25 университетов больше, чем в 2015 году.

Были проанализированы 10,3 млн статей, проиндексированных библиометрической базой данных Scopus / Elsevier, было рассмотрено 66,3 млн цитат (снизилось до 50,4 млн цитат после исключения самоцитирования).

Напомним, что суммарно с 2012 года МГУ имени М.В.Ломоносова поднялся в рейтинге QS World University Rankings на 8 позиций вверх.

МГУ — ЕДИНСТВЕННЫЙ РОССИЙСКИЙ ВУЗ, ВОШЕДШИЙ В ТОП-200 РЕЙТИНГА THE WUR 2016/17

21 сентября 2016 года британский журнал **Times Higher Education** опубликовал результаты 13-го всемирного рэнкинга университетов (THE WUR 2016/17).

МГУ имени М.В. Ломоносова занял лидирующие позиции в рейтинге **THE** и единственный среди российских вузов вошел в топ-200. Университет занял 188 место, физический факультет МГУ — 66 место. Вуз сохранил лидирующие позиции в мире в оценке образовательной деятельности (Teaching) — 26-е место, а также лидирующие позиции в оценке научных исследований, ведущихся в вузе — 65-е место.

Абсолютные показатели МГУ по критериям рейтинга в целом увеличились за исключением двух оценок, отражающих уровень финансирования вуза по статье научные исследования и финансирование со стороны промышленного сектора. Несмотря на рост финансирования около 20% в рублях по сравнению с предыдущим годом, российские университеты потеряли в этих позициях при пересчете на выросший курс доллара (при расчетах 2016 года берется курс доллара за май 2015 года, а в 2015 — за май 2014-ого).

«МГУ занял лидирующие позиции в рейтинге **THE** и единственный вошел в топ-200 среди российских вузов. Мы сохранили высокие позиции в мире в оценке образовательной деятельности, а также у нас хорошие позиции в оценке научных исследований, ведущихся в вузе. Рейтинг от **Times Higher Education** более сложный для российских вузов по сравнению с другими мировыми рейтингами. В частности, в нем принимается во внимание финансирование исследований в вузе в долларо-



вом эквиваленте и на эти показатели влияет изменение курса рубля, — прокомментировал результаты рейтинга ректор МГУ академик В.А. Садовничий. — Московский университет улучшил по сравнению с 2015 годом свои показатели, включая финансирование в рублях. Кроме того, у нас улучшились показатели по соотношению числа иностранных сотрудников к общему числу сотрудников университета; по количеству научных статей в соавторстве с иностранными авторами; по количеству иностранных студентов и другие позиции. В целом, хочу отметить, рост качества научных исследований, ведущихся в России как за счет продолжения государственной программы по поддержке мегагрантов, о которой заявил Президент Российской Федерации Владимир Путин, а также других механизмов поддержки науки, и, следовательно, качества образования в целом».

О рейтинге

В этом году было ранжировано 980 университетов. Это на 180 вузов больше, чем в прошлом году. Рейтинг THE WUR строится на основе 13 показателей, сгруппированных в пять категорий: образование, научно-исследовательская работа, цитируемость, интернационализация, инновации. В этом году лидером оказался Калифорнийский технологический институт (США), второе место занимает Оксфордский университет (Великобритания), третье место — у Стэнфордского университета (США), четвертое — у Кембриджского университета (Великобритания). Пятерку лидеров замыкает Массачусетский технологический институт (США).



МГУ ВОШЕЛ В СОТНЮ ЛУЧШИХ ВУЗОВ МИРА-2016

15 августа 2016 года были объявлены результаты международного Академического рейтинга университетов мира (Academic Ranking of World Universities 2016), подготовленного Центром исследования университетов мирового класса (CWCU) Академии высшего образования Шанхайского университета Цзяо Тун. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова занял 87-е место в рейтинге лучших вузов мира.

Академический рейтинг университетов мира ARWU составляется на основании шести объективных показателей, а именно: эквивалентное число выпускников вуза, получивших Нобелевскую или Филдсовскую премию, эквивалентное число преподавателей вуза, являющихся лауреатами Нобелевской или Филдсовской премии, число наиболее часто цитируемых исследователей во всех сферах науки и техники, эквивалентное число статей, опубликованных в журналах «Nature» и «Science», количество статей, включенных в индексы Science Citation Index – Expanded (SCIE) и Social Sciences Citation Index (SSCI), а также средний показатель деятельности по всем предыдущим показателям из расчета на одного члена преподавательского состава.

В отборе 2016 года участвовали более 2000 университетов, однако в фактический рейтинг вошли 1200 учебных заведений, а опубликовано 500 лучших вузов мира.



МГУ занял третье место в Times Higher Education BRICS & Emerging Economies University Rankings



Московский университет занял третье место в рейтинге Times Higher Education BRICS & Emerging Economies University Rankings. В рейтинг, составленный журналом Times Higher Education на основе 13 индикаторов, вошли 300 вузов, из которых 24 вуза представляют Россию.

«Этот рейтинг отражает ряд значимых для Московского университета показателей. Это и образовательная составляющая, и научно-исследовательская деятельность, и трансфер знаний, а также уровень интернационализации студентов и научно-преподавательского состава. Тысячи студентов, аспирантов и сотрудников МГУ вовлечены в научно-исследовательскую и инновационную деятельность, они делают значимые открытия, растет число научных публикаций», — прокомментировал результаты рейтинга ректор МГУ В.А. Садовничий.

Девять российских университетов вошли в предметные рейтинги лучших глобальных университетов U.S. News – 2017

Российские университеты удачно проявили себя в предметных рейтингах лучших глобальных университетов U.S. News – 2017: их количество до девяти (по сравнению с четырьмя университетами, фигурировавшими в прошлогоднем выпуске).

Кроме глобального рейтинга университетов U.S. News ежегодно публикуют рейтинги по 22 предметным областям.

Достаточно распространены случаи, когда университеты, у которых существенно развито то или иное предметное направление, попадают в соответствующие предметные рейтинги, но одновременно с этим отсутствуют в общем рейтинге Best Global Universities. В рассматриваемый выпуск предметных рейтингов вошли 104 университета, не представленных в глобальном рейтинге (для России

такowymi стали МИСиС, ВШЭ и СПбПУПётрВеликий). Отметим, что университеты Армении, Грузии и Уругвая присутствуют только в предметных рейтингах.

В последнем выпуске предметных рейтингов российские университеты имели явный успех: девять ведущих российских вузов вошли в 10 предметных рейтингов, тогда как в прошлом году только в семи рейтингах фигурировали только четыре университета. При этом МГУ вошел в топ-50 по физике (21 позиция) и в топ-100 по математике (54-я позиция).

МГУ занял третье место в рейтинге QS по показателю «Успешности выпускников»

Британские эксперты компании QS Quacquarelli Symonds проанализировали связь между деятельностью вузов и трудоустройством их выпускников. В топ-20 вошли высшие учебные учреждения из США, Великобритании, Китая, Австралии, Франции, Германии и Гонконга. Самые высокие позиции в рейтинге заняли учебные заведения, ориентированные на дисциплины STEM (естественные науки, технологии, инженерия и математика).

В рейтинге QS Graduate Employability Rankings МГУ стал третьим вузом в мире по показателю «Успешность выпускников» (99,9 балла из 100), уступая Стэнфордскому и Оксфордскому университетам.

«Сегодня Московский университет является не только признанным лидером в фундаментальном, классическом образовании, но и в значительной степени ориентируется на подготовку высококлассных практиков для разных областей деятельности», — прокомментировал ректор МГУ академик Виктор Антонович Садовничий.

МГУ ПОЛУЧИТ ДВА МЕГАГРАНТА ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ

Два проекта МГУ имени М.В. Ломоносова стали победителями пятого конкурса на получение грантов Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых.

Авторами проектов-победителей стали: профессор Медицинской школы Гарвардского университета Вадим Гладышев за научно-медицинские исследования в области биологии (тема исследований — «Белковый синтез в старении и контроле продолжительности жизни») и профессор Сингапурского Института хранения данных Борис Лукьянчук за исследования в области физики (тема — «Нелинейная и экстремальная фотоника»). Все проектные исследования будут проводиться в Московском университете.

Проект выпускника химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, заведующего лабораторией Медицинской школы Гарвардского университета профессора Вадима Гладышева нацелен на решение одного из главных вопросов человечества — победе над старением. Проект будет реализовываться в НИИ физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского МГУ.

«Возраст является одним из главных факторов риска болезни человека. Замедление старения может позволить уменьшить вероятность таких болезней, как рак, диабет и болезни сердца. Многие процессы в живой клетке регулируются на уровне биосинтеза белка. Его нарушения являются одной из основных причин старения клеток и всего организма в целом. До недавнего времени в одном эксперименте можно было изучать биосинтез только одного или нескольких интересующих исследователя белков. Однако несколько лет назад появился революционный подход, основанный на технологии высокопроизводительного секвенирования — метод рибосомного профилирования («ribosome profiling»). Он позволяет увидеть сразу всю картину, т.е. какие белки и в каком количестве синтезируются в данный момент в живой клетке. До сих пор этот метод применяли лишь к клеткам, искусственно культивируемым вне организма. В представленном проекте этот метод будет впервые применен на уровне целого организма животного. Будут изучены прижизненные картины биосинтеза белков в разных органах молодых и пожилых животных в зависимости от множества факторов — например, от диеты. Использование разнообразных геномных методов позволит лучше понять механизмы этого недуга. Более системный подход к проблеме старения, используя комбинацию экспериментальных моделей и биоинформатики, даст возможность выявить молекулярные маркеры старения и найти клеточные мишени для борьбы со старением и сопутствующими ему заболеваниями», — рассказал о проекте Вадим Гладышев.

Борис Лукьянчук — выпускник физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор физико-математи-



ческих наук, профессор Сингапурского Института хранения данных, почетный профессор университета им. Иоганна Кеплера (Линц, Австрия), лауреат высшей сингапурской государственной награды за научные достижения — President's Science Award-2013 (за выдающийся вклад в теорию взаимодействия лазерного излучения с веществом и рассеяния света наночастицами, в частности, резонансы Фано в плазмонных материалах). Проект «Нелинейная и экстремальная фотоника» будет реализован на физическом факультете МГУ.

«Суть проекта заключается в создании в МГУ новой лаборатории мирового уровня, обладающей кадровым потенциалом и необходимыми компетенциями для решения широкого спектра фундаментальных и ориентированных задач в области взаимодействия фемтосекундного лазерного излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона с наноструктурированными материалами, исследование оптических размерных и нелинейных эффектов в отдельных нанообъектах (металлических, магнитных, полупроводниковых и гибридных), а также в новых фотонных материалах, обладающих аномальными оптическими нелинейностями, состоящих из организованных массивов таких нанообъектов и перспективных для интеграции фотоники и электроники», — пояснил Борис Лукьянчук.

Всего на конкурс было подано 542 заявки. В финал конкурса вышли 242 проекта из 31 области науки. Все 40 победителей получат для реализации своих проектов мегагранты в размере от 20 до 30 млн рублей каждый год в течение трех лет. Программа мегагрантов впервые была запущена в 2010 году для привлечения крупнейших российских ученых, работающих в тот момент за рубежом, для создания лабораторий, научной работы и обучения талантливых студентов и аспирантов в России.

УЧЕНЫЕ «НАТОЧИЛИ» УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СКАЛЬПЕЛЬ

Сотрудники лаборатории медицинского и промышленного ультразвука (кафедра акустики физического факультета МГУ) вместе с коллегами из Университета штата Вашингтон выяснили, какими характеристиками должны обладать ультразвуковые излучатели для дистанционного разрушения опухолей внутри тела человека сфокусированными нелинейными волнами. Свою работу ученые опубликовали в журнале «IEEE Transaction on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control».

Физики МГУ в составе международного коллектива проводят исследования по воздействию сфокусированного ультразвукового излучения на различные ткани и органы внутри тела человека неинвазивно, без обычного хирургического вмешательства. Это активно развивающееся научное направление существует примерно четверть века и довольно быстро от чисто лабораторных экспериментов перешло к клиническому использованию. В последние десять лет оно приобрело особую актуальность — сфокусированным ультразвуком высокой интенсивности исследователи научились вызывать тепловой некроз опухолевых тканей в предстательной железе, почках, печени, молочной железе и даже в мозге, причем список этим перечислением не исчерпывается.

В последнее время возник интерес к использованию нелинейных ультразвуковых волн для хирургического воздействия на ткани. Форма таких волн в фокусе излучателя не гармоническая, она искажена за счет нелинейных эффектов и может даже содержать ударные участки большой амплитуды. Ультразвуковые волны с ударными фронтами не только нагревают ткань гораздо быстрее, чем гармонические, но и способны вызывать совершенно новые биологические эффекты. Появилось множество идей, как можно использовать такой усовершенствованный ультразвуковой скальпель, но специалисты до сих пор не знали, какой именно фокусирующий излучатель нужен в том или ином случае.

«Недавно, года два назад, к нашей группе стали обращаться с вопросами о том, какой нужен преобразователь, чтобы в его фокусе формировался профиль волны с ударным фронтом необходимой амплитуды. Такие нелинейные обратные задачи никто не умел решать, они содержат множество взаимосвязанных параметров. Нужно было понимать, как устроены нелинейные ультразвуковые поля в биологической ткани, какими математическими моделями их нужно описывать, а также научиться проводить расчеты с использованием этих моделей. Боюсь показаться нескромной, но, наверное, никто, кроме нас, не смог бы быстро разобраться с этой задачей. Необходимо было учитывать множество технических, численных и чисто научных деталей, обладать серьезным опытом работы в этой области. Такой опыт был накоплен в нашей лаборатории», — говорит ведущий автор статьи, доктор физико-математических наук Вера Хохлова, доцент кафедры акустики физического факультета МГУ.

Задача теоретически обосновать связь между параметрами нелинейного профиля волны в фокусе и параметрами ультразвукового преобразователя действительно оказалась очень непростой. Ученым удалось показать, что основным параметром излучателя является угол

схождения волнового пучка, показывающий, насколько сильно должен быть сфокусирован ультразвук. Было доказано, что чем больше этот угол, тем большей амплитуды ударного фронта можно достичь в фокусе. Хотя данное утверждение может показаться очевидным, получить необходимые количественные оценки такой зависимости до сих пор никому не удавалось. Авторами статьи эта задача была успешно решена численными методами. Показано, например, что, если в фокусе нужно добиться амплитуды ударного фронта в 100 мегапаскалей, то требуется излучатель с углом схождения в 60 градусов, а если нужна амплитуда поменьше, скажем, 35 мегапаскалей, то потребуются угол схождения в 20 градусов.

Разумеется, ученые не обошли теоретическим обоснованием и свою гордость — разработанный ими метод так называемой «гитотрипсии с кипением». Термин «гитотрипсия» в данном случае можно перевести как «механическое разрушение ткани». Дело в том, что на сегодняшний день при клиническом использовании методов ультразвуковой хирургии некроз опухолевой ткани достигается за счет ее нагрева до высокой температуры. Это не всегда удобно, поскольку диффузия тепла от нагреваемой области делает результат воздействия непредсказуемым и, что очень важно, с помощью УЗИ нельзя увидеть результат такого облучения, поэтому при подобных операциях приходится использовать дорогостоящие магнитно-резонансные томографы.

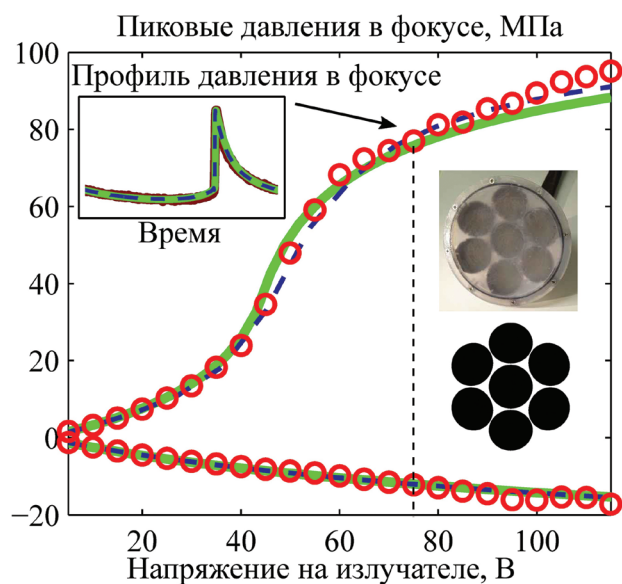
Избавиться от этих и других проблем, сопутствующих тепловому механизму воздействия, помогли сразу две методики, разрабатываемые параллельно учеными Мичиганского университета и физиками МГУ совместно с учеными университета штата Вашингтон в Сиэтле. Мичиганские исследователи научились механически разрушать ткани, создавая в области размером с рисовое зерно «облако кавитации» с помощью микросекундных ультразвуковых импульсов с «безумно высокой» амплитудой. Ученые из Москвы и Сиэтла решили ту же проблему путем локализованного вскипания ткани. Они использовали более длительные импульсы, порядка миллисекунды, но меньшей амплитуды. При распространении таких импульсов за счет нелинейных эффектов в очень небольшой области (диаметром около 0.1 мм и длиной 1 мм) вблизи фокуса в профиле волны образуются ударные фронты. Под действием этих ударных фронтов ткань нагревается и взрывным образом вскипает, вырастая в пузырь миллиметрового размера. Пузырь вырастает настолько быстро, что начинает перекрывать путь тонкому фокусированному ультразвуковому «лучу» еще до окончания действия импульса. Иначе говоря, «хвост» импульса, состоящий из

нескольких сотен периодически повторяющихся ударных участков, падает уже не на сплошную биоткань, а на границу раздела ткани и газа. В этих условиях возникают хорошо известные ученым эффекты акустического фонтана и ультразвукового распыления. В результате ткань разрывается на частицы микронного размера, которые выбрасываются внутрь пузыря, образуя в его центре гомогенизированную массу.

Оба этих метода механического разрушения ткани, по мнению Веры Хохловой, открывают новые возможности в ультразвуковой хирургии: их действие предсказуемо, а, главное, и рождающееся кавитационное облако, и возникающий в процессе кипения пузырь одинаково дают о себе знать ответным ультразвуковым эхом, которое проявляется при использовании простого УЗИ. Это позволяет контролировать действие нелинейного ультразвукового скальпеля.

Исследование выполнено совместно с учеными из Университета штата Вашингтон (Сиэтл).

“Design of HIFU Transducers for Generating Specified Nonlinear Ultrasound Fields”. P.B. Rosnitskiy, P.V. Yuldashev, O.A. Sapozhnikov, A. Maxwell, Wayne Kreider, M.R. Bailey, V.A. Khokhlova. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Volume: PP, Issue: 99, (2016).



Экспериментальные и теоретические зависимости пиковых давлений в фокусе 7-элементного излучателя ультразвуковой хирургии в зависимости от напряжения на источнике.

ВПЕРВЫЕ В МИРЕ НАПРЯМУЮ ИЗМЕРЕНЫ ЩЕЛИ «НЕВОЗМОЖНЫХ» СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Специалисты физического факультета МГУ провели исследование, в котором оценили возникновение сверхпроводящего состояния в железосодержащих сверхпроводниках с двумя энергетическими щелями. Сообщение о своей работе ученые опубликовали в последнем номере журнала *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*.



С.н.с. Кузьмичев С.А.

Группа российских ученых, возглавляемая физиками из МГУ имени М.В. Ломоносова, впервые в мире сумела достоверно и напрямую измерить энергетические щели целой серии сверхпроводников, в первую очередь, содержащих железо. По словам Светослава Кузьмичева, возглавляющего это исследование, результаты данной работы позволят снять некоторые вопросы, касающиеся возникновения сверхпроводимости в железосодержащих материалах.

В этом эксперименте физиков в первую очередь интересовало измерение характеристик двух энергетических щелей (их еще называют зонами или параметрами порядка) — под которыми понимается диапазон

энергий (или, что то же самое, температур), при которых в материале возникает сверхпроводимость. С 1957 года, когда американские физики Джон Бардин, Леон Купер и Роберт Шриффер сформулировали свою объясняющую эффект сверхпроводимости теорию (теория БКШ, удостоенная Нобелевской премии по физике за 1972 год), такая щель была только одна: от нуля до температуры перехода в сверхпроводящее состояние. Но эта ситуация просуществовала недолго — уже в 1959 году о возможном существовании двухзонных сверхпроводников заговорили советский физик В.А. Москаленко и его коллега из США Г. Сул. Ученые независимо друг от друга создали системы уравнений, описывающих механизм подобной сверхпроводимости, однако эксперимен-



Диборид магния.

тально первый двухзонный сверхпроводник — довольно простой по химическому составу диборид магния — был обнаружен только в начале этого века, в 2001 году.

Физики к тому времени сомневались в реализуемости двухщелевой сверхпроводимости. Что-то новое, не укладывающееся в привычные рамки, всегда является тяжелой психологической ношей для исследователей, работающих в любом направлении науки. Чтобы облегчить этот «груз», в научном сообществе, занимающемся проблемами физики сверхпроводимости, повелось рассматривать диборид магния в качестве исключения, подтверждающего правило.

Однако спустя всего семь лет, в 2008 году, двухщелевой феномен сверхпроводимости был открыт и подтвержден экспериментально в железосодержащих материалах. Сверхпроводящее «железо» начали исследовать во многих лабораториях мира, счет материалов с двумя энергетическими щелями пошел на десятки, и исключение превратилось в правило. Этот сюрприз, преподнесенный железосодержащими сверхпроводниками, оказался не единственным — восемь лет назад, к моменту их открытия, считалось, что их просто не может существовать, поскольку магнитное поле губит сверхпроводимость. С момента появления теории БКШ отсутствие магнитных атомов в сверхпроводнике казалось непреложным условием.

Согласно этой теории, сверхпроводимость возникает за счет взаимодействия электронов и колебаний кристаллической решетки, в результате чего электроны с разнонаправленными спинами объединяются в так называемые куперовские пары (соответственно, с нулевым суммарным спином) и получают возможность двигаться без столкновения с решеткой. Поскольку спин представляет собой магнитный момент частицы, то в присутствии магнитных взаимодействий сохранить нулевой суммарный спин не представляется возможным. По словам первого автора статьи старшего научного сотрудника физического факультета МГУ Светослава Кузьмичева, это неоднократно подтверждалось в экспериментах с обыкновенными сверхпроводниками. Если ученые вносили в сверхпроводник небольшую магнитную примесь или заменяли в его структуре какой-нибудь из атомов на ферромагнитный, сверхпроводимость резко ухудшалась вплоть до полного исчезновения.

После открытия железосодержащих проводников этот новый класс материалов сразу стал главным объектом интереса физиков, занимавшихся сверхпроводимостью. До этого они больше интересовались высокотемпературными купратами (сверхпроводниками, содержащими медь) и

двухщелевым диборидом магния. За восемь последующих лет количество сверхпроводников на основе соединений железа с мышьяком или селеном, равно как и количество возможных объяснений «железной» сверхпроводимости, превысило количество всех найденных сверхпроводящих купратов, но до сих пор четкого понимания происходящего нет.

«Удалось выяснить, что именно блоки железо–мышьяк или железо–селен ответственны в этих соединениях за возникновение сверхпроводимости, — комментирует Светослав Кузьмичев. — Практически все исследователи согласны с тем, что, хотя внешнее магнитное поле в них подавляется, внутри этих блоков его флуктуации в виде квазичастиц магнонов вполне могут существовать и с большой вероятностью принимать участие в формировании сверхпроводящего состояния. Но дело это настолько новое, и мы знаем на сегодня настолько мало, что практически ни один из предложенных механизмов формирования здесь сверхпроводимости пока не удается ни подтвердить, ни опровергнуть».

Сложностей добавляет и то, что железосодержащие сверхпроводники — многощелевые. Это обстоятельство чрезвычайно осложняет понять и без того непростые процессы, сопровождающие феномен сверхпроводимости, несмотря на существование уже упомянутых уравнений Москаленко и Сула.

На основе этих уравнений ученые рассчитали особенности температурного поведения двух сверхпроводящих щелей для целого спектра железосодержащих сверхпроводников и «нежелезного» диборида магния (с частичным замещением магния на алюминий), затем впервые в мире провели прямые экспериментальные измерения этих зависимостей и в результате обнаружили хорошее соответствие между своими расчетами и данными измерений. К тому же им удалось оценить, что вносит в формирующуюся в них сверхпроводимость наибольший вклад — межзонное или внутризонное спаривание. Иначе говоря, они выяснили, насколько сильной связью обладают куперовские пары, которые создаются объединением электронов из одной и той же зоны и из разных зон. По словам Кузьмичева, это особенно важно для понимания механизмов «железной» сверхпроводимости.

«До сих пор подобные оценки характеристик щелей основывались на косвенных измерениях, — говорит ученый. — Измеряли, например, зависимость от температуры других параметров сверхпроводящего состояния, а потом экстраполировали результат для определения энергетических щелей. Это были довольно приблизительные измерения, а в случае двух щелей их точность, грубо говоря, становится плюс-минус километр. Профессор физического факультета МГУ Ярослав Пономарев (1938–2015 гг.) на основе уже существующей развил методику, с помощью которой мы впервые в мире сумели измерять непосредственно сами энергетические щели высокотемпературных сверхпроводников при любых температурах вплоть до критической температуры сверхпроводящего перехода, минуя процедуру косвенных измерений. Это наше главное «ноу-хау», которое позволило нам оценить силу межзонного и внутризонного спаривания электро-

нов. В результате нами было показано, что определяющую роль в механизме сверхпроводимости диборида магния и железосодержащих сверхпроводников играет внутризонное спаривание носителей. Между собой конденсаты взаимодействуют слабее, при этом в дибориде магния межзонное взаимодействие намного слабее, чем в железосодержащих сверхпроводниках».

Кузьмичев надеется, что эта работа несколько прояснит ситуацию с возникновением “железной” сверхпроводимости. И хотя на сегодня в отношении критических температур эти сверхпроводники пока уступают купратам — если максимальная температура перехода в сверхпроводящее состояние, зафиксированная на пленках железа с селеном, составляет примерно 85 К, то для медных сверхпроводников она доходит до 135 К, — главным достоинством «железных» сверхпроводников Кузьмичев считает небывало высокую плотность тока, которую они могут пропускать.

«Они могут нести ток на порядок-два выше, чем купраты и даже ниобий и его сплавы, применяемые сегодня в сверхпроводящих магнитах для генерации очень высоких полей на мощных ускорителях и токамаках. Сравниться с ними сегодня не может ни один сверхпроводник, разве что борид магния, который может при очень хорошей чистоте пропускать токи плотностью до миллиона ампер на квадратный сантиметр. В лабораторных условиях, конечно, эти цифры проверить нельзя, но по имеющимся оценкам такие плотности тока вполне достижимы на “железных” образцах. Так что, я думаю, в этом смысле им скоро не будет альтернативы», — заключает ученый.

“Estimation of Intraband and Interband Relative Coupling Constants from Temperature Dependences of the Order Parameter for Two-Gap Superconductors”. S.A. Kuzmichev, T.E. Kuzmicheva, S.N. Tchesnokov, V.M. Pudalov, A.N. Vasiliev. J. of Superconductivity and Novel Magnetism. V. 29, Issue 4, pp. 1111–1116, (2016).

ФИЗИКИ МГУ И ЯПОНСКИЕ УЧЕНЫЕ НАУЧИЛИСЬ ЗАМЕДЛЯТЬ СКОРОСТЬ СВЕТА

Скорость света под контролем ученых. А именно — физиков из МГУ и японского Технологического университета Тойохаши. Исследователи создали особенные магнитофотонные кристаллы, благодаря которым и происходит замедление скорости света — снижается скорость в десять раз. Еще в 1998 году данную концепцию предложил японский физик Мицутеру Иноуэ. По словам ученых, разработки помогут при создании трехмерных дисплеев, сенсоров магнитного поля и суперкомпьютеров.

Они словно играют в необычную, только им известную игру. В полной темноте, в специальной экипировке они пытаются поймать и направить в нужное русло лазерные лучи. Это необходимо для эксперимента со скоростью света. Физики МГУ совместно с японскими коллегами из Технологического университета Тойохаши, разработали методику, благодаря которой можно управлять и даже «тормозить» скорость света. Помогает в этом ученым эффект, открытый Фарадеем еще в XIX веке.

«Всегда считалось, что эффект Фарадея может только возрасти. Со временем поворот поляризации, как бы свет ни проходил внутри магнитного вещества, — он всегда накапливается. Оказалось, что если мы измеряем на сверхкоротких временах, то в этих средах мы можем добиться того, что не только скорость изме-

нения меняется, но и знак — в какой-то короткий момент он может даже может убывать. Это противоречит всем представлениям о магнитооптических эффектах Фарадея, которые имелись до сих пор», — рассказала руководитель проекта, старший научный сотрудник Лаборатории нанооптики метаматериалов физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова Татьяна Долгова.

Главные помощники ученых — нанокристаллы. В них свет попадает как в ловушку — сразу выбраться наружу не может, долго блуждает и выходит оттуда с большим — в десять раз — запозданием, чем если бы шел просто в воздухе. Над этой методикой ученые работали 15 лет. «Замедление» света, по их словам, открывает большие перспективы.

«Например, для создания голографической памяти. Сейчас наши японские коллеги очень активно этим занимаются и делают трехмерную запись, память, которая очень емкая и очень-очень быстрая», — пояснила Татьяна Долгова.

По словам физиков, освоение технологии поможет создать сверхбыстрые дисплеи, компьютерные сети и даже световые компьютеры, в которых вместо электронов будут работать исключительно фотоны.



М.И. Панасюк

РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ СПУТНИК «ЛОМОНОСОВ»: 5 МЕСЯЦЕВ ПОЛЕТА

Спутник «Ломоносов» запущен 28 апреля 2016 года с нового российского космодрома «Восточный» на солнечно-синхронную орбиту высотой около 500 км. Об экспериментах, проводимых на спутнике, рассказывает Михаил Панасюк, профессор, докт. физ.-мат. наук, директор НИИЯФ МГУ.

Спутник «Ломоносов», запущенный 28 апреля 2016 г. с нового российского космодрома «Восточный» на солнечно-синхронную орбиту высотой около 500 км и уже более 5-ти месяцев передает на Землю научную информацию.



Рис. 1. Эмблема космического проекта МГУ «Ломоносов».

Разработчики и постановщики экспериментов из Московского университета со своими коллегами из других организаций в качестве основных научных целей проекта выбрали амбициозные научные задачи по изучению экстремальных явлений в нашей Вселенной. Все они – предмет интенсивных научных исследований и образовательного процесса в Московском университете. Среди них:



Рис. 2. Испытания космического аппарата «Ломоносов».



Рис. 3. Космический аппарат «Ломоносов» перед отправкой на космодром.

исследования заряженных частиц наиболее высоких энергий существующих в природе, – космических лучей предельно высоких энергий (КЛПВЭ); – с энергиями более 10^{19} эВ, гамма-всплесков – явлений в ранней Вселенной, связанных с наиболее мощным высвобождением энергии в астрофизических процессах, а также изучение природы воздействия энергичных частиц в околоземном космическом пространстве на земную атмосферу. На борту спутника разработчики установили также прибор, позволяющий смоделировать коррекцию зрительного аппарата человека в экстремальных условиях космоса – практическом отсутствии гравитации.

В течение последних месяцев участники проекта проводили интенсивное тестирование научной аппаратуры и оптимизировали программные режимы их работы.



Рис. 4. На космодроме «Восточный» перед пуском.

К настоящему времени испытания аппаратуры практически закончились и специалисты приступили к плановым исследованиям по разработанной научной программе. Тем не менее, уже первые месяцы работы спутника при-

несли интересные и значимые научные результаты, которые станут основой для планирования будущих экспериментов на этом спутнике.



Рис. 5. Команда МГУ на космодроме «Восточный».

На спутнике установлено несколько приборов – детекторов для регистрации космических частиц и излучений, созданных учеными МГУ вместе со студентами, аспирантами и преподавателями университета нескольких подразделений нашего университета: НИИЯФ, физического факультета, ГАИШ, НИИмех, мехмата и ИМИСС. Именно они и были инициаторами и головными разработчиками всего комплекса научной аппаратуры на спутнике. Вме-

сте с нами работали коллективы и зарубежных университетов. Среди них основные: Университеты Южной Кореи и Университет Калифорнии в Лос-Анжелесе. Космическая служебная платформа для спутника была разработана специалистами АО «ВНИИЭМ» на базе серийной платформы «Канопус» при самом активном участии специалистов МГУ. Вот вкратце эти результаты.



Рис. 6. Старт ракеты «Союз» со спутником «Ломоносов» на космодроме «Восточный».



Рис. 7. Космодром «Восточный»: после удачного старта 28.04.2016 г.



Рис. 8. Спутник «Ломоносов» в полете.

Исследования космических лучей предельно-высоких энергий и транзиентных световых явлений в верхней атмосфере Земли

Орбитальный телескоп ТУС (Трековая УСтановка), на «Ломоносове» является первым в мире инструментом, предназначенным для регистрации световых треков КЛПВЭ в атмосфере Земли с борта космического аппарата. Он регистрирует в атмосфере Земли «следы» космических частиц — их быстрые ультрафиолетовые (УФ) вспышки, возникающие при взаимодействии каскада вторичных частиц от КЛПВЭ атомами воздуха на высотах в десятки километров. Актуальность изучения КЛПВЭ — самых высокоэнергичных заряженных частиц во Вселенной, связана с тем, что специалистам пока не в полной мере выяснена сама природа этих удивительных частиц. Дело в том, что еще 50 лет назад известные физики Грейзен, Зацепин и Кузьмин теоретически предсказали (академик Г.Т. Зацепин был профессором МГУ и заведующим кафедры физики космоса физического факультета), что эти частицы, зарождаваясь вне пределов нашей Галактики, не могут достичь нашей планеты вследствие так называемого эффекта обрезания их потока (ГЗК — обрезание) на реликтовом излучении Вселенной, образовавшемся после Большого взрыва. Наземные установки по изучению космических лучей несколько лет назад действительно зарегистрировали похожее на ГЗК-эффект — уменьшение интенсивности таких частиц. Но в силу очень малой статистики событий (так, при энергии 10^{19} эВ на Землю «падает» 1 частица на 1 кв. км в год!) пока не удается сделать окончательный вывод о том, является ли наблюдаемый эффект действительно ГЗК-обрезанием.

По сути, орбитальный телескоп ТУС на «Ломоносове» использует атмосферу нашей планеты в качестве гигантской мишени, в которой происходит процесс взаимодействия КЛПВЭ. Тем самым удается значительно увеличить эффективную площадь обзора (по сравнению, например, с наземными установками).

Кроме выполнения этой задачи, направленный в надири телескоп ТУС на «Ломоносове», способен фиксировать и другие разнообразные быстрые атмосферные процессы, проявляющиеся в УФ излучении. Среди них — как широко известные молниевые разряды, так и мало изученные до сих пор так называемые транзиентные световые явления (спрайты, эльфы, синие джеты, гигантские джеты и пр.). Уже первые выборочные измерения на «Ломоносове» в тестовом режиме позволили накопить достаточно большой объем полезной информации как по атмосферным явлениям, так и по работе самого прибора на борту спутника.

В одном из режимов работы телескопа ТУС удалось зарегистрировать мощные УФ-вспышки в атмосфере Земли, продолжительностью от нескольких единиц до ста миллисекунд. Как правило, многие из них связаны с грозовыми областями на средних и низких широтах и дают одновременный сигнал во всем поле зрения прибора вследствие рассеяния излучаемого свечения в облака (рис. 9).

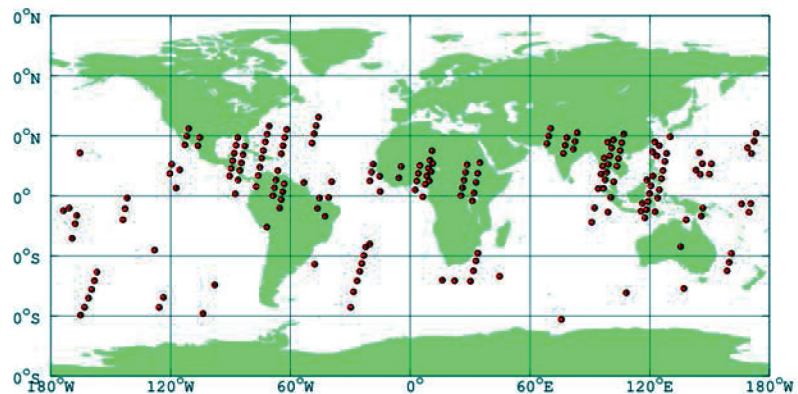


Рис. 9. Карта событий транзиентного УФ-свечения в атмосфере Земли по данным первых трех месяцев работы телескопа ТУС.

Однако целый ряд наиболее интересных событий представляют собой сложную пространственно-временную структуру, которая подлежит дальнейшему детальному исследованию. Эти явления, видимо, принадлежат к классу надоблачных, высоко-атмосферных транзиентных световых явлений (так-называемые «эльфы», «спрайты»). Примеры таких событий приведены на рис. 10. Интересно отметить, что по данным мировой сети радиочастотной локации молний некоторых таких событий не нашлось ни одной области грозовой активности в пределах области их регистрации. Этот факт может поставить под сомнение модель их генерации, связанной с интенсификацией атмосферного электричества в нижних слоях атмосферы. В ближайшее время будет произведена типологизация событий и сравнение данных с наземными сетями регистрации молний и другими экспериментами.

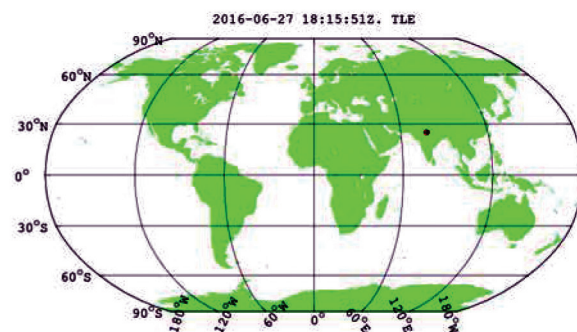


Рис. 10. Примеры УФ вспышек в атмосфере Земли со сложной пространственно-временной структурой (слева), их географическое положение (справа).

Подобного рода ультрафиолетовые вспышки в атмосфере Земли, являясь, с одной стороны, нежелательным «фоном» при выполнении основной задачи телескопа ТУС — регистрации КЛПВЭ, представляют, тем не менее, отдельную актуальную физическую цель проводимого эксперимента — выяснение их физической природы.

Исследования астрофизических гамма-всплесков

При гамма-всплесках выделяется огромная энергия — свыше 10^{53} эрг/с. Это примерно столько же, сколько при взрыве сверхновой звезды, но за одну секунду. Природа гамма-всплесков (наряду с ускорением КЛПВЭ) остается одной из загадок современной астрофизики. Считается, что их источники находятся на очень далеких, так называемых космологических расстояниях, и связаны с коллапсом массивных звезд. Для понимания природы гамма-всплесков очень важны одновременные наблюдения в оптическом и гамма-диапазонах. До сих пор удавалось зарегистрировать в основном лишь оптическое «послесвечение», то есть отклик межзвездной среды на проходящую через нее ударную волну, возникающую во время космического взрыва. «Поймать» оптическое излучение непосредственно в момент самого гамма-всплеска необычайно трудно, поскольку заранее неизвестно, из какой области Вселенной придет сигнал.

Прежде всего, это — гамма-спектрометр БДРГ (Блок Детекторов Рентген-Гамма), обеспечивающий регистрацию гамма-излучения с высоким временным разрешением и чувствительностью. При этом БДРГ выдает специальный триггерный сигнал на оптические широкопольные мини-телескопы ШОК (Широкопольные Оптические Камеры), по которому осуществляется запоминание оптического изображения области неба, где произошел всплеск. Кроме того, этот прибор позволяет определять местоположение на небе источника гамма-всплеска и оперативно передавать информацию в мировую сеть для наведения на эту область наземных телескопов.

На сегодняшний день с помощью БДРГ зарегистрировано девять космических гамма-всплесков космологической природы, а также пять гамма-всплесков от магнитара SGR (Soft Gamma Repeater) 1935+2154 — быстро вращающейся нейтронной звезды с очень сильным магнитным полем (порядка 10^{15} Гс). Особый интерес представляет собой всплеск GRB160802, временной профиль которого показан на рис. 11. Для этого всплеска характерно наличие нескольких пиков на временном профиле, которые могут быть обусловлены сталкивающимися релятивистскими оболочками, возникшими во время взрыва. Все эти события вошли в реестр мирового каталога, созданного NASA.

На «Ломоносове» установлен еще один прибор для изучения гамма-всплесков установленный на «Ломоносове», — UFFO (Ultra Fast Flash Observatory). Он представляет собой 20-сантиметровый УФ-телескоп, работающий по принципу адаптивной оптики и управляемый по триггеру от расположенной в нем широкоугольной рентгеновской камеры. Задача рентгеновского детектора — зафиксировать направление и время появления транзиента в рентгене и по этой информации направить УФ-телескоп UFFO на его источник. В настоящее

время заканчивается отработка программного обеспечения по управлению этого прибора в условиях реального полета.

Наряду с астрофизическими событиями, прибор БДРГ зарегистрировал гамма-излучение от нескольких солнечных вспышек, а также множество высыпаний магнитосферных электронов (из радиационных поясов Земли) релятивистских и субрелятивистских энергий (по тормозному рентгеновскому излучению).

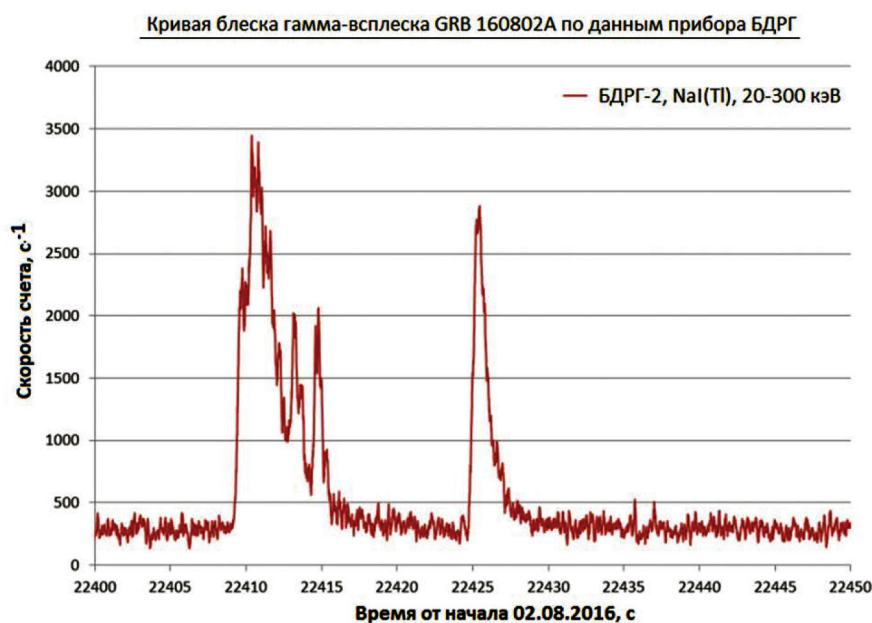


Рис. 11. Один из гамма-всплесков, зарегистрированных на спутнике «Ломоносов».

«Ломоносов» — первая российская многоволновая обсерватория, способная регистрировать излучение объектов от гамма-диапазона до оптического. Для этого на «Ломоносове» установлены приборы, позволяющие измерять эмиссию излучений этих необычных явлений в широком диапазоне длин волн.

Исследования магнитосферных частиц

Заряженные частицы, захваченные в магнитную ловушку в околоземном пространстве (радиационные пояса), могут покинуть ее (так называемый процесс их «высыпания»), в результате ряда физических из процессов, природа которых недостаточно исследована.

Высыпание частиц из зоны устойчивого захвата в магнитной ловушке Земли может происходить под воздействием различных физических механизмов. Но в качестве доминирующего рассматривается взаимодействие электромагнитных волн в околоземном пространстве и заряженных частиц. Волны могут быть как техногенного(наземные

радиопередатчики), так и естественного (развитие плазменных неустойчивостей) происхождения. Высыпающиеся частицы (в основном – электроны) могут достигать релятивистских энергий и их воздействие на атмосферу путем ионизации может иметь существенные последствия для изменения ее свойств.

В связи с этим направлением исследований следует упомянуть о начале совместных экспериментов по наблюдениям высыпаний электронов из радиационных поясов Земли на «Ломоносове» и в серии аэростатных экспериментов BARREL (Ballon Array for RBSP Relativistic Electron Losses).

Международная коллаборация BARREL проводит запуск аэростатов в авроральных широтах (в настоящее время из Кируны в Швеции). Идея совместных с «Ломоносовым» экспериментов – в измерении характеристик высыпавшихся частиц одновременно на больших и малых высотах.

Измерения заряженных частиц на «Ломоносове» проводятся с помощью трех приборов – БДРГ, ДЭПРОН (Дозиметр Электронов, ПРОтонов, Нейтронов) и ELFIN-L (Electron Loss and Fields INvestigator for Lomonosov), охватывающих широкий диапазон энергий частиц радиационных поясов Земли, их спектральные и угловые характеристики высоким временным разрешением – от миллисекунд и более. В ходе совместных экспериментов BARREL и «Ломоносова» уже получены уникальные данные о тонкой временной структуре потоков высыпавшихся электронов, которые могут пролить свет на выяснение природы этого уникального явления в ближнем космосе.

Наряду с решением фундаментальных космофизических задач, один из «радиационных» приборов на «Ломоносове» – ДЭПРОН – обеспечивает мониторинг радиационной обстановки в

околоземном космическом пространстве. Благодаря двум полупроводниковым детекторам для регистрации заряженных частиц, а также двум счетчикам медленных нейтронов, это устройство позволяет регистрировать потоки протонов, электронов и нейтронов, а также мощность поглощенной дозы радиации на траектории полета «Ломоносова». Наряду с данными других приборов по мониторингу радиационной обстановки, созданных в НИИ ядерной физики МГУ и установленных на других спутниках (низкоорбитальных – серии «Метеор» – и геостационарном «Электрон»), данные «Ломоносова» является важным элементом в единой системе контроля радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, созданной в МГУ.

На рис. 12 представлены примеры данных, полученных примерно за 12 часов полета. Можно видеть значительные изменения мощности дозы радиации и плотности потока частиц, обусловленные характером орбитального движения спутника в околоземном пространстве.

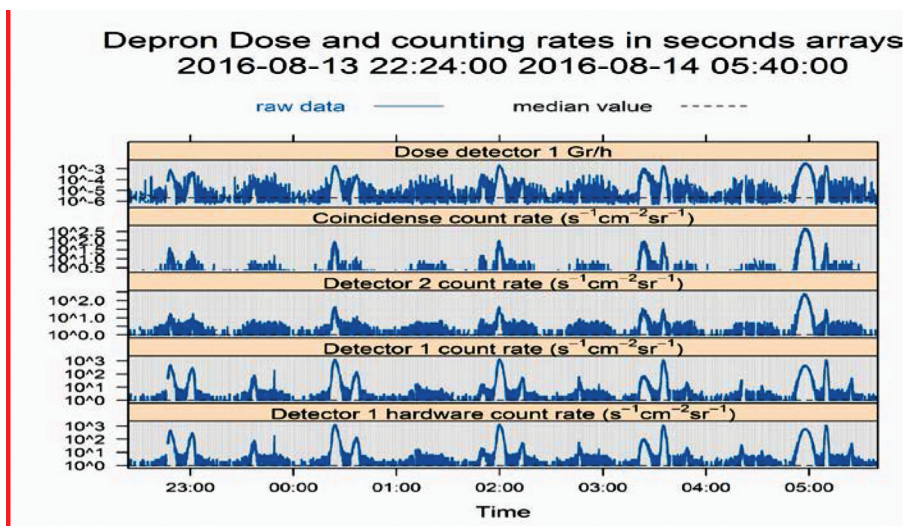


Рис. 12. Дозы радиации, зарегистрированные прибором ДЭПРОН в орбитальном полете.

Исследования в области экстремальной космической биологии

Еще один эксперимент, осуществляемый на борту спутника «Ломоносов», также предназначен для изучения экстремальных явлений в космосе, но из области космической биологии и физиологии. Прибор ИМИСС-1 («Институт Математических Исследований Сложных Систем») позволяет регистрировать и анализировать ускорения в условиях орбитального полета спутника.

Основные цели данного исследования связаны с так называемой «болезнью движения в условиях микрогравитации», одним из проявлений которой является запаздывание стабилизации взора человека в условиях космического полета. Бороться с описанным явлением можно путем разработки специального устройства – корректора стабилизации взора. Сигналы корректора предлагается формировать в зависимости от движения головы космонавта по показаниям инерциальных микромеханических датчиков и передавать с помощью гальванической стимуляции на первичные афферентные нейроны его ве-

стибулярного аппарата.

В ходе эксперимента с помощью прибора ИМИСС-1 предстоит выяснить, каким образом изменяются характеристики датчиков в условиях космического полета по сравнению с данными наземных испытаний. В настоящее время идет накопление данных для проведения статистического анализа. Начавшаяся обработка информации предполагает получить данные об инструментальных ошибках микроакселерометров в орбитальном полете. Для этого будут использованы значения микроперегрузок для чувствительных масс при наличии данных об орбите и показаний штатных датчиков угловой скорости спутника. Созданный в НИИЯФ МГУ Центр обработки космических данных продолжает получение и обработку информации спутника «Ломоносов».

М. И. Панасюк
НИИ ядерной физики им Д.В. Скобельцына,
физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
panasyuk@sinp.msu.ru
Сайт проекта: lomonosov.sinp.msu.ru

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПРЕССОВАННЫХ ТАБЛЕТОК ПАК

Учеными физического факультета в.н.с. Гавриловой Н.Д., с.н.с. Малышкиной И.А., асп. Воробьевым А.В. (кафедра полимеров и кристаллов) и в.н.с. Новиком В.К. (кафедра общей физики и волновых процессов) впервые наблюдался процесс формирования отрицательной диэлектрической проницаемости (ОП) в твердом теле. Установлен механизм явления, что способствует развитию направления «Физика отрицательных диэлектрических индексов».



В.н.с. Гаврилова Н.Д.



Асп. Воробьев А.В.



С.н.с. Малышкина И.А.



В.н.с. Новик В.К.

Отрицательное значение действительной части диэлектрической проницаемости твердого тела является феноменом, физический механизм которого до сих пор был неизвестен. Высказанные предположения не опирались на сколь либо убедительный эксперимент. Вместе с тем, это парадоксальное явление меняет фундаментальные представления о реактивных элементах электрических цепей. К двум классическим реактивностям (емкости и катушечной индуктивности) добавляется третья — отрицательная емкость или «твердотельная индуктивность» со своими специфическими свойствами. Она уже реализована в интегральном исполнении.

Пролить свет на причину явления могло бы наблюдение спонтанного возникновения эффекта ОП, изучение условий появления которого в понятной объемной среде с известными составляющими, позволило бы выделить принципиальный механизм явления и найти способы управления им.

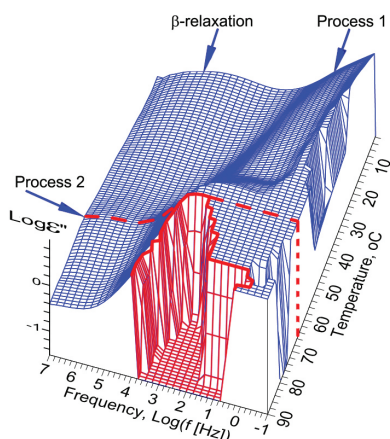


Рис. 1. Формирование зоны ОП (выделена красным) в координатах $\epsilon''(\log f, T)$.

Спонтанное зарождение и развитие процесса формирования ОП экспериментально наблюдалось при исследовании диэлектрических свойств нанопористых таблеток полимера полиакриловой кислоты, захвативших атмосферную влагу. Измерения проводились в интервале температур $0 \div 100^\circ\text{C}$, частот $10^{-1} \div 10^7$ Гц. При $T=65^\circ\text{C}$ в образце происходит структурный фазовый переход, обусловленный уходом молекул связанной воды с поверхности пор полимера. Тогда же на некоей частоте скачкообразно формируется зона ОП. По мере возрастания температуры частотный интервал ОП симметрично расширяется. Эксперимент позволяет однозначно утверждать, что феномен ОП обусловлен появлением в объекте заряженных частиц, лишенных упругой возвращающей связи. Такая модель явления, возможно, носит самый общий характер.

Экспериментально показано, что мнимая часть диэлектрической проницаемости в зоне ОП претерпевает плавное изменение со сменой знака. По этой причине возможны все четыре сочетания положительных и отрицательных знаков действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости.

Полученные результаты представляют собой массив экспериментальных данных, необходимых для создания феноменологической теории явления.

Результаты исследования опубликованы в статье: N.D. Gavrilova, V.K. Novik, A.V. Vorobyev, I.A. Malyskina. "Negative dielectric permittivity of poly (acrylic acid)pressed pellets". *J. of Non-Crystalline Solids*, **452**, 1–8, (2016).

ФИЗИКИ НАУЧИЛИСЬ УПРАВЛЯТЬ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ СВЕТА, СНИЗИВ ЕГО СКОРОСТЬ В 10 РАЗ

Группа физиков из МГУ имени М.В. Ломоносова и Технологического университета Тойохаши (Япония) разработала методику сверхбыстрого управления поворотом поляризации света. По мнению ученых, это открывает совершенно новые перспективы для систем оптической обработки информации, в том числе и для создания световых компьютеров, в которых вместо электронов работают исключительно фотоны. Об этой методике они рассказали в статье, опубликованной в последнем номере журнала *Physical Review Applied*. Этот журнал появился в знаменитом семействе *Physical Review* всего несколько лет назад в связи с потребностью публиковать физические работы, результаты которых можно использовать на практике.

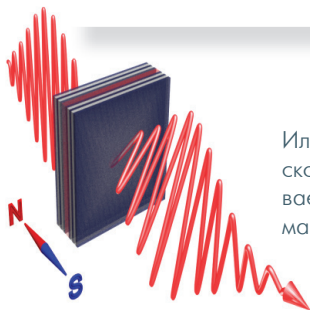


Иллюстрация эффекта Фарадея: плоскость поляризации света поворачивается при прохождении через намагниченное вещество.

В данном случае результаты работы могут применяться при изготовлении так называемых пространственных модуляторов света, на основе которых работают, например, все жидкокристаллические экраны. Они устроены так, что каждый маленький пиксель с какой-то данной ему скоростью может переключать свет, делать его ярче или слабее, причем осуществляется это переключение за счет поворота поляризации света. По словам одного из авторов работы Татьяны Долговой, старшего научного сотрудника лаборатории нанооптики метаматериалов физического факультета МГУ, новые быстрые пространственные модуляторы света могут применяться при создании голографической памяти, трехмерных дисплеев, а также точных сенсоров показателей преломления и сенсоров магнитного поля.

Скорость записи в трехмерную голографическую память напрямую зависит от скорости переключения пространственного модулятора света. В жидких кристаллах эта скорость сильно ограничена, поскольку поворот поляризации у них осуществляется путем поворота самой ЖК-молекулы, а это занимает десятки миллисекунд. Ученые предложили осуществлять вращение поляризации не механическим поворотом, а с помощью эффекта, открытого еще Фарадеем. Его суть заключается в том, что плоскость поляризации света поворачивается при прохождении через намагниченное вещество.

В 1998 году один из авторов статьи, японский физик Мицутеру Иноуэ предложил концепцию пространственных модуляторов света на основе новых наноструктур — магнитофотонных кристаллов. Эти микроскопические кристаллы содержат в себе оптические резонаторы — системы из двух параллельных зеркал. Сегодня главная сфера использования этих кристаллов заключается в существенном «замедлении» света. Фотон, попавший в такой резонатор, сразу «выбраться наружу» не может, он какое-то время перемещается между зеркалами и выходит оттуда с большим запозданием. Так что если к поляризованному свету, проходящему через этот кристалл, приложить магнитное поле, то эффект Фарадея будет

увеличиваться с каждым проходом от зеркала к зеркалу и в конечном счете должен стать намного заметнее.

«Мы работаем над магнитофотонными кристаллами совместно с профессором Иноуэ практически с самого начала, и за эти пятнадцать лет узнали об этих удивительных наноструктурах много нового, — говорит один из авторов статьи Татьяна Долгова. — И вот наконец мы добрались до сверхбыстрой модуляции света. В наших экспериментах с реальными кристаллами мы добились того, что свет из них выходит примерно в десять раз позже, чем если бы шел просто в воздухе. И это дает увеличение удельного фарадеевского поворота на порядок!».

По словам Долговой, никакого парадокса между «замедлением» света и вызванной этим замедлением сверхбыстрой модуляцией нет. «Медленный» свет на самом деле медленный только относительно скорости света в вакууме, а по сравнению со скоростью поворота молекул жидких кристаллов это все равно несравнимо быстро».

В своих экспериментах физики МГУ добились того, что плоскость поляризации «медленного» света поворачивается так быстро, что отличается на заметную величину даже между началом и «хвостом» фемтосекундного лазерного импульса длительностью всего около 200 фемтосекунд. (Фемтосекунда — это одна квадриллионная доля секунды или одна миллионная часть наносекунды). Долгова говорит, что величина эффекта, полученного в МГУ, все еще недостаточна для практического использования, однако, ограничения не являются принципиальными. Физики недвусмысленно показали: сверхбыстрая модуляция света в магнитофотонных кристаллах возможна и имеет более чем хорошие перспективы.

Несмотря на то, что для обычных экранов скорости жидкокристаллической модуляции вполне достаточно, сверхскорость переключения необходима в тех устройствах нанофотоники, где вместо электронов используются фотоны для осуществления какой-то логики или счета, фотонного переключения, оптической записи, — то есть в потенциале для создания фотонных компьютеров. И уже сейчас группа профессора Иноуэ демонстрирует работающие с помощью быстрых магнитофотонных пространственных модуляторов света образцы трехмерной голографической памяти и дисплеев для воспроизведения 3D изображений и видео.

“Ultrafast Faraday Rotation of Slow Light”, A.I. Musorin, M.I. Sharipova, T.V. Dolgova, M. Inoue, and A.A. Fedyanin. Phys. Rev. Applied 6, 024012, (2016).

«СУПЕРГЕРОИ» СРЕДИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВЕРХБЫСТРОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ



Международная группа ученых под руководством исследователей из МГУ имени М.В. Ломоносова впервые смогла при помощи нелинейных метаматериалов продемонстрировать эффект полностью оптического переключения между потоками фотонов, рожденных в процессе генерации третьей оптической гармоники. По словам Максима Щербакова, научного сотрудника лаборатории нанооптики метаматериалов физического факультета МГУ, проделанная ими работа позволит в будущем использовать метаматериалы для создания высокоскоростных коммуникационных технологий. Научная статья опубликована 23 июня в журнале *Scientific Reports*.

Щербаков М.Р.

Метаматериалы: когда 1+1=3

Иногда в команде несколько человек могут достичь большего, чем была бы сумма их достижений по отдельности, словно, объединяясь, они приобретают новые полезные свойства. Это справедливо и для метаматериалов. И если в примере с людьми в команде, когда вместо простой суммы известных величин мы получаем что-то принципиально иное, ситуация объясняется разными психологическими эффектами, то в случае с метаматериалами причиной таких «сверхспособностей» как «невидимость» (правда, пока только в микроволновом диапазоне и двумерном пространстве), «видение сквозь стены», оптическое увеличение предметов и отрицательные показатели преломления является их искусственно созданная упорядоченная структура, чередующая слои вполне обычных веществ. Вместе же они ведут себя как принципиально новый материал с уникальными электромагнитными свойствами, благодаря которым можно манипулировать фотонами (то есть светом) по-новому.

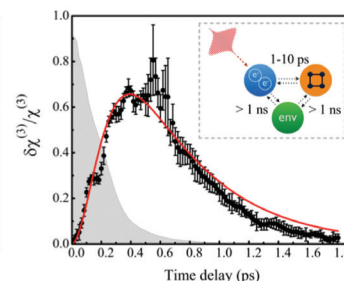
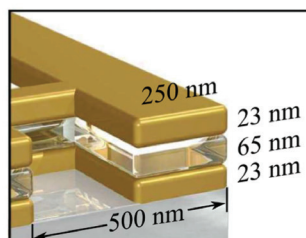
Метаматериалы, с которыми работали авторы статьи, имеют структуру, напоминающую рыбацкую сеть, основные «нити» которой состоят из золота и оксида магния, а прямоугольные отверстия заполнены кварцевым стеклом. Они относятся к классу нелинейных метаматериалов, необычные оптические свойства которых можно использовать, например, чтобы упростить обработку информации и создать новые устройства, работающие намного быстрее современных.

Повелители света

Фотоны, в отличие от электронов, перемещающихся по проводам электронных устройств, не имеют заряда и массы покоя, поэтому передача информации с их помощью может производиться намного быстрее. Существует проблема в создании фотонного транзистора, столь же компактного, как современный электронный транзистор.

Для этого предлагали использовать металлические и полупроводниковые наночастицы, микрорезонаторы, фотонные кристаллы и другие искусственно созданные среды. Недостаток этих сред в том, что для наблюдения переключения в них требуется мощное лазерное излучение. Однако нелинейные метаматериалы, как сообщается в статье, имеют более высокую чувствительность к фемтосекундным лазерным импульсам по сравнению с линейными, что дает им преимущества в управлении потоками света с помощью этих импульсов.

«В стандартных устройствах полностью оптического переключения один поток фотонов контролирует другой поток, примерно так же, как в электронном транзисторе это происходит с потоками электронов. В нашей предыдущей работе мы облучали двумя лазерными импульсами кремниевую наноструктуру, и пропускание одного импульса менялось в зависимости от того, есть ли второй импульс или нет», — рассказал соавтор исследования, кандидат физико-математических наук Максим Щербаков.



(слева) Нелинейный метаматериал, использованный в работе; (справа) Сверхбыстрое переключение нелинейности метаматериала. На вставке — времена обмена энергией подсистем «электроны», «кристаллическая решетка» и «окружение».

Рождение фотонов

В ходе работы Максим Щербаков и его коллеги из лаборатории нанооптики метаматериалов МГУ экспериментально продемонстрировали управление потоками фотонов с помощью лазерных импульсов и даже смогли запустить процессы слияния фотонов с помощью внешнего воздействия.

«В оптике есть интересный эффект, который наблюдается, когда три фотона сливаются в один с утроенной энергией (практически как ядра при термоядерном синтезе). Этот эффект называется «генерация третьей гармоники». В нашей работе мы одновременно (и впервые, насколько нам известно) наблюдали оба эффекта: полностью оптическое переключение и генерацию третьей гармоники. Иным образом, мы контролируем при помощи внешнего оптического импульса процесс «синтеза» фотонов. Это все очень важно для перспективных схем интегральной фотоники, где нужно будет иметь полный контроль над

всеми возможными процессами с участием света», — отмечает Максим Щербаков, подчеркивая, что высокая чувствительность нелинейных метаматериалов позволит в будущем использовать их для создания технологий высокоскоростных коммуникаций.

“Ultrafast control of third-order optical nonlinearities in fishnet metamaterials”, A.S. Shorokhov, K.I. Okhlopkov, J. Reinhold, Ch. Helgert, M.R. Shcherbakov, Th. Pertsch & A.A. Fedyanin. *Scientific Reports* 6, Article number: 28440, (2016).

НАНОЧАСТИЦЫ, КОТОРЫМИ МОЖНО «ПОДСВЕТИТЬ» РАКОВУЮ ОПУХОЛЬ

Группе российских и французских исследователей при участии физиков из МГУ имени М.В. Ломоносова впервые удалось синтезировать наночастицы из сверхчистого кремния, обладающие свойством эффективной фотолюминесценции, т.е. вторичного свечения после фотовозбуждения. Эти частицы способны беспрепятственно проникать в клетки, что позволяет использовать их в качестве светящихся маркеров при ранней диагностике рака, а также при терапии этого заболевания. Статья ученых была опубликована в журнале *Scientific Reports*.



Проф. Виктор Тимошенко

Исследования по поиску методов синтеза подобных наночастиц активно ведутся во многих лабораториях мира, однако, по словам одного из соавторов исследования, профессора физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Виктора Тимошенко, их качество было неудовлетворительным — главным образом потому, что синтезировали их методами проведения химических реакций в растворах кислот. «Частицы получались не достаточно чистыми, — говорит он, — на них оседали остатки химических реакций, что делало их токсичными. Вдобавок эти наночастицы имели форму, далекую от сферической, и это отнюдь не способствовало проявлению фотолюминесценции. И эти два недостатка сильно ограничивали их применение».

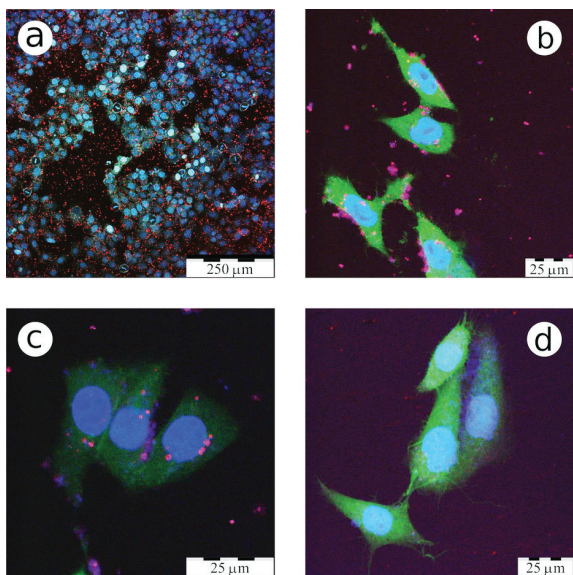
Чтобы избавиться от этих недостатков, ученые решили использовать другой метод, ранее приводивший не к самым положительным результатам — так называемую лазерную абляцию, то есть выбивание лазерным лучом из мишени атомов с тем, чтобы потом эти вырванные атомы соединялись между собой в нанокристалл. Проблема здесь заключалась в том, что вырванные атомы в этом случае чаще всего объединялись не в частицы, а в некие неупорядоченные слои, а если даже и получались наночастицы, то они не светились. Происходило это потому, что либо наночастицы были слишком большими, либо они чересчур быстро остывали и не успевали сформировать качественные нанокристаллы. Иными словами, необходимо было их разогреть, чтобы стимулировать кристаллизацию, причем на очень короткое время.

«Для этого мы решили использовать короткие импульсы лазерного излучения высокой интенсивности, — говорит профессор Тимошенко. — Они не только выбивали атомы из кремниевой мишени, но вдобавок ионизировали их. Вылетевшие из них электроны приводили к ионизации атомов гелия, в атмосфере которого все это происходило. На очень короткое время, исчисляемое наносекундами, возникало что-то вроде микроволновки, формировались условия лазерной плазмы, которые позволяли

атомам спекаться в сферические наночастицы-кристаллы. Эти шарики падали на поверхность, где собирались в виде рыхлого слоя, который впоследствии можно легко диспергировать в воде».

Эти наночастицы имели шарообразную форму и были как раз того размера — 2–4 нанометра в диаметре, — который, как физикам хорошо было известно, обеспечивает кремнию эффективную фотолюминесценцию, при которой на один падающий фотон приходится один вылетевший. В отличие от наночастиц, полученных химическим травлением, они были лишены токсичных добавок. И что самое главное, как показали проведенные биологические эксперименты, они могли легко проникать в клетки. Причем, в раковые клетки такие наночастицы проникают с куда большей готовностью, чем в здоровые. Это объясняется тем, что раковая клетка всегда готова к делению, всегда поглощает все, что находится рядом с ней, чтобы рождала дочерние клетки. По словам Виктора Тимошенко, в зависимости от типа клетки, раковые клетки обычно поглощают наночастицы на 20–30% эффективнее, чем здоровые, и уже на этом может быть основана диагностика рака на ранней стадии его развития.

«Главным достижением нашей работы, — говорит Виктор Тимошенко, — было то, что мы получили такие наночастицы и установили, что они легко проникают в раковые клетки. Проблемы диагностики — отдельная задача, которая решается биологами параллельно, в том числе и с нашим участием. Можно, например, заменить анализ биопсии, довольно длительный и не слишком надежный, тестом “да-нет”, при котором раковая клетка в изъятом из тела образце ткани распознается по тому, вошла в нее наночастица или не вошла. Возможны также неинвазивные методы диагностики. Фотолюминесцентный свет, излучаемый наночастицами, в этом случае использовать сложно, но их можно активировать другими способами, например, ультразвуком или радиочастотными электромагнитными волнами».



Раковые клетки, внутри которых — подсвеченные лазером наночастицы.

Наночастицы, полученные учеными, хороши тем, что они совершенно нетоксичны и легко выводятся из организма. Но этим их преимущество не ограничивается. Они также хороши тем, что к их поверхности можно прикреплять различные характерные вещества или группы биомолекул (например, антитела), позволяющие нацеливать их на проникновение именно в раковые клетки и тем самым увеличивать эффективность диагностики. По словам Виктора Тимошенко, в будущем к полученным наночастицам можно будет также прикреплять вещества-лекарства, что позволит не только распознать раковую опухоль, но и вести локальную химио- или радиотерапию на клеточном уровне.

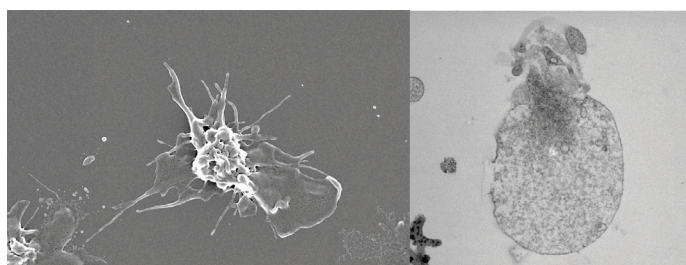
“Laser-synthesized oxide-passivated bright Si quantum dots for bioimaging”, M. B. Gongalsky, L. A. Osminkina, A. Pereira, A. A. Manankov, A. A. Fedorenko, A. N. Vasiliev, V. V. Solovyev, A. A. Kudryavtsev, M. Sentis, A. V. Kabashin & V. Yu. Timoshenko. *Scientific Reports* 6, Article number: 24732 (2016).

УЧЕНЫЕ МГУ: ЧТОБЫ ОСТАНОВИТЬ КРОВОТЕЧЕНИЕ, ТРОМБОЦИТ ДОЛЖЕН «УМЕРЕТЬ»

Коллектив ученых во главе с физиками Московского университета открыл механизм запрограммированной клеточной смерти тромбоцитов, в результате которой процесс свертывания крови ускоряется в 1 000–10 000 раз. Результаты исследования опубликованы в журнале *Journal of Thrombosis and Haemostasis*.



Проф. М.Пантелеев



Слева — обычный активированный тромбоцит (фото со сканирующего электронного микроскопа), справа — сверхактивированный тромбоцит (фото с просвечивающего электронного микроскопа).

Тромбоциты — это клетки, содержащиеся в крови и ответственные за остановку кровотечений: они узнают о повреждении кровеносного сосуда и собираются вместе, создавая прочные агрегаты и предотвращая кровопотерю. Этот процесс называется гемостаз (от греч. *haimatos* — кровь, *stasis* — остановка). Способность к слипанию и закупориванию поврежденного участка сосуда тромбоциты получают в результате процесса активации. Ученые считают, что тромбоцит является одной из самых простых клеток в организме человека, и задача всей его жизни — решить, активироваться или нет. Но несмотря на то,

что уже хорошо известно, как устроены тромбоциты, еще остаются вопросы насчет механизмов их функционирования. Статья, ведущим автором которой является профессор кафедры медицинской физики физического факультета МГУ доктор физико-математических наук Михаил Пантелеев, посвящена тому, как происходит процесс активации тромбоцитов.

Всего есть два вида активированных тромбоцитов: простые (агрегирующие) и сверхактивированные (прокоагулянтные). При активации простые агрегирующие тромбоциты не увеличиваются и принимают амёбовидную форму с множеством ножек для лучшего сцепления и могут растекаться по поверхности. Такие тромбоциты формируют основное тело тромба. А сверхактивированные тромбоциты при активации становятся сферическими и увеличиваются в несколько раз (в английской терминологии их так и называют, «balloons» — «воздушные шары»). Они способны укреплять тромб и ускорять реакции свертывания крови. Но оставался вопрос: как эти клетки при активации делятся на два вида? Коллектив ученых разобрался в важнейшей загадке сигнализации тромбоцитов.

Все дело в митохондриях. Считается, что митохондрии — органеллы, присутствующие во всех без исключения

животных (и растительных) клетках, в том числе в тромбоцитах — обеспечивают их энергией за счет окислительно-восстановительных реакций.

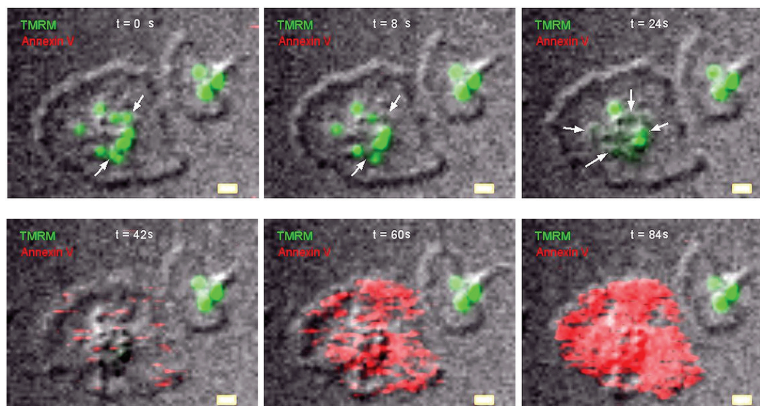
«Но похоже, что тромбоцитам митохондрии нужны не столько для получения энергии, сколько для быстрого самоуничтожения», — начинает рассказ Михаил Пантелеев.

Ученым удалось показать, как клеточная смерть тромбоцитов (митохондриальный некроз) запускает цепочку процессов, ведущих к переходу тромбоцитов в сверхактивированное состояние. Другими словами, чтобы тромбоциту сверхактивироваться, ему нужно умереть, ведь их предназначение начинается с того момента, как они «умерли». По этой причине тромбоциты еще называют «клетки-камикадзе».

«Раньше никто не понимал, как тромбоцит принимает решение решение, в какую популяцию ему идти. Нами расшифрована последовательность событий: как происходит сигнализация в тромбоците, и как эта клетка принимает решение о смерти», — говорит Михаил Пантелеев.

Вместе с коллегами из ФНКЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева, Центра теоретических проблем физико-химической фармакологии РАН и терапевтического факультета РНИМУ им. Н.И. Пирогова ученые выяснили, что процесс активации протекает следующим образом. Активаторов у тромбоцита множество, но главные среди них: коллаген, АДФ и тромбин. Тромбоциту приходят разные концентрации активатора, и на них он отвечает разной частотой импульса концентраций кальция в цитоплазме. Это явление носит название кальциевых осцилляций. Митохондрии тромбоцита забирают и накапливают в себе кальций, и когда его концентрация превышает критическую отметку, запускается процесс митохондриального некроза (клеточной смерти) тромбоцитов: происходит выплескивание кальция и активных форм кислорода из митохондрий, цитоскелет клетки разрушается, и тромбоцит сильно увеличивается в объеме. В результате на внешней мембране

“Dynamics of calcium spiking, itochondrial collapse and phosphatidylserine exposure in platelet subpopulations during activation”, S.I. Obydenny, A.N. Sveshnikova, F. I. Ataulakhanov and M. A. Pantelev. *J. of Thrombosis and Haemostasis*. V. 14, I. 9. (2016).



Процесс митохондриального некроза в деталях. Два тромбоцита распластаны на подложке. Зеленым светятся живые митохондрии, красным — маркер на клеточную смерть. Тромбоцит слева умирает в результате коллапса митохондрий, а его сосед справа спокойно живет. Фотографии с конфокального микроскопа.

увеличившегося в размере шарообразного тромбоцита появляется липид фосфатидилсерин, ответственный за быстрое свертывание крови. И все это происходит молниеносно.

В прошлом году той же группой исследователей в журнале *Molecular BioSystems* была опубликована статья о теоретическом механизме митохондриального некроза, в настоящей работе этот процесс был экспериментально доказан.

Более того, принята к публикации еще одна статья Михаила Пантелеева и его коллег (“Systems biology insights into the meaning of the platelet’s dual-receptor thrombin signaling”) с физического факультета и факультета фундаментальной медицины МГУ. Ученые объясняют интересную загадку устройства внутриклеточной сигнализации тромбоцитов: впервые было показано, что на один и тот же активатор приходится два рецептора у тромбоцита для достижения максимальной чувствительности.

“Compartmentalized calcium signaling triggers subpopulation formation upon platelet activation through PAR1”, A.N. Sveshnikova, F.I. Ataulakhanov and M.A.Pantelev. *Mol. BioSyst.*, 2015, 11, 1052–1060.

УНИКАЛЬНЫЕ НАНОКАПСУЛЫ ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ



Проф. Потемкин И.И.

Международная группа исследователей при участии физиков из МГУ имени М.В. Ломоносова разработала совершенно новый тип носителя лекарств для их адресной доставки к больному органу — гелевые нанокapsулы с двойной оболочкой. Результаты работы ученые опубликовали в журнале *Scientific Reports*.



Н.с. Рудов А.А.

Исследование пока носит фундаментальный характер. Однако один из авторов исследования Игорь Потемкин (профессор кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ) утверждает, что в ближайшие годы на основе этой работы станет возможным создание нанокапсул, которые будут идеальными носителями для адресной доставки лекарств, а их производство будет относительно дешевым.

Адресной доставкой лекарств ученые занимаются уже давно, множество лабораторий мира работают над их созданием, поскольку перспективы этого направления огромны. Создано множество «нанозипкажей» для доставки лекарств по нужному адресу, но перед учеными все еще стоит множество проблем. Главной из них многие исследователи считают проблему того, как заставить лекарство начинать действовать только тогда, когда оно попадет в нужное место.

«Многие существующие носители инкапсулируют лекарства за счет дальнего действия электростатического взаимодействия — заряд носителя противоположен заряду лекарства. У нас же никакой электростатики нет, все здесь контролируется температурой — и заполнение внутренней полости, и ее запираение, и высвобождение ее содержимого там, где это требуется. Поэтому сами лекарства могут быть как заряженными, так и нейтральными», — комментирует один из российских соавторов статьи, доктор физико-математических наук Игорь Потемкин.

По словам авторов статьи, существуют и другие стимулы для высвобождения лекарств, на-пример, внешнее магнитное поле, кислотность среды (рН), однако в каждом случае, как и в случае с электростатикой, исследователи сталкиваются с проблемой преждевременного выпуска лекарств.

Ученые решили использовать структуры, которые ранее практически не исследовались, — гелевые нанокапсулы. Основной проблемой, прежде резко снижавшей интерес к ним, было то, что такие капсулы, едва появившись, тут же слипались со своими соседками (теряли коллоидную стабильность) при попытке «загрузки» их лекарствами, что делало доставку невозможной (или малоэффективной). Ученым удалось решить эту проблему, создав носитель, внутренняя полость которого, словно яйцо с двумя скорлупами, окружена двумя оболочками разного химического состава. Внешняя пористая оболочка играет защитную (стабилизирующую) роль и препятствует слипанию нанокапсул, а поры внутренней оболочки могут открываться и закрываться в зависимости от температуры за счет изменения взаимодействия между ее мономерными звеньями.

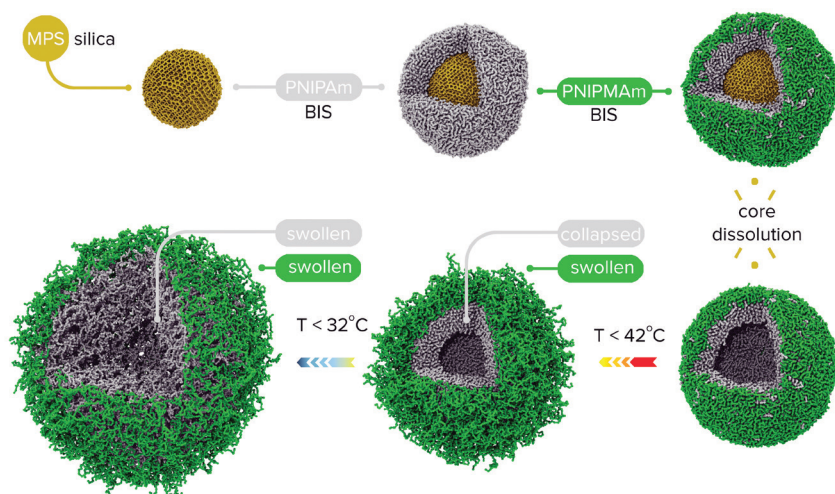
В момент заполнения полости поры открыты, и лекарство всасывается в нее как в губку, затем температура меняется, поры внутренней оболочки закрываются, и лекарство отправляется в путь. В дальнейшем поры смогут открыться вновь только там, где это позволит температура.

Приготовление двухслойных капсул в этом эксперименте сводилось к послойному синтезу двух полимерных оболочек разного химического состава вокруг ядра из оксида кремния, а по окончании синтеза это ядро химическим образом растворялось, оставляя вместо себя пустое пространство.

Основная трудность этой работы заключалась в том, что исследователи во многом шли вслепую, не зная наверняка, как поведет себя их нанокапсула, не «схлопнется» ли ее полость, оставшаяся после удаления кремниевого ядра, достаточного ли размера окажутся поры оболочек для того, чтобы всосать в себя транспортируемое вещество, а затем высвободить его там, где требуется, надежно ли оно будет заперто во время транспортировки. К счастью, все эти опасения оказались напрасными — в ответ на изменения температуры поры открывались и закрывались, «по дороге» (в эксперименте, настоящей «дороги» не было — ученые измеряли возможные потери из полости по мере течения времени) содержимое капсул практически не терялось, а внутренняя полость не только не схлопывалась — она становилась даже больше первоначального размера кремниевого ядра.

Изготовление наногелевых капсул и связанные с ними измерения проводились в Европе, главным образом в Германии, а российские ученые из МГУ, Игорь Потемкин и его коллега Андрей Рудов, работали над компьютерным моделированием, с помощью которого исследователи изучали зависимость структуры нанокапсул от температуры. Также физиками МГУ с помощью компьютерного моделирования был продемонстрирован способ инкапсулирования и высвобождения транспортируемых молекул при изменении температуры.

На данном этапе работа носила чисто фундаментальный характер и была предназначена в первую очередь для демонстрации эффективности концепции. Эксперименты проводились в диапазоне температур 32–42°C. Это несколько больше диапазона температур, благоприятных для человека, хотя в дальнейшем, утверждает Игорь Потемкин, этот диапазон легко можно будет сузить.



Способ изготовления наноконтейнеров и их структура в зависимости от температуры.

Совместные работы группы рассчитаны еще на четыре года. «Осталось еще много вопросов, — комментирует ученый. — Например, мы «поймали» структуру, в которой полость не схлопывается по мере коллапса (то есть в момент закрытия пор). Теперь осталось понять, как это получается, как влияет плотность сшивки слоев, т.е. какое минимальное количество

сшивателя не приводит к схлопыванию полости, и так далее».

Потемкин уверен, что в любом случае созданные исследовательской группой наноконтейнеры представляют собой идеальные носители для адресной доставки лекарств. Более того, их синтез не отличается сложностью и относительно дешев. Хотя на данном этапе исследований его кон-

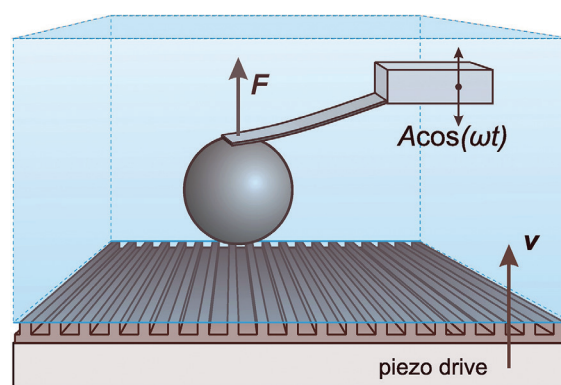
кретную стоимость назвать сложно, в планах коллаборации уже сейчас стоит создание крупнотоннажного, приемлемого с коммерческой точки зрения, производства микрогелей.

“Nanogels with Responsive Shell Permeability”, A.J. Schmid, J. Dubbert, A.A. Rudov, J.Skov Pedersen, P. Lindner, M. Karg, I.I. Potemkin & W. Richtering. *Scientific Reports* 6, Article number: 22736 (2016).

ОПИСАНО СУПЕРГИДРОФОБНОЕ СКОЛЬЖЕНИЕ ВОДЫ С РЕКОРДНОЙ ТОЧНОСТЬЮ

Международному коллективу ученых под руководством профессора физического факультета МГУ и заведующей лабораторией ИФХЭ РАН Ольги Виноградовой впервые удалось точно описать поведение жидкости вблизи супергидрофобной поверхности и проверить полученные аналитические выражения в эксперименте. Новое исследование опубликовано в журнале *Soft Matter*.

Микросфера, прикрепленная к кончику атомно-силового микроскопа движется по направлению к супергидрофобной поверхности.



Вблизи некоторых поверхностей течение жидкости обладает необычным свойством: его скорость не равна нулю даже в непосредственно примыкающем к стенке слое (то есть жидкость не прилипает, а проскальзывает вдоль поверхности). Этот эффект называется гидродинамическим скольжением, и был впервые описан более двухсот лет назад, однако с тех пор привлекал мало внимания, так как не оказывал никакого значимого влияния на общий поток жидкости.

Ситуация значительно изменилась с появлением супергидрофобных материалов, в которых химическая гидрофобность поверхности сочеталась с необычным рельефом (например, бороздками, микроколоннами). В канавках таких текстур оставались пузырьки воздуха, по которым жидкость могла проскальзывать практически без сопротивления, что значительно увеличивало длину скольжения на таких поверхностях.

Сложные супергидрофобные поверхности потребовали создания новых гидродинамических теорий для их описания. Новые подходы предсказывали не только снижение вязкого сопротивления, но и необычное поведение жидкости вблизи некоторых анизотропных (то есть имеющих свойства, которые зависят от направления) поверхностей. Например, вблизи стенки, покрытой протяженными канавками, направленными под углом к основному потоку, жидкость могла поворачиваться в сторону, вызывая активное перемешивание, или разделение погруженных в нее частиц по размеру.

Команда исследователей из МГУ имени М.В. Ломоносова и ИФХЭ РАН в последние годы разрабатывала теорию

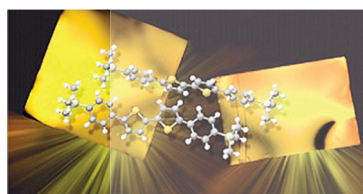
гидродинамического скольжения вблизи анизотропных супергидрофобных поверхностей, однако до сих пор в эксперименте эти теории удавалось проверить лишь косвенно. В новой работе благодаря использованию атомно-силового микроскопа ученые смогли не только точно определить длину скольжения, но и проверить аналитические формулы, описывающие поведение жидкости на разных расстояниях от супергидрофобной поверхности.

Использование микроскопа позволило с постоянной скоростью опускать сферическую микрочастицу на супергидрофобную поверхность, погруженную в жидкость. При этом экспериментатор мог одновременно с высокой точностью отслеживать положение сферы в канале, а также измерять силу, действующую на нее со стороны жидкости. Авторы получили точное теоретическое решение для данного процесса, на основе чего удалось измерить длину скольжения из экспериментальной зависимости гидродинамической силы от высоты над супергидрофобной поверхностью.

По словам авторов, результаты послужат отправной точкой для разработки новых супергидрофобных систем. Теперь, когда точность предложенных теорий больше не вызывает сомнений, ученые получили возможность использовать многие теоретические идеи, полученные ранее. Среди них разделение частиц в супергидрофобных каналах, системы с электроосмотическим течением и многое другое.

“Probing effective slippage on superhydrophobic stripes by atomic force microscopy”, T.V. Nizkaya, A.L. Dubov, A. Mouranb and O.I. Vinogradova. *Soft Matter*, 12, 6910–6917, (2016).

ВЫРАЩЕНЫ КРИСТАЛЛЫ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ ДЕЛАТЬ ГИБКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА



Д.Ю. Парашук

Органическая оптоэлектроника — стремительно развивающаяся область исследований, которая обещает сделать доступными легкие, гибкие и прозрачные электронные устройства нового поколения, такие, как органические светотранзисторы и органические лазеры с накачкой электрическим током — заветной мечтой любого лазерщика. Это очень перспективная область: благодаря хотя бы уже своей доступности органические полупроводники в принципе могут даже потеснить кремний с его электронного трона.

До сих пор считалось, что органические полупроводниковые кристаллы, выращенные путем кристаллизации из паровой фазы, намного предпочтительнее тех, что выращены из растворов, поскольку из пара можно получать более чистые, более свободные от примесей структуры. Группа физиков из МГУ под руководством профессора Дмитрия Парашука относится к той разновидности исследователей, которая этого мнения не разделяет и полагается на растворное выращивание по ряду причин, в частности, на куда более простые и дешевые технологии, применяемые при этом.

В качестве основного полимера для исследований ими были выбраны так называемые тиофен-фениленовые олигомеры. Нужные молекулы были синтезированы для них химиками — коллегами из МГУ и Института синтетических полимерных материалов РАН. Из этих молекул на физфаке

Команда исследователей физического факультета МГУ совместно с российскими и зарубежными коллегами научилась выращивать органические полупроводниковые кристаллы с рекордно высокой светоизлучательной способностью, которые сулят настоящую революцию в органической оптоэлектронике. Больше того, они совершили двойной прорыв, применив для выращивания кристаллов намного более простые и дешевые технологии, которые до того считались бесперспективными. Результаты своей работы ученые опубликовали в журнале *Applied Materials and Interfaces*.

МГУ были из раствора выращены кристаллы, здесь же измерены их люминесцентные и электрические свойства.

Главный результат этого исследования оказался ошеломляющим: «растворные» кристаллы светили сильнее, чем их аналоги, полученные другими исследователями из пара. Их квантовый выход (то есть количество испущенных фотонов по отношению к поглощенным) достигал 60%, тогда как те же кристаллы, но «на пару», давали не больше 38%.

Такое разительное различие в светимости физики объясняют в частности тем, что, возможно, при растворном выращивании в кристаллах подавляются некие внутренние, безызлучательные каналы релаксации, забирающие на себя часть поглощенной энергии, однако, по-видимому, это не единственное объяснение.

«Мы уже нашли причины такого высокого квантового выхода, но еще не готовы их обнародовать. Это дело нашего будущего исследования», — заявил профессор Парашук.

Светимость оказалась не единственным плюсом «растворных» методик. В одном из своих прошлых исследований группа Парашука обнаружила, что можно выращивать кристаллы на поверхности раствора вместо твердой подложки — за счет сил поверхностного натяжения. И эти кристаллы по качеству не уступают кристаллам «из пара».

«Мы показали, что можно различными способами растить кристаллы на поверхности жидкости, — говорит профессор Парашук. — Грубо говоря, все эти способы сводятся к тому, что, поместив раствор с молекулами в какой-то сосуд и начав охлаждать

его, мы, при некоторых условиях, позволяем молекулам осаждаться на поверхности, на границе «жидкость–воздух». Поскольку эта поверхность почти идеальна, то кристаллы на ней растут очень хорошие, по качеству и электронным характеристикам не уступающие выращенным из пара. Больше того, поверхность кристалла получается очень гладкой, с ангстремными шероховатостями, что позволяет создавать на их основе полевые транзисторы, где это качество незаменимо».

Парашук подчеркивает, что применимость их кристаллов в светотранзисторах, а значит и в органической оптоэлектронике — это пока только предположение, справедливость которого еще нужно доказывать. То же самое можно сказать и в возможном получении на этой основе лазеров с электрической накачкой, то есть лазеров, управляемых электрическим током. «Получить такие лазеры, которые можно «зажигать» просто подключив пленку к источнику, люди мечтают давно, но пока еще они не получены, — говорит Парашук. — Мы надеемся, что с помощью органических кристаллов мы эту цель сможем приблизить. Сочетание хорошей проводимости и высокой эффективности излучения света позволяет надеяться, что именно на таких кристаллах будет сделан первый лазер с электрической накачкой».

“Highly Luminescent Solution-Grown Thiophene-Phenylene Co-Oligomer Single Crystals”, L.G. Kudryashova, M.S. Kazantsev, V.A. Postnikov, V.V. Bruevich, Yu.N. Lu-ponosov, N.M. Surin, O.V. Borshchev, S.A. Ponomarenko, M.S. Pshenichnikov, and D.Yu. Paraschuk. *J. Applied Materials and Interfaces*. (2016).

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, КОТОРОЕ ПОМОГАЕТ ПРИЖИТЬСЯ ИМПЛАНТАТАМ

Группа физиков из России при участии швейцарских коллег разработала способ использования терапевтического действия нагрева или охлаждения тканей за счет магнитокалорического эффекта. Статью с результатами своих работ ученые опубликовали в последнем номере журнала *International Journal of Refrigeration*.

Группа ученых из МГУ имени М.В.Ломоносова предложила новый способ применения магнитокалорического эффекта для адресной доставки лекарств в месте установки имплантата. Один из авторов работы Владимир Зверев (физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова) утверждает, что аналогов данного метода, использующего отрицательный магнитокалорический эффект, в мире не существует.



Образцы имплантатов (брюшных сеток) из полипропилена с нанесенным покрытием.

Суть магнитокалорического эффекта (МКЭ) сводится к тому, что при воздействии внешнего магнитного поля на магнитный материал температура этого материала изменяется, иногда повышаясь, а иногда, наоборот, падая (в зависимости от материала). Это важное физическое явление было обнаружено еще в позапрошлом веке, хотя как эффект было описано лишь в 1917 году. За прошедшее столетие МКЭ был изучен очень подробно, однако интерес исследователей к нему не только не упал, но, наоборот, резко возрос в последние десятилетия. Это объясняется, во-первых, большим количеством информации о физике магнитных материалов, которую можно из этого эффекта извлечь, и, во-вторых, довольно обширной областью его

возможных применений. Его можно с большим успехом применять в физике низких температур, для производства тепловых машин, холодильных установок и пр.

Однако большинство этих применений к коммерческому использованию пока не готово, главным образом, из-за неготовности технологий. Если, например, говорить о бытовых магнитных холодильниках, то, хотя они разрабатываются сегодня многими научно-промышленными лабораториями по всему миру, по словам одного из авторов статьи Владимира Зверева, такие холодильники, если бы их сегодня производили, были бы очень дорогими.

«Для таких холодильников требуется магнитное поле порядка одного тесла, что при сегодняшних возможностях делает цены на них очень высокими и потому коммерчески неприемлемыми — одно только устройство для генерации такого поля обойдется как минимум в полторы тысячи долларов. Остается ждать, когда они подешевеют», — комментирует Владимир Зверев.

Однако это не помешало авторам работы предложить новое применение магнитокалорического эффекта, причем практически готовое к массовому использованию, — на этот раз в медицине.

Один из методов, разработанных исследователями, носит название «магнитожидкостная гипотермия» и сводится к нагреву онкологических новообразований специальными магнитными наночастицами, адресно доставляемыми в место опухоли. Для этого исследователями разработана и создана уникальная установка по созданию переменного высокочастотного магнитного поля, которой, как уверяет Владимир Зверев, не существует аналогов в мире. На сегодня с помощью этой установки в Российском научном онко-



Физик, кф.-м. наук В.И. Зверев

логическом центре им. Н.Н. Блохина проведены первичные исследования клеточных культур различных типов раковых опухолей. Проведены также исследования на мышах, доказавшие биосовместимость и нетоксичность микрочастиц. Ставятся также эксперименты по фармакокинетике микрочастиц, с помощью которых выясняется, как они удерживаются в опухоли, как распространяются в организме кровотоком и т.п.

Если о возможности подобного использования магнитокалорического эффекта в научной литературе по крайней мере упоминалось — ведь давно известно, что нагрев опухоли может привести к ее дегенерации, — то вторая методика, предложенная учеными, совершенно уникальна.

Как известно, одной из проблем при имплантации в человеческий организм инородных тел — искусственных суставов, брюшных сеток, стентов пищевода, моче- и желчевыводящих протоков и пр. — является вероятность их отторжения. Авторы статьи предлагают наносить на имплантаты (еще во время их подготовки к установке в организм) специальное покрытие, состоящее из нескольких слоев. Первый слой — магнитный материал, который охлаждается во внешнем магнитном поле (материал с отрицательным магнитокалори-

ческим эффектом). Этот слой может представлять собой тонкую пленку или суспензию из магнитных микро-частиц. Второй слой — полимерная матрица, в которую, как в губку, помещено лекарственное вещество. Полимерная матрица находится в непосредственном тепловом контакте с магнетокалорическим материалом. Вся эта конструкция во время операции помещается в организм.

Дело в том, что полимер, используемый в технологии, при нормальной температуре внутри организма, то есть при температуре выше 37 градусов, похож на желе, которое удерживает внутри себя лекарство. Когда магнитное поле понижает температуру магнитного материала, полимер переходит в жидкообразное состояние и выпускает лекарство в месте установки имплантата. Например,

когда после установки имплантата происходит воспаление, неинвазивное приложение внешнего магнитного поля (например, в установке МРТ) позволит выпустить нужную порцию лекарства в течение нужного времени в нужном месте.

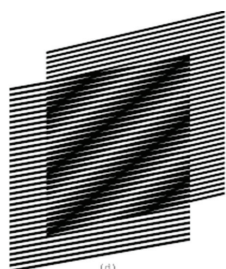
Такой метод «адресной» доставки лекарств, хорош, в частности, уже тем, что он воздействует только на источник воспаления и лишен всякой связи с остальным организмом, то есть уже по определению для него совершенно безвреден. Есть, правда, проблема — пока непонятно, что делать, если лекарство в оболочке закончится.

Зверев утверждает, что и эта проблема решаема: «Во-первых, — говорит он, — в некоторых случаях необходимо только один, «залповый сброс»

лекарства, например, необходимого для того, чтобы приклеилась брюшная сетка. А выпуск дозированных порций лекарства можно регулировать, управляя величиной внешнего магнитного поля. Можно также пополнять оболочку новым запасом лекарства, используя то обстоятельство, что лекарство химически может быть соединено с магнитными частицами, которые можно «дотащить» до нужного места в организме внешним магнитным полем. Правда, этот способ мы не разрабатывали, и он находится сейчас только в виде идеи».

“A review and new perspectives for the magnetocaloric effect: New materials and local heating and cooling inside the human body”, A.M. Tishin, Y.I. Spichkin, V.I. Zverev, P.W. Egolf. International Journal of Refrigeration. Volume 68, 177–18, (2016).

НОВЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХТОЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНЕЕК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВОВ ВЕЩЕСТВ



Ученые физического факультета МГУ под руководством профессора Михаила Городецкого в содружестве с коллегами из Швейцарии из Федеральной политехнической школы Лозанны под руководством профессора Тобиаса Киппенберга разработали метод, позволяющий точно контролировать число оптических солитонов в микрорезонаторах, на которых основана современная фотоника.

Иллюстрация принципа спектроскопии с помощью двух гребенок (двух солитонов). Два набора частых полос с небольшой разницей в расстоянии между полосами при наложении друг на друга дают картину жирных наклонных полос с значительно большим расстоянием между ними.

Физики из МГУ опубликовали статью в журнале *Nature Physics*, описав метод, который позволяет гарантированно формировать один оптический импульс, распространяющийся по кругу в резонаторе. Среди многих потенциальных применений такого метода — измерения состава газов спектроскопическим методом в среднем инфракрасном диапазоне и повышение стабильности генераторов, нужное, например, для приемников GPS.

Фотоника — динамично развивающаяся область современной физики. Одним из основных структурных элементов, на котором строится фотоника, является микрорезонатор. Резонатор является неотъемлемым элементом почти всех сложных оптических и микроволновых приборов. По сути, резонатор — это кольцевая ловушка для света, попав в которую, фотон движется по кругу, отражаясь от стенок. Сегодня микрорезонаторы применяются для стабилизации лазеров и в оптических фильтрах.

В своей работе, результаты которой опубликованы в журнале *Nature Physics*, ученые пытались решить задачу стабильной генерации оптических импульсов в резонаторах, иначе говоря, сделать так, чтобы каждый запущенный в него импульс (солитон) мог существовать долго. Второй

целью эксперимента было создание условий, при которых число движущихся в резонаторе импульсов-солитонов легко можно было снизить до единицы. При этом спектр выходящего излучения имеет вид сверхстабильной оптической гребенки, которая может служить очень точной линейкой для оптических спектров.

«Импульсы должны жить долго, и импульс должен быть один, а не несколько. Потому что, когда импульс один, он имеет самый широкий спектр, так называемую гребенку, и его наиболее просто использовать для различных применений, например, в спектроскопии», — рассказал соавтор работы, аспирант физического факультета Григорий Лихачев.

В своей работе ученые рассматривали свойства двух оптических резонаторов. Первый тип изготовлен из оптического кристалла, фторида магния MgF_2 , второй был выполнен из нитрида кремния Si_3N_4 на чипе-подложке, имеющей толщину всего 1 микрон.

Для запуска света в резонатор использовался лазер, свойства импульсов внутри резонатора измерялись на выходе спектрометром.

В ходе эксперимента был продемонстрирован метод, который позволяет гарантированно формировать один импульс, распространяющийся по кругу в резонаторе. В случае успеха эксперимента физики ожидали увидеть ровную спектральную гребенку — отличительный признак солитона. Кроме того, ученые в статье продемонстрировали разработанный ими новый очень эффективный метод наблюдения за жизнью солитонов в реальном времени, добавив к входному сигналу слабую фазовую модуляцию и регистрируя отклик на это возмущение. Этот подход открывает новые возможности для поддержания и стабилизации гребенок.

«Успехом эксперимента стало получение гарантированного односолитонного режима. Ведь у одного солитона спектр чище, и его легче измерять», — пояснил Лихачев.

Разработанная методика позволяет возбуждать в резонаторе некоторое неизвестное большое число солитонов, после чего сокращать их число последовательно на единицу, в итоге доводя число импульсов до единицы. Убирать один за другим лишние солитоны можно, фактически изменяя лишь частоту лазера, которым накачивается резонатор, подчеркивают ученые.

Оптическая гребенка — основа метода прецизионной лазерной спектроскопии, за которую в 2005 году была присуждена Нобелевская премия по физике. Научившись генерировать отдельные устойчивые солитоны внутри оптических резонаторов, физики могут использовать их в целом ряде задач, имеющих множество прикладных значений — от астрономии до сверхточных датчиков, напри-

мер, когда необходимо измерить спектр неизвестного вещества. Используя два одинаковых оптических солитона и накладывая друг на друга их гребенки, ученые могут измерять оптические частоты, которые в силу их величины (порядка 200 терагерц, то есть с длиной волны 1500 нм) напрямую измерять сложно.

«Расстояние между зубьями двух гребенок меньше расстояния между зубьями отдельных гребенок, и если вы возьмете их разницу, то фактически можете измерять низкие частоты, которые попадают в радиодиапазон и вполне могут быть измерены современной электроникой», — пояснил Лихачев.

Потенциальное применение такого метода — измерения состава газа спектроскопическим методом в среднем инфракрасном диапазоне. Направив два оптических солитона в исследуемый газ по обычному оптическому волокну, на выходе в их спектре можно зафиксировать провалы, связанные с определенными линиями поглощения.

Использование двух солитонов позволяет измерять частоты не в оптическом диапазоне, в котором существующими способами это делается медленно, а в области радиоволн. Если измерение частот в оптическом спектрометре занимает секунды, то в радиодиапазоне время измерения определяется частотой электроники, а значит, составляет миллиардные доли секунды.

“Universal dynamics and deterministic switching of dissipative Kerr solitons in optical microresonators”, H. Guo, M. Karpov, E. Lucas, A. Kordts, M.H. P. Pfeiffer, V. Brasch, G. Likhachev, V. E. Lobanov, M. L. Gorodetsky & T.J. Kippenberg. *Nature Physics* (2016).

ОБЪЯСНЕНИЕ ПОВЫШЕННЫХ ШУМОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ АНТЕНН В ПРОЕКТЕ LIGO

Профессор физического факультета МГУ Михаил Городецкий совместно с коллегой опубликовал результаты обработки экспериментальных данных по текучести плавленного кварца, из которого изготовлены гравитационные антенны LIGO, для объяснения причин повышенных шумов на низких частотах. Исследование опубликовано в высокорейтинговом журнале *Physical Review D — Particles, Fields, Gravitation and Cosmology*.

«Статья связана с нашими исследованиями в проекте LIGO и попытками объяснить пока непонятные повышенные шумы гравитационных антенн на низких частотах. Такие шумы даже называются в проекте загадочными, «mysterious». Мы предположили, что они могут быть связаны со свойствами материала, из которого изготовлены зеркала и подвесы антенн, — плавленного кварца (минерала с формулой SiO_2)», — рассказал главный автор статьи, профессор кафедры физики колебаний физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор физико-математических наук Михаил Городецкий.

Плавленный кварц, как и любое стекло, не является кристаллом, а больше похож на сверхвязкую жидкость. Михаил Городецкий и его коллега из Российского Квантового Центра (Сколково) обобщили экспериментальные данные по текучести объектов из плавленного кварца, полученные

ранее из измерений очень медленных изменений размеров и формы на многолетнем интервале времени.

«Мы попытались извлечь параметры для модели вязкоупругого тела и, исходя из этого, рассчитать тепловые флуктуации зеркал антенн на низких частотах, которые действительно оказались выше, чем в предыдущих оценках. К сожалению, точность имеющихся экспериментальных данных пока недостаточна, чтобы говорить о том, что объяснение загадочных шумов найдено, и требуется планирование новых экспериментов», — говорит Михаил Городецкий.

“Viscosity of fused silica and thermal noise from the standard linear solid model”, N.M. Kondratiev and M.L. Gorodetsky. *Phys. Rev. D* 94, 081102(R) (2016).

ЧИП, КОТОРЫЙ МОЖЕТ ЗАМЕНИТЬ СЛОЖНУЮ ЛАЗЕРНУЮ УСТАНОВКУ



Проф. М.Л. Городецкий

Эту работу можно назвать заключительным аккордом в серии работ группы, касающихся исследований оптических гребенок — так называются сигналы, чей частотный спектр представляет собой набор равноотстоящих друг от друга линий. Начавшись с исследования шумов в оптических сигналах такого сорта, эти работы привели сначала к созданию генераторов этих сигналов с сердцем в виде диска миллиметрового диаметра и закончились созданием полноценного чипа, почти пригодного для коммерческого использования.

Фемтосекундные оптические гребенки — недавнее изобретение. Появившись в конце 90-х, они оказались настолько востребованными в самых разных областях — в системах телекоммуникации, в лазерной спектроскопии, в астрофизике и так далее, — что уже в 2005 году их авторы, Теодор Хэнш из Германии и Джон Холл из США, получили за них Нобелевскую премию. Для получения таких гребенок использовались лазеры с синхронизацией мод. При этой методике лазер, излучает свет не одной частоты, как это принято думать о лазерах, а сразу несколько «мод» — световых лучей с кратными частотами. Если эти моды синхронизировать, то есть сделать так, чтобы их фазы были жестко связаны между собой, то в результате интерференции этих мод непрерывный луч лазера превратится в последовательность импульсов со спектром «гребенки».

За этой, без преувеличения, технологической революцией вскоре последовала другая — в 2007 году в лаборатории Тобиаса Киппенберга (тогда работавшего в группе Т. Хэнша, а ныне возглавляющего лабораторию в Федеральной политехнической школе Лозанны (Лозанна, Швейцария)) в микрорезонаторах из плавленого кварца, открытых, кстати, в МГУ, тоже были получены оптические гребенки, и для их создания уже не требовались громоздкие и сложные установки. Появилась возможность на порядки уменьшить размеры устройств. Генерация таких гребенок связана с так называемым эффектом Керра, состоящим в том, что в нелинейных средах показатель преломления зависит от интенсивности падающего на него света.

Правда, это была не столько революция, сколько ее начало — швейцарские исследователи, а позже и другие группы в разных лабораториях, фактически только показали принципиальную возможность создавать «гребенки» подобным образом, но то, что у них получалось, было еще очень далеко от идеала, гребенки получались шумными, нестабильными (они походили на расчески с выломанными, да еще вдобавок ползающими туда-сюда зубьями) и

Группа российских и швейцарских физиков создала чип, генерирующий фемтосекундные импульсы света с особым частотным спектром под названием «оптическая гребенка», то есть делающий то, чего прежде удавалось добиться лишь с помощью больших и сложных лазерных установок. Сообщение об этом опубликовано 1 января 2016 года в журнале Science.

ученым предстояло решить массу проблем, чтобы запустить эти резонаторы в работу. Первой из них была проблема шумов. В сотрудничестве с группой Киппенберга ученые физического факультета МГУ в начале 2013 года решили ее, доказав, что эти шумы не носят фундаментального характера, что от них можно избавиться, и показали, как это сделать. Оставалось главное — сделать «правильные» гребенки и создать с этим спектром последовательность импульсов с очень короткой, фемтосекундной длительностью (то есть с длительностью порядка 10 в минус пятнадцатой степени секунды). В конце того же года они справились и с этой проблемой.

Для создания таких гребенок физики МГУ и Российского квантового центра предложили использовать «солитоны», то есть компактно упакованные волны, своеобразные электромагнитные цунами, которые ведут себя, как частицы. По развитой в МГУ теории облучение лазерным светом дисков из таких нелинейных сред порождает в этих дисках движущиеся по кругу солитоны, в результате чего на выходе связанного с диском оптоволокна возникает последовательность импульсов, следующих друг за другом через время одного обхода солитоном окружности диска. В качестве резонатора физики использовали тогда миллиметровый диск из кристалла фторида магния. С его помощью им удалось получать импульсы-гребенки длительностью в 100–200 фемтосекунд.

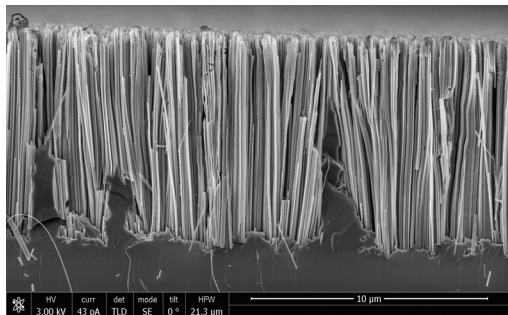
В этом году российско-швейцарская команда закрепила успех и научилась напылять специальные микрорезонаторы для гребенок в чипах.

«Разница, конечно, огромная, — говорит один из российских соавторов статьи профессор физического факультета МГУ Михаил Городецкий. — Если в лазерах с синхронизацией мод для генерации импульсов используются сложные оптические устройства, среды и специальные зеркала, то мы получаем такие же стабильные импульсы в простом пассивном резонаторе, внедренном в микрочип и имеющем размеры не более 100–200 микрон».

Изменилось и качество гребенок — теперь длительность импульсов удалось сократить со 100–200 до 30 фемтосекунд. Последнее достижение группы «Москва-Лозанна», по словам профессора Городецкого, не только самым категорическим образом снижает размеры, сложность и стоимость генераторов гребенок, но вдобавок открывает новые горизонты для их использования в режимах, «недостижимых другими методами»

“Photonic chip – based optical frequency comb using soliton Cherenkov radiation”, V. Brasch, M. Geiselmann, T. Herr, G. Lihachev, M.H. P. Pfeiffer, M.L. Gorodetsky T.J. Kippenberg. J. Science. Vol. 351, Is. 6271, pp. 357–360. (2016).

РАЗРАБОТАН ЭКОЛОГИЧНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ



Кремниевые нанонити.

Сотрудники физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова разработали методику синтеза кремниевых нанонитей с помощью металл-стимулированного травления, где вместо плавиковой кислоты (HF) использовался более безопасный и экологически чистый фторид аммония (NH_4F). Результаты исследования ученые опубликовали в журнале *Nanoscale Research Letters*.

Ученые с физического факультета МГУ придумали новый экологичный способ получения кремниевых нанонитей, при котором вместо плавиковой кислоты (HF) используется фторид аммония (NH_4F). Кремниевые нанонити — это вытянутые вдоль одного направления, практически параллельные друг другу наноструктуры, похожие на нити, провода, или столбы, выращенные на кремниевой подложке. Диаметр нанонитей, полученных металл-стимулированным химическим травлением, как правило варьируется от 50 до 200 нм, расстояние между нанонитями может составлять от 100 до 500 нм. Длина нанонитей в зависимости от времени травления может варьироваться от 100 нм до десятков микрон. Интерес к кремниевым нанонитям связан с их перспективным применением в микро- и оптоэлектронике, фотонике, фотовольтаике, сенсорике и даже в биомедицине, поскольку кремниевые наноструктуры являются не только биосовместимыми, но и биodeградируемыми (могут полностью растворяться в организме спустя некоторое время). Однако используемая в стандартном методе получения кремниевых нанонитей плавиковая кислота чрезвычайно токсична.

Получение кремниевых нанонитей металл-стимулированным травлением заключается в химическом травлении кремниевой пластины, где инициатором травления выступают металлические наночастицы, например, серебра.

«Нами был использован двухступенчатый метод травления. На первом этапе серебряные наночастицы осаждались на поверхность кремниевой подложки. Но осаждались не ровным слоем, а островками. На втором этапе происходило травление кремниевой подложки в местах, покрытых серебром. Поэтому непокрытые серебром участки кремниевой пластины превращались в нанонити. Серебряные наночастицы «проваливались» внутрь кремниевой пластины и чем дольше длилось травление, тем более длинные нанонити получались. В конце серебро удалялось с помощью азотной кислоты», — поясняет общую схему создания нанонитей младший научный сотрудник кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ Кирилл Гончар.

Исследователи из МГУ заменили опасную и токсичную плавиковую кислоту на фторид аммония на всех этапах химического травления, а также изучили оптические свойства кремниевых нанонитей, приготовленных таким способом, и сравнили их с нанонитями, полученными стандартным методом с использованием плавиковой кислоты.

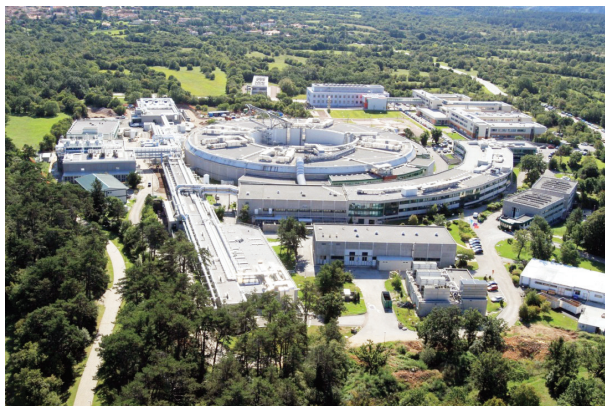
Кирилл Гончар поясняет, как возникла мысль использовать в синтезе нанонитей фторид аммония: «Идея использования фторида аммония для электрохимического травления кремния была известна уже более 20 лет назад, но не нашла широкого распространения. Однако, мы являемся первыми, кто перешел к так называемой «зеленой химии», используя фторид аммония на всех этапах метода металл-стимулированного химического травления. При этом, что также было показано в нашей работе, структурные и оптические свойства полученных образцов являются фактически идентичными характеристикам нанонитей, полученных стандартным методом (с использованием плавиковой кислоты). Наша работа является перспективной в рамках масштабных промышленных нетоксичных производств кремниевых нанонитей».

Нанонити, полученные представленном нами методом, имеют ряд преимуществ: в данных структурах наблюдается сильное рассеяние и локализация света в широком диапазоне спектра, вследствие чего полученные образцы обладают чрезвычайно низким полным отражением света (единицы процентов) как в УФ так и в видимой области спектра; также в таких наноструктурах наблюдается увеличение интенсивности межзонной фотолюминесценции кремния (1.12 эВ) и комбинационного рассеяния света по сравнению с исходными подложками кристаллического кремния; помимо прочего, получаемые нанонити обладают также эффективной фотолюминесценцией в диапазоне 500–1100 нм.

«Таким образом, — поясняет Кирилл Гончар, — мы в своей работе ученые открыли огромные возможности применений кремниевых наноструктур, полученных с помощью «зеленой химии»: это и использование в фотовольтаике в качестве антиотражающего покрытия для повышения эффективности солнечных батарей; и в сенсорике в качестве чувствительных элементов оптических сенсоров на различные вещества (за счет усиления интенсивности сигнала комбинационного рассеяния света, которое является «отпечатком пальцев» молекул); в фотонике и в биомедицине (люминесцентные свойства).»

“Optical Properties of Silicon Nanowires Fabricated by Environment-Friendly Chemistry”, K.A. Gonchar, A.A. Zubairova, A. Schleusener, L.A. Osminkina, V. Sivakov. *J. Nanoscale Research Letters*. (2016).

ВПЕРВЫЕ В МИРЕ ФИЗИКИ СМОГЛИ КОНТРОЛИРОВАТЬ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ С ТОЧНОСТЬЮ ДО МИЛЛИАРДНОЙ ДОЛИ СЕКУНДЫ



Международная группа ученых при участии физиков из МГУ имени М.В.Ломоносова впервые в мире смогла доказать, что возможно контролировать квантовые процессы с точностью до нескольких аттосекунд — одной миллиардной доли миллиардной доли секунды. Подробности эксперимента описаны учеными в статье, опубликованной в последнем номере журнала *Nature Photonics*.

Исследовательский центр Elettra Sincrotrone, Триест, Италия.

Группа исследователей при участии российских физиков сумела провести эксперимент, в котором впервые в мире удалось контролировать сверхбыстрые движения электронов с точностью до трех аттосекунд (одна аттосекунда относится к одной секунде также, как одна секунда к времени жизни Вселенной), что открывает возможность для проведения ранее невозможных квантовых исследований. Эксперимент проводился на лазере на свободных электронах FERMI, установленном в международном исследовательском центре «Elettra Sincrotrone» в итальянском городе Триесте.

Химические, физические и биологические процессы протекают чрезвычайно быстро, связи между атомами рвутся и образуются за времена, исчисляемые фемтосекундами (миллионная доля миллиардной доли секунды). Египетско-американский химик Ахмед Зевейл первым сумел наблюдать динамику химических процессов, за что в 1999 году был удостоен Нобелевской премии по химии.

Однако природа может работать еще быстрее. Если время движения атомов в молекуле характеризуется фемтосекундами, то электронная динамика, которая и определяет химические связи, протекает в тысячу раз быстрее — за промежутки времени, исчисляемые десятками и сотнями аттосекунд.

Для исследования таких процессов нужны лазеры, причем подходят только так называемые рентгеновские лазеры на свободных электронах. В «обычных» газовых, жидкостных или твердотельных лазерах источниками фотонов служат возбуждения электронов, находящихся в связанном атомном или молекулярном состоянии. В отличие от них, лазеры на свободных электронах работают от электронного пучка очень высокого качества, движущегося по синусоиде под действием отклоняющих магнитных полей. Теряя при этом энергию, электроны испускают ее в виде излучения.

Рентгеновские лазеры на свободных электронах генерируют излучение с уникальной комбинацией свойств: длинной волны в ультрафиолетовом или мягком рентгеновском диапазоне, беспрецедентной яркостью, ультракороткими фемтосекундными импульсами, перестраиваемостью частоты и поляризации, когерентностью. Характеристики

лазера не позволяли проводить наблюдения за аттосекундными изменениями, однако выход из положения все же был найден. В своем эксперименте физики облучали атом неона импульсами излучения лазера на свободных электронах не одной частоты, а сразу двух — гармониками с длинами волн в 63,0 и 31,5 нанометров (в данном случае гармоники — это составляющие лазерного излучения с кратными друг другу длинами волн), а затем наблюдали за направлением вылета фотоэлектронов из атома.

Меняя временную задержку между гармониками, ученые следили за динамикой этого процесса — а именно, измеряли изменения формы угловых распределений фотоэлектронов. В результате им удалось преодолеть поставленные природой препятствия и осуществить наблюдение за квантовой интерференцией между двумя каналами фотоионизации атомов с временным разрешением в три аттосекунды (упрощенно, по косвенным признакам удалось отследить, чтобы именно с таким интервалом по времени из атома вылетали электроны).

«В этой работе нам впервые удалось реализовать схему, которая позволяет определять относительные фазы двух гармоник лазера на свободных электронах, — комментирует один из авторов работы Елена Грызлова, старший научный сотрудник отдела электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова. — Для подавления или, наоборот, выделения дополнительных частот создано множество методов, но все они неприменимы в высокочастотных диапазонах вакуумного ультрафиолета и рентгена, так как здесь нет обычных для лазеров зеркал или поляризаторов. Однако главный вывод, следующий из этого эксперимента, наверное, заключается в том, что это вообще в принципе возможно — контролировать квантовые процессы с точностью до нескольких аттосекунд».

Вклад российских ученых в успех этой работы значителен: «В частности, нашему коллеге, Алексею Грум-Гржимайло (старшему) принадлежит сама идея использовать для определения роли второй гармоники интерференцию резонансного и нерезонансного путей ионизации и ее

проявление в вероятностях вылета электронов, — рассказывает Елена Грызлова. — Позже, совместно с профессором Светланой Страховой, нам удалось рассчитать величину эффекта, понять, будет ли он наблюдаем в принципе, и получить выражения для извлечения нужных характеристик из экспериментально измеренных параметров».

«Двухцветные» лазерные измерения, по словам авторов статьи, открывают целое поле для исследований физики ультрабыстрых процессов.

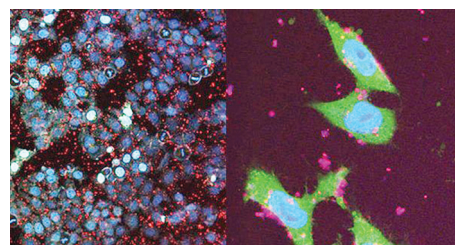
Как утверждает Елена Грызлова, уже сейчас учеными подана заявка для проведения на FERMI аналогичного эксперимента с более сложными, чем атом неона, системами — с молекулами. Они предполагают изучать сложные явления, имеющие отношение к каталитическим процессам и атмосферной химии.

«Мы ожидаем, — говорит Елена, — что это направление будет развиваться и дальше, поскольку проблема осуществления квантового управления и контроля — один из краеугольных вопросов фундаментальной физики».

“Coherent control with a short-wavelength free-electron laser”, K.C. Prince, E. Allaria, C. Callegari, R. Cucini, G. De Ninno, S. Di Mitri, B. Diviacco, E. Ferrari, P. Finetti, D. Gauthier, L. Giannessi, N. Mahne, G. Penco, O. Plekan, L. Raimondi, P. Rebernik, E. Roussel, C. Svetina, M. Trovt, M. Zangrando, M. Negro, P. Carpeggiani, M. Reduzzi, G. Sansone, A.N. Grum-Grzhimailo, E.V. Gryzlova, S.I. Strakhova et al. *Nature Photonics* 10, 176–179. (2016).

ФИЗИКИ ИЗ МГУ ЗАМЕНИЛИ ДЕШЕВЫМ КРЕМНИЕМ ДОРОГИЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МОНИТОРОВ

Международная команда исследователей, возглавляемая российскими учеными, разработала способ использовать наночастицы кремния вместо дорогостоящих полупроводниковых материалов, применяемых при производстве некоторых видов мониторов и других устройств оптоэлектроники. Способ, который другие исследовательские группы долго не могли обнаружить, описан учеными в статье, опубликованной в последнем номере журнала *Physical Review B*.



Физики из МГУ имени М.В. Ломоносова поняли, как можно «заставить» наночастицы кремния светиться в ответ на облучение достаточно сильно, чтобы заменить дорогостоящие полупроводники, используемые для изготовления мониторов. По словам Максима Щербакова, научного сотрудника отделения радиофизики физического факультета МГУ, разработанный учеными метод повышает эффективность фотолюминесценции наночастиц в несколько раз.

Ключевое слово в данной проблеме — фотолюминесценция (процесс, при котором материал, облучаемый коротковолновым излучением, начинает отвечать собственным свечением, но уже в другом диапазоне). В данном случае материал светится красным светом.

Мониторы, о которых здесь идет речь, работают на другом принципе — принципе электролюминесценции, когда свет излучается в ответ на воз-

действие электрическим током. Однако, несмотря на то, что сама по себе фотолюминесценция здесь не используется, понимание того, как усилить свечение материала, может существенно помочь при создании более эффективных электролюминесцентных приборов. Идеальными в этом смысле считаются полупроводниковые наночастицы — электроны в них ведут себя совершенно не так, как в объемном полупроводнике, и поэтому, как давно известно, являются отличными люминесцирующими объектами. Сегодня в качестве таковых используются нанокристаллы так называемых прямозонных полупроводников — арсенида галлия, фосфида индия и др. Это довольно дорого, и поэтому исследователи давно присматриваются к куда более дешевому и намного более изученному кремнию. Он тоже подходит для такого использования по всем параметрам, кроме одного — кремниевые наночастицы слишком слабо реагируют на

облучение и потому для оптоэлектроники не годятся.

Эту проблему в разных лабораториях мира пытаются решить с начала девяностых годов прошлого века, но до сих пор особенного успеха в этом направлении достигнуто не было. Прорывная идея о том, как все-таки «приручить» кремний, возникла в Германии, в Университете Гетеборга. Работавший там постдок, выпускник физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и первый автор статьи Сергей Дьяков предложил поместить массив кремниевых наночастиц в матрицу с неоднородной диэлектрической средой и покрыть эту матрицу золотыми нанополосками.

«Неоднородность среды, как уже было показано ранее в других экспериментах, благодаря так называемому квантоворазмерному эффекту позволяет увеличивать фотолюминесценцию нанокристаллов кремния на несколько порядков, — говорит один

из соавторов работы Максим Щербakov, научный сотрудник отделения радиофизики физического факультета МГУ. — Однако даже при этом эффективность взаимодействия света с нанокристаллами остается недостаточной. Было предложено усилить эту эффективность за счет плазмонов (квазичастицы, возникающие в результате колебаний электронного газа в металлах — прим. ред.). Плазмонные решетки, образованные нанополосками золота, позволяют “за-

держать” свет на малых масштабах, и позволяют ему эффективнее взаимодействовать с наночастицами, находящимися поблизости, в результате чего их излучение возрастает еще в несколько раз.

Проведенные в МГУ эксперименты с образцами «позолоченных» матриц с наночастицами кремния, изготовленных в Швеции, блистательно подтвердили теоретические предсказания, сделанные в Гетеборге — облученный ультрафиолетом кремний впервые за-

сиял вполне ярко для того, чтобы его использовать его на практике.

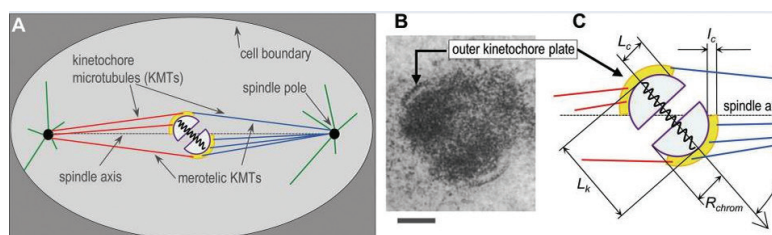
Optical properties of silicon nanocrystals covered by periodic array of gold nanowires. S.A. Dyakov, D.M. Zhigunov, A. Marinins, M.R. Shcherbakov, A.A. Fedyanin, A.S. Vorontsov, P.K. Kashkarov, S. Popov, M. Qiu, M. Zacharias, S.G. Tikhodeev, and N.A. Gippius. *Phys. Rev. B* 93, 205413. (2016).

ВЫПУСКНИК ФИЗФАКА МГУ СТАЛ ФИНАЛИСТОМ ПРЕСТИЖНОГО КОНКУРСА В ОБЛАСТИ КЛЕТОЧНОЙ БИОЛОГИИ



Анатолий Зайцев

Американское общество клеточной биологии (ASCB) среди финалистов престижной международной премии назвало выпускника кафедры биофизики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова 2010 года, научного сотрудника Центра теоретических проблем физико-химической фармакологии РАН Анатолия Зайцева. Впервые финалистом этого престижного международного конкурса стал ученый из России.



Zaytsev, A. V., Grishchuk, E.L. (2015) Basic mechanism for bi-orientation of mitotic chromosomes is provided by the kinetochore geometry and indiscriminate turnover of kinetochore microtubules. *Mol. Biol. Cell.* 26(22): 3985–98.

Анатолий Зайцев номинирован за исследования, которые существенно углубили знания человечества о том, как клетка организует процесс деления, выявляет и исправляет возможные ошибки распределения генетической информации при делении. Основная задача для делящейся клетки — поровну разделить хромосомы материнской клетки между двумя образующимися дочерними клетками. Для этой цели клетка заранее копирует каждую хромосому, однако оставался малоизученным клеточный механизм, позволяющий точно развести идентичные хромосомы в противоположные стороны по двум дочерним клеткам. Это критически важный этап деления, в котором могут возникать ошибки — дочерняя клетка может потерять или получить лишнюю

хромосому. Известно, что такие серьезные геномные аномалии могут приводить к возникновению онкологических опухолей в организме или серьезным врожденным генетическим отклонениям, как синдром Дауна.

Анатолий Зайцев: «Нам удалось понять, каким образом белковые комплексы на хромосомах делящейся клетки помогают их правильному разделению и уменьшают риск ошибок деления. Это было достигнуто благодаря комбинации экспериментов по реконструкции молекулярных процессов, происходящих в клетке на молекулярном уровне, и построению более общих математических моделей деления. Мы уверены, что наши фундаментальные исследования позволят прикладной науке лучше понимать причины и факторы возникно-

вения онкологических заболеваний, повлияют на разработку новых лекарственных препаратов и откроют новые горизонты в уменьшении рисков врожденных заболеваний».

Работа была выполнена Анатолием Зайцевым в Центре теоретических проблем физико-химической фармакологии Российской академии наук в группе профессора Фазоиля Иноятвича Атауллаханова и Университете Пенсильвании в группе профессора Екатерины Гришук.

Официальный сайт премии: <http://www.ascb.org/kaluzaprices/> ASCB предоставляет право победителям и финалистам конкурса рассказать о своих открытиях на крупнейшей конференции по клеточной биологии, которая состоится в начале декабря в Сан-Франциско.

СХЕМА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДИФфуЗИО-ОСМОТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ-ЗА ПЕРЕПАДА КОНЦЕНТРАЦИЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА

Профессор физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, заведующая лабораторией в ИФХЭ РАН Ольга Виноградова и младший научный сотрудник ее группы Салим Мадуар в составе международного коллектива ученых предложили новый метод управления микрочастицами на твердой поверхности в водной среде. Исследование опубликовано в *Scientific Reports* — журнале Nature Publishing Group.

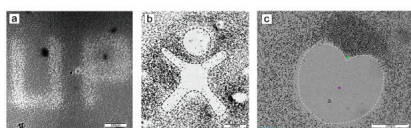
Ученые МГУ в составе международной группы предложили метод, основанный на добавлении к воде фотоочувствительного поверхностно-активного вещества (ПАВ), освещение которого лазером приводит к созданию быстрых течений воды, увлекающих частицы. Это позволяет манипулировать скоплениями частиц, например очищать поверхности от посторонних загрязнений без риска повреждения, а также, наоборот, создавать на поверхности упорядоченные массивы микро- и наночастиц нужной формы и размера.

Ключевым компонентом предложенного метода стал фотоочувствительный ПАВ, который под действием света определенной длины волны способен менять свою конформацию: в одном состоянии ПАВ напоминает палочку, а в другом — галочку. Если на раствор такого ПАВ посветить лазером, то молекулы, попавшие в световое пятно, поменяют конформацию, а в системе появится перепад концентрации «палочек» и «галочек»

Физики-теоретики из Москвы объяснили, что возникающий перепад концентраций вблизи заряженной твердой поверхности приводит к возникновению необычного эффекта: диффузио-осмотического течения воды. Эффект заключается в том, что маленькие частицы, лежащие на поверхности, увлекаются жидкостью и двигаются вместе с ней. Авторы работы показали, что, правильно подобрав длину волны лазера, можно заставлять частицы двигаться

в нужном направлении: выталкивать их из освещенного пятна или же, наоборот, стягивать к его центру. Системе удалось описать теоретически, что позволило найти оптимальные режимы, при которых скорость жидкости максимальна. Оказалось, что диффузио-осмотическое течение очень чувствительно к тому, соленая вода в системе или пресная: в первом случае скорость может упасть в несколько раз.

Строение фотоочувствительного ПАВ и пошаговые снимки движения суспензии микрочастиц под действием ультрафиолетового лазера.



Несмотря на то, что изначально целью нового метода была очистка деликатных поверхностей, таких как полупроводниковые кристаллы для микроэлектроники, ученые нашли несколько других необычных приложений. Напри-

мер, перемещая пятно лазера, можно «рисовать» на поверхности, так как за лазером будет оставаться видимый след с большей или, наоборот, меньшей концентрацией микрочастиц.

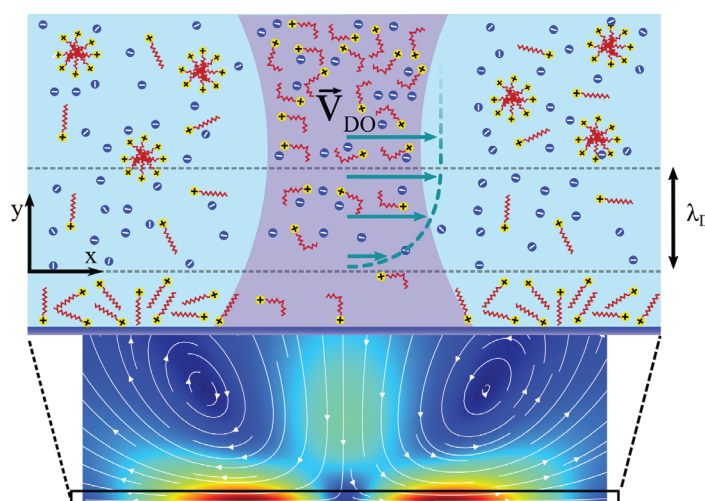
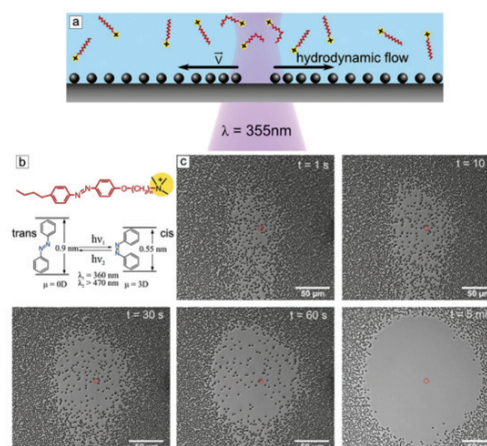


Схема возникновения диффузио-осмотического течения воды из-за перепада концентраций фотоочувствительного поверхностно-активного вещества.



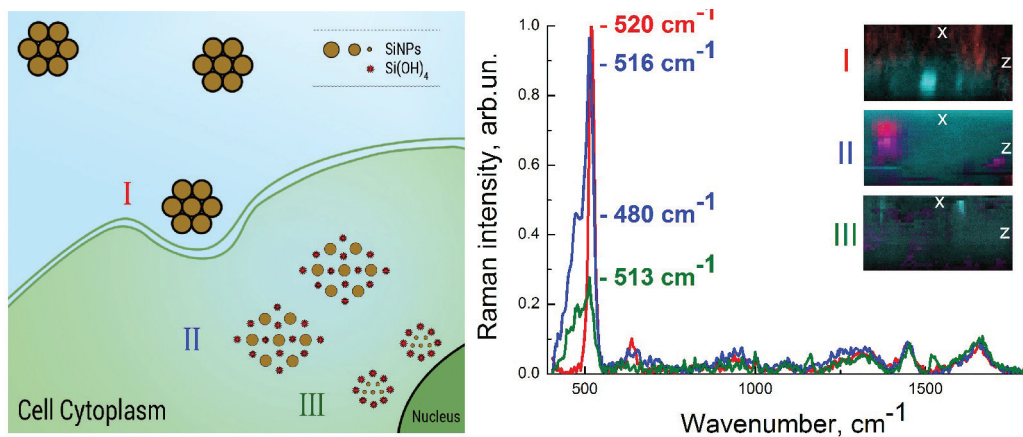
Благодаря наличию разных режимов течения, можно «рисовать» лазером прямо по суспензии частиц.

мер, перемещая пятно лазера, можно «рисовать» на поверхности, так как за лазером будет оставаться видимый след с большей или, наоборот, меньшей концентрацией микрочастиц.

“Manipulation of small particles at solid liquid interface: light driven diffusiophoresis”, D. Feldmann, S.R. Maduvar, M. Santer, N. Lomadze, O.I. Vinogradova & S. Santer. *Scientific Reports* 6, Article number: 36443 (2016).

НАНОЧАСТИЦЫ, КОТОРЫЕ ЛЕЧАТ РАК И НЕ НАНОСЯТ ВРЕДА ОРГАНИЗМУ

Исследователи из МГУ имени М.В. Ломоносова совместно со своими немецкими коллегами сумели доказать применимость кремниевых наночастиц для диагностики и лечения рака, впервые продемонстрировав их способность эффективно проникать в больные клетки и, выпустив заключенное в них лекарство, быстро разлагаться, не накапливаясь в организме. О деталях своей работы они рассказали в статье, опубликованной в последнем номере журнала *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*.



Слева: Схематическое изображение процессов биодegradации кремниевых наночастиц: (I) локализация наночастиц на мембране клетки; (II), проникновение наночастиц в цитоплазму клетки, сопровождающееся частичной биодegradацией наночастиц; (III) полное растворение.

Направление, в котором работают ученые, называется тераностика. Данный термин, составленный из слов «терапия» и «диагностика», обозначает процесс одновременной диагностики болезни и ее лечения. Одно из применений тераностики — выявление и лечение ряда онкологических заболеваний с помощью наночастиц, наполненных лекарством и адресно попадающих внутрь раковой клетки. Сегодня многие из таких наночастиц не отвечают требованию биосовместимости. По словам одного из участников исследования Любови Осминкиной (старший научный сотрудник физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова), при вводе в организм наночастицы действуют быстро, попадают куда нужно, вылечивают то или иное заболевание, однако спустя месяцы у пациента начинают болеть печень, почки, легкие или даже голова.

«Все потому, что наночастицы золота, серебра, оксида титана, селенида кадмия и огромное множество других фактически из организма не выводятся, — поясняет Любовь Осминкина. — При попадании в кровоток они застревают во внутренних органах и спустя некоторое время начинают наносить вред организму за счет пролонгированных токсических эффектов».

В поисках не только биосовместимых, но и биодegradируемых транспортировщиков для адресной доставки лекарств ученые обратили внимание на кремний. Наночастицы, «сотканые» из него, точно не повредят организму — и даже помогут, — поскольку результатом их распада является кремниевая кислота, необходимая организму для укрепления костей и роста соединительных тканей.

Как раз этими наночастицами и занималась Любовь Осминкина, когда получила в 2013 году грант DAAD-МГУ

«Владимир Вернадский» (совместная программа научно-исследовательских стажировок МГУ и Германской службы академических обменов DAAD) для получения фотолуминесцентных наночастиц из пористых кремниевых нанонитей для тераностики. Работать она поехала в Йену, в Институт фотонных технологий (Leibniz Institute of Photonic Technology), одним из основных направлений деятельности которого является биофотоника — применение оптических методов для исследования живых систем. Особое внимание молодой сотрудницы МГУ привлекла используемая здесь рамановская микро-спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния света).

В основе рамановской спектроскопии лежит способность молекул к так называемому неупругому рассеянию монохроматического света, которое сопровождается изменением их внутреннего состояния и, соответственно, изменением частоты излучаемых в ответ фотонов. Этот вид спектроскопии отличает относительная простота и обилие получаемой информации — достаточно осветить вещество лазером и проанализировать спектр полученного излучения. В Институте фотонных технологий среди многих других оптических методов использовалась и рамановская микро-спектроскопия. С ее помощью ученые сканировали содержимое живой клетки и, сравнивая полученные спектры, выстраивали картину того, что и где в ней находится.

«Именно тогда мне и пришла в голову идея провести исследование биодegradации наночастиц с помощью рамановской микро-спектроскопии, — рассказывает ученый. — Эта методика позволяла не только определить местонахождение наночастицы в клетке (сигналы от кремния и компонентов клетки находятся на различных частотах), но

и наблюдать за процессом ее распада. Последнее стало возможно потому, что, как уже было известно, рамановский спектр от кремниевой наночастицы зависит от ее размера — чем она меньше, тем он становится шире и сдвигается в сторону более низких частот».

Успешно завершив исследование по своему гранту, Осминкина выигрывает еще один грант DAAD-МГУ — теперь на реализацию своей новой идеи — и снова едет в Йену. Суть нового исследования Осминкиной и ее коллег сводилась к тому, что клетки рака молочной железы инкубировались с кремниевыми наночастицами размером 100 нм и затем, в частности, рамановским микро-спектрометром ученые наблюдали за происходящим в клетках в течение различного времени: от 5 часов до 13 суток. По рамановским спектрам и восстановленным из них изображениям частиц и клеток они увидели, как в первые 5–9 часов наночастицы локализуются на клеточных мембранах, за последующие сутки проникают внутрь клетки и потом начинают биodeградировать, о чем свидетельствовало уменьшение амплитуды сигнала, расширение

спектра и появление пика от аморфной фазы кремния. На 13-е сутки наночастицы полностью растворяются и сигнал пропадает.

«Таким образом, — говорит Любовь Осминкина, — мы впервые доказали, что пористые кремниевые наночастицы могут служить совершенно безвредным для организма агентом для тераностики многих онкологических заболеваний. Они не только легко проникают в большую клетку, но, если их напитать через поры лекарством, могут выпускать его в ней в процессе своего распада. Считаю, что результаты нашей работы имеют огромное значение в перспективе создания лекарств на основе биосовместимых и биodeградируемых наночастиц кремния».

“Studies of silicon nanoparticles uptake and biodegradation in cancer cells by Raman spectroscopy”, E. Tolstik, L.A. Osminkina, Ch. Matthäus, M. Burkhardt, K.E. Tsurikov, U.A. Natashina, V.Yu. Timoshenko, R. Heintzmann, Ju. Popp, V. Sivakov. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* V. 12, Iss. 7, 1931–1940, (2016).

НОВЫЙ ТИП ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ГРАНИЦЕ ДВУХ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ

Российские ученые из МГУ имени М.В. Ломоносова провели на суперкомпьютере «Ломоносов» моделирование поведения полимерных микрогелей, адсорбированных на жидких межфазных границах, и создали теорию, описывающую их свойства. Работа была опубликована в высокорейтинговом журнале *Soft Matter*.

«Основной вывод — микрогели, подобные тем, которые мы изучаем, могут быть использованы в качестве компатибилизаторов (“смесителей”) несмешивающихся жидкостей, и, например, играть роль эффективных катализаторов в химических реакциях», — рассказывает главный автор статьи, профессор кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор физико-математических наук Игорь Потемкин.

Главный результат работы состоит в том, что были изучены набухание и коллапс одиночных макромолекул — микрогелей — на межфазной границе двух несмешивающихся жидкостей. Ученые показали, что микрогели, находясь на межфазной границе, деформируются («растекаются» на границе), пытаясь минимизировать площадь невыгодных контактов двух жидкостей, тем самым уменьшая поверхностную энергию межфазной границы. При этом жидкости, будучи разделенными на две фазы вне микрогеля, могут полностью смешиваться внутри микрогеля.

Микрогели представляют собой шитые в пространственную сетку линейные полимерные цепочки, удерживающие в себе растворитель. Размер микрогелей варьируется от десятков нанометров до нескольких микрон. Использование микрогелей в качестве стабилизаторов эмульсий в настоящий момент является очень актуальной научно-практической задачей. В отличие от классических стабилизаторов, таких как твердые частицы (эмульсии

Пикеринга), микрогели, являясь «мягкой» материей, обладают откликом на внешние воздействия: их размеры могут контролироваться путем изменения температуры, pH, концентрацией соли в растворе и т.д. Это позволяет контролировать стабильность эмульсий, размер капель, а также разрушать эмульсии при необходимости.

Для решения научной задачи учеными была разработана теория набухания и коллапса одиночных микрогелей на межфазной границе двух жидкостей на основе решеточной модели. В работе использовались методы компьютерного моделирования с использованием кода, работающего на суперкомпьютерах (результаты были получены на суперкомпьютере «Ломоносов»).

«Научная ценность данной работы в первую очередь заключается в пионерских исследованиях свойств микрогелей на жидких межфазных границах. Предсказание о смешиваемости жидкостей внутри микрогелей имеет важное значение для использования микрогелей в качестве катализаторов химических реакций, когда несмешивающиеся реагирующие компоненты смешиваются внутри микрогелей», — комментирует Игорь Потемкин.

“A polymer microgel at a liquid–liquid interface: theory vs. computer simulations”, A.M. Romyantsev, R.A. Gumerov and I.I. Potemkin. *Soft Matter*, 12, 6799–6811. (2016).



Научный сотрудник
кафедры магнетизма физического факультета МГУ

Ирина Владимировна СОБОЛЕВА

за работу “Блоховские поверхностные электромагнитные
волны в фотонных кристаллах”

получила национальную стипендию
L'Oréal-UNESCO “**Для женщин в науке**”,

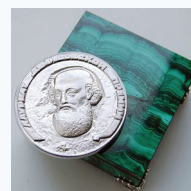
ежегодно вручаемую женщинам моложе 35 лет,
с целью поддержания развития научной карьеры в России.

Стипендия действует в 112 странах,
в России каждый год ее вручают лишь 10 женщинам.



Лауреатом одной из старейших российских наград
для ученых — **Демидовской премии** — по физике
за «основополагающий теоретический вклад
в фундаментальные направления физики:
квантовую теорию поля,
физику элементарных частиц,
гравитацию, теорию ранней Вселенной»
стал заведующий кафедрой
физики частиц и космологии
физического факультета МГУ

академик



Валерий Анатольевич
РУБАКОВ

Поздравляем!

Указом Президента РФ № 481 от 20 сентября 2016 года
за выдающиеся заслуги
в области научно-исследовательской деятельности
и многолетнюю плодотворную работу
заведующий кафедрой оптики, спектроскопии и физики нано-
систем
физического факультета МГУ,
президент Национального исследовательского центра
“Курчатовский институт”, член-корреспондент РАН



Михаил Валентинович
КОВАЛЬЧУК

награжден орденом
“ЗА ЗАСЛУГИ ПЕРЕД ОТЕЧЕСТВОМ II степени”



Указом Президента РФ
№ 432 от 26.08.16 года
за большой вклад в развитие науки,
образования, подготовку
квалифицированных специалистов
и многолетнюю плодотворную работу

профессор
Владимир Анатольевич
МАКАРОВ

награжден
Медалью ордена
«ЗА ЗАСЛУГИ ПЕРЕД ОТЕЧЕСТВОМ I СТЕПЕНИ»



Указом Президента РФ
№ 572 от 26.10.16 года
за большой вклад в развитие науки,
образования, подготовку
квалифицированных специалистов
и многолетнюю плодотворную работу



профессор
Александр Петрович
ЧЕРНЯЕВ

награжден
Медалью ордена
«ЗА ЗАСЛУГИ ПЕРЕД ОТЕЧЕСТВОМ I степени»



Поздравляем!

6 ИЮЛЯ НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ МГУ СОСТОЯЛОСЬ ТОРЖЕСТВЕННОЕ ОТКРЫТИЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ЛИТОГРАФИИ И МИКРОСКОПИИ

6 июля на физическом факультете МГУ состоялось торжественное открытие учебно-методического центра литографии и микроскопии. В церемонии открытия приняли участие ректор МГУ академик Виктор Антонович Садовничий, декан физического факультета Николай Николаевич Сысоев и управляющий группы компаний ОПТЭК, представляющей концерн Carl Zeiss и компанию Raith в России, Максим Семенович Игельник.



Учебно-методический центр литографии и микроскопии — результат сотрудничества Физического факультета МГУ и концерна Carl Zeiss — лидера в области электронной микроскопии. В 2014 году было подписано соглашение о сотрудничестве и принято решение о создании Центра. На сегодняшний день помещения Центра являются первыми в Московском университете помещениями, сертифицированными по классам чистоты для работ в области нанoeлектроники. Полученный при создании Центра опыт будет применен при реализации проекта научно-технологической долины «Воробьевы горы». «Это первая лаборатория в стенах физического факультета, где оборудована и сертифицирована чистая комната, созданы все условия не только для научной работы, но и для изготовления прототипов устройств современной нанoeлектроники. Направления работы самые разные: это нанoeлектроника, одноэлектроника, сверхпроводниковая электроника, разработка и исследования молекулярных и одноатомных структур, полевых и зарядовых сенсоров с нанометровым пространственным разрешением, наноразмерных биосенсоров, нанoeлектромеханических систем и многое другое. В лаборатории будут проводиться работы по междисциплинарным проектам с привлечением научных групп других факультетов и подразделений МГУ», — рассказывает профессор Николай Николаевич Сысоев, декан физического факультета МГУ.

Центр снабжен новейшим оборудованием, которое позволит проводить фундаментальные исследования и решать прикладные задачи. В чистых помещениях центра установлено современное оборудование для прецизионной электронной литографии и для электронной и оптической микроскопии: растровый электронный микроскоп ZEISS Supra 40 в комплексе с электронно-литографической системой RAITH Elphy, на апробации впервые в России находятся электронный микроскоп ZEISS GeminiSEM 300. Ученые физического факультета рассказали Виктору Антоновичу о новых уникальных возможностях современных электронных микроскопов. «Мы сделали шаг, который будет способствовать развитию международных контактов и обмену научной информацией. Наше партнерство поможет ученым МГУ проводить исследования на самом высоком уровне, а концерну ZEISS создавать и улучшать свои технологии, и первые результаты работы центра это подтверждают», — говорит Максим Семенович Игельник, управляющий группы компаний ОПТЭК, представляющий концерн Carl Zeiss и компанию Raith в России.

На базе Учебно-методического центра литографии и микроскопии будут активно проводиться совместные образовательные мероприятия, в том числе международные: мастер-классы, лекции, научно-практические семинары. Помимо учебных целей, центр предназначен и создает условия для успешного решения задач приоритетных направлений фундаментальных науч-



ных исследований в МГУ в области индустрии наносистем и материалов: центр станет базой для реализации проекта Российского Научного Фонда «Твердотельные одноатомные структуры как элементы компонентной базы для квантовых технологий», направленного на создание и исследование транзисторов на основе одиночных примесных атомов и развития элементной базы информационных систем нового поколения, в нем будут выполняться такие проекты как: проект РФФИ «Экспериментальное и теоретическое исследование полевых и наномеханических сенсоров на основе кремниевого транзистора с каналом-нанопроводом», межфакультетский междисциплинарный проект РФФИ «Разработка мультисенсорной диагностической системы на основе

полевых транзисторов с каналом-нанопроводом для исследования биоспецифических взаимодействий», выполняемый совместно с химическим факультетом МГУ, международный проект Минобрнауки «Разработка наносенсорной биоманитной тест-системы на основе нуклеиновых кислот для быстрого детектирования заболеваний разной этиологии», выполняемый физическим факультетом совместно с НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского и Chalmers University of Technology (Швеция), проект Минобрнауки «Разработка физических основ технологии получения высокотемпературных сверхпроводящих проводов 3-го поколения и исследование их характеристик».

УЧЕНЫЕ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА НА ФОРУМЕ «АРМИЯ-2016»



Ученые физического факультета продемонстрировали новейшие телекоммуникационные системы связи и радиоэлектронные устройства, такие как радиорелейные линии, сверхширокополосные антенны, измерительные радиоприемные устройства, векторные генераторы сигналов. Особый интерес вызвали системы связи для беспилотных летательных аппаратов и радиолокационные устройства. Кроме того, в числе представленных образцов были акустооптические перестраиваемые фильтры, созданные для обработки оптических изображений и фильтрации световых пучков в УФ, видимом и ИК диапазонах. Также на стенде экспонировались вентильные двигатели с монолитными неоднородно-намагниченными магнитными системами, обладающие высоким КПД более 95%. Надо отметить, что некоторые разработки лабораторий физического факультета были представлены на закрытых показах специально для представителей Министерства обороны РФ.

Физический факультет МГУ представил на международном военно-техническом форуме «Армия-2016» последние разработки в области квантовой оптики, фотоники, акустооптики, двигателестроения, радиоэлектроники и физики микроволн.

Форум проходил с 6 по 11 сентября 2016 года в Конгрессно-выставочном центре Военно-патриотического парка культуры и отдыха Вооруженных Сил Российской Федерации «Патриот» в подмосковной Кубинке. Научно-деловая программа форума была направлена на поиск и обсуждение новых идей, достижений науки и выработку технологических и технических решений по их реализации.





СЕРГЕЙ ЮРЬЕВИЧ НИКИТИН
Доцент кафедры общей физики и волновых процессов, доктор физ.-мат. наук. Защитил докторскую диссертацию 25 января 2016 г. на заседании Диссертационного совета Д 212.243.05 на базе Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского.

Тема диссертации:
РАССЕЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОДНОРОДНЫХ ГАЗОВЫХ И В ЖИДКИХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ

Диссертация посвящена разработке новых методов генерации оптического излучения и диагностики вещества, включая живую материю. В работе представлены исследования обратного вынужденного комбинационного рассеяния и нестационарного когерентного антистоксова рассеяния света в газах, а также рассеяния лазерного пучка в жидкой дисперсной среде, представляющей собой суспензию красных клеток крови.

Предложен преобразователь частоты лазерного излучения, основанный на эффекте обратного вынужденного комбинационного рассеяния света. Показано, что преобразователь этого типа отличается компактностью и высокой эффективностью. Экспериментально продемонстрирована рекордно высокая эффективность преобразования лазерного излучения в излучение обратной стоксовой компоненты (96% по квантам) в кювете со сжатым водородом длиной 7 сантиметров.

Разработана теоретическая модель, позволяющая проводить сверхбыстрые измерения

давления и температуры газов на основе процесса нестационарного когерентного антистоксова рассеяния света. Показано, что с помощью пикосекундных лазерных импульсов можно измерить давление и температуру в заданной точке газообразной среды за время порядка одной миллиардной доли секунды.

На основе анализа рассеяния лазерного пучка частицами, моделирующими клетки крови, предложены новые алгоритмы обработки данных в лазерной дифрактометрии эритроцитов в сдвиговом потоке (экстацитометрии). Эти алгоритмы позволяют оценивать параметры распределения клеток крови по деформируемости, а именно, среднюю деформируемость, дисперсию деформируемости и асимметрию распределения эритроцитов по деформируемости. Такие измерения важны для диагностики и лечения многих заболеваний, в том числе таких широко распространенных как сердечно-сосудистые заболевания и сахарный диабет.



Елена Алексеевна ЗВЕРЕВА с.н.с. кафедры физики низких температур и сверхпроводимости. Защитила докторскую диссертацию 17 ноября 2016 г. на заседании Диссертационного совета Д.501.001.70 при МГУ имени М.В. Ломоносова.

Тема диссертации:
МАГНИТНЫЕ ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ И СПИНОВАЯ ДИНАМИКА КВАЗИДВУМЕРНЫХ МАГНЕТИКОВ

ных систем, включая, например, каскады спин-переориентационных фазовых переходов, плато намагниченности, локализованные магны в непосредственной близости от поля насыщения, индуцированные магнитным полем нестабильности спин-пайерлсовского типа, гигантский магнитокалорический эффект, мультиферроичность, скирмионовые (вихревые) фазы, волны спиновой и зарядовой плотности, бозе-эйнштейновская конденсация и т.д. Конкуренция обменных взаимодействий в низкоразмерных спин-фрустрированных системах часто приводит к необычному критическому поведению вблизи фазовых переходов и экзотическим квантовым состояниям материи, таким как, например, спиновый лед или спиновая жидкость.

В диссертационной работе Зверевой Е.А. впервые исследован целый ряд новых квазидвумерных магнетиков с различной геометрией обменных связей, включая системы с решеткой типа пчелиных сот, с треугольной решеткой, с решеткой кагоме, с алмазной решеткой, страйп-структуры и др. Оригинальный методический подход с использованием комплементарных методов объемной магнитометрии и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) позволил наиболее полно охарактеризовать статические и динамические свойства новых магнетиков. В диссертации были получены приоритетные данные

об основных закономерностях формирования основного квантового состояния, в том числе нетривиальных основных состояний в двумерных магнетиках, установлены магнитные фазовые диаграммы. Среди наиболее значимых полученных в диссертации фундаментальных результатов, особо стоит отметить следующие. В двумерных магнетиках с гексагональной решеткой («пчелиные соты») обнаружено нетривиальное антиферромагнитное состояние типа зигзаг, кроме того выявлено специфическое орбитальное упорядочение в антимоноате кобальта-серебра, которое индуцирует выраженную иерархию обменных взаимодействий в магнитоактивных слоях. На основе анализа спиновой динамики нового треугольного антиферромагнетика антимоноата лития-железа, проявляющейся в спектрах ЭПР, сделан принципиально важный вывод о возможности топологического перехода Березинского-Костерлица-Таулеса на треугольной решетке с образованием вихревой спиновой фазы. При исследовании двумерного фосфита натрия-железа со сложной геометрией магнитных связей продемонстрировано уникальное сосуществование двумерной и трехмерной спиновой динамики в одном и том же соединении. Кроме того, в работе, обнаружен целый ряд новых цепочечных (квазиодномерных) магнитных структур, и сделаны важные выводы о взаимосвязи размерности магнитной подсистемы и спиновой динамики.

Низкоразмерный магнетизм является одним из наиболее актуальных и быстро развивающихся направлений современной физики конденсированного состояния, что обусловлено перспективами изучения в квазиодномерных и квазидвумерных соединениях квантовых эффектов, не имеющих аналогов в классической физике.

Возможность установления дальнего магнитного порядка в низкоразмерных магнетиках значительно ограничена из-за сильных флуктуаций магнитного параметра порядка и важной роли фрустрации и анизотропии.

Большое количество увлекательных явлений возникает для таких фрустрирован-

ПЕТР НИКОЛАЕВИЧ ЛЕБЕДЕВ И РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ (к 150-летию со дня рождения)

Доклад на Ученом Совете физического факультета МГУ 27 октября 2016 года (Заседание, посвященное 150-летию со дня рождения Петра Николаевича Лебедева (совместно с Физическим институтом имени П.Н. Лебедева РАН)).

В работе исследовано влияние деятельности выдающегося русского физика Петра Николаевича Лебедева на развитие физики в Московском университете.

Введение

В 2016 году исполнилось 150 лет со дня рождения выдающегося русского физика Петра Николаевича Лебедева. Он обладал исключительно широкими научными интересами: природа молекулярного взаимодействия, пондеромоторное действие волн на резонаторы, световое давление, астрофизика, X-лучи, радиоактивность и многое другое [1]. Мировую известность П.Н. Лебедеву принесли исследования по определению светового давления на твердые тела и газы.

Не менее важной областью деятельности П.Н. Лебедева явилась подготовка учеников (в количестве, не виданном до этого не только в Московском университете, но и в России), которые обеспечили преемственность его исследований. Поэтому его называют основателем научной школы физиков, которая оказала большое влияние на развитие этой науки в России.

Многие из учеников П.Н. Лебедева работали в Московском университете и в дальнейшем определили ведущие позиции университета в данной области. Ряд из них стал в свою очередь, следуя своему учителю, также основателями собственных научных школ.

Аспекты деятельности П.Н. Лебедева были обусловлены коренными изменениями, которые произошли в Московском университете во второй половине XIX века. П.Н. Лебедев работал в тесном контакте сначала с А.Г. Столетовым, а затем с Н.А. Умовым. Большое влияние оказали и внешние факторы, обстановка в университете и стране, которые сложились в конце XIX–начале XX века.

1. Коренные перемены в преподавании физики и научных исследованиях в Московском университете во второй половине XIX в.

Во второй половине XIX века в Московском университете происходят радикальные изменения в преподавании физики. М.Ф. Спасский (заведовал кафедрой в 1839–1859 годах) установил следующий порядок в преподавании физики: для студентов первого курса читалась опытная физика, а для студентов третьего и четвертого курсов — математическая физика. После того, как Фуко поставил свой опыт с маятником в 1851 году, М.Ф. Спасский в том же году повторил этот опыт в Московском университете, что вызвало широкий не только научный, но и общественный интерес.

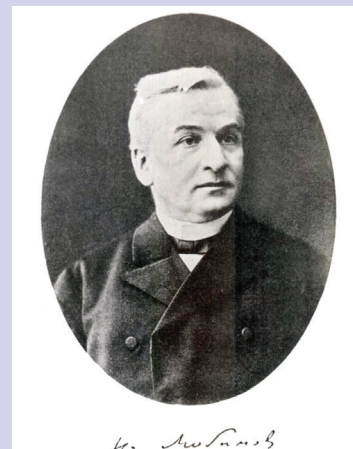
Что касается Н.А. Любимова (заведовал кафедрой в 1859–1882 гг.), то, как писал впоследствии Н.А. Умов, «он сразу поднял преподавание физики в Московском университете своим талантливым изложением, популяризацией науки и стремлением довести преподавание до уровня, с которым он познакомился в своей заграничной поездке» [2]. В 1871 году Н.А. Любимов и А.Г. Столетов направили мотивированное представление Совету университета о необходимости открытия лаборатории. В 1872 году физическая лаборатория была создана.

Во время заведования кафедрой А.Г. Столетовым (1882–1893) проводятся регулярные научные исследования в лаборатории. На кафедре в 1884 году появляется еще один профессор — А.П. Соколов, ученик А.Г. Столетова.

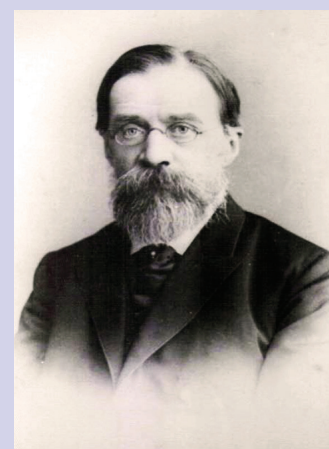
С приходом на кафедру Н.А. Умова (заведовал кафедрой в 1893–1911 годах) на ка-



Петр Николаевич Лебедев
(1866–1912)



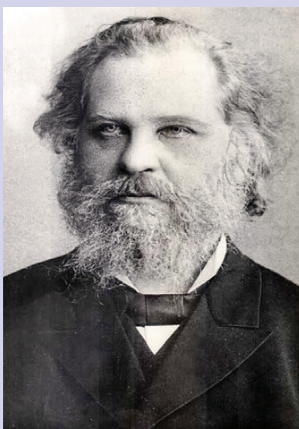
Николай Алексеевич Любимов
(1830–1897)



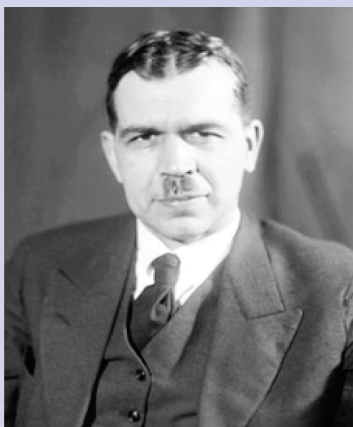
Александр Григорьевич Столетов
(1839–1896)



Здание («ректорский домик»), в котором была открыта в 1872 году первая физическая лаборатория в Московском университете. Октябрь 2016 г.



Николай Алексеевич Умов
(1846–1915)



Сергей Иванович Вавилов
(1891–1951)

федре (до смерти А.Г. Столетова в 1896 г.) работали уже три профессора.

В результате возможности кафедры по преподаванию физики и проведению научных исследований расширяются. Расширяется и тематика научных исследований.

2. П.Н. Лебедев и А.Г. Столетов. Первые годы в Московском университете

В 1891 году П.Н. Лебедев защищает докторскую диссертацию «Об измерении диэлектрических постоянных паров и о теории диэлектриков Моссоти-Клаузиуса» в Страсбургском университете и в том же году возвращается в Москву. Через своего друга по Страсбургу Б.Б. Голицына П.Н. Лебедев связался с А.Г. Столетовым, и тот пообещал принять его на работу в качестве внештатного ассистента. Зачисление состоялось 18 марта 1892 года.

А.Г. Столетов предоставил П.Н. Лебедеву возможность устроить для своих исследований маленькую лабораторию. В то время физическая лаборатория помещалась на втором этаже двухэтажного здания во дворе университета на Моховой улице, 11 (ректорский дом, бывший дом Волконских).

П.Н. Лебедев сразу же приступил к созданию лаборатории и исследованиям. В 1895 году он впервые создал комплекс устройств для генерирования и приема миллиметровых электромагнитных волн с длиной 6 и 4 мм, установил их отражение, двойное преломление, интерференцию и т.д. [3]. В 1896 году им создается рентгеновская установка и проводятся исследования с X-лучами.

С 1894 по 1897 годы, с перерывами, П.Н. Лебедев исследует механическое действие волн на резонаторы.

3. П.Н. Лебедев и Н.А. Умов. Проект Физического института при Московском университете

В 1897 году Н.А. Умов, А.П. Соколов, П.Н. Лебедев совместно с архитектором Е.М. Быковским подготовили проект Физического института. Здание института было официально от-

крыто в 1903 году.

Успешно прочитав несколько обязательных публичных лекций, в 1896 году П.Н. Лебедев становится приват-доцентом.

В 1896 году А.А. Беккерель открывает естественную радиоактивность. А уже в 1897–1898 гг. П.Н. Лебедев занимается исследованием лучей Беккереля.

Свою диссертацию «Экспериментальные исследования пондеромоторного действия волн на резонаторы» он представил в 1899 году на соискание ученой степени магистра физики. Н.А. Умов и А.П. Соколов рекомендовали Совету университета присудить Лебедеву ученую степень доктора наук, минуя степень магистра. 28 февраля 1900 года П.Н. Лебедева утвердили экстраординарным профессором Московского университета.

4. Давление света

В 1899 году П.Н. Лебедев проводит эксперименты по определению давления света на твердые тела. 17 мая 1899 года он сделал доклад об экспериментальном доказательстве существования светового давления Обществу естествоиспытателей в Лозанне (Швейцария).

На Международном конгрессе физиков в Париже в 1901 году им также был сделан доклад. В том же году в «ЖРФХО» вышла статья П.Н. Лебедева «Опытное исследование светового давления».

Работы П.Н. Лебедева по световому давлению вызвали широкий международный резонанс. Его статья была перепечатана во многих журналах. П.Н. Лебедев получил известность и признание. С.И. Вавилов писал: «...Работы Лебедева по световому давлению — это не отдельный эпизод, но важнейший экспериментальный узел, определивший развитие теории относительности, теории квантов и современной астрофизики... Не только историк, но исследователь-физик еще долго будут прибегать к работам П.Н. Лебедева как к живому источнику».

5. XX век

Когда было построено новое здание, предназначенное специально для физического института Московского университета, Н.А. Умов,

А.П.Соколов и П.Н.Лебедев согласились учредить при институте три отделения и разделить на равные части ассигнованные на лабораторные исследования средства. Но собрание заведующих учебно-вспомогательными учреждениями университета отклонило этот проект и выделило на оборудование отделения П.Н. Лебедева всего 583 рубля.

В 1904 году П.Н. Лебедеву дана была премия Академии наук, которая давалась российским ученым за наилучшие достижения, и одновременно его избрали членом-корреспондентом Российской Академии наук.

21 июня 1906 года П.Н. Лебедев получил звание ординарного профессора Московского университета. К концу 1907 года, преодолев большие сложности, он осуществил серию экспериментов по измерению сил светового давления на газы.

В знак протеста против действия министра просвещения, уволившего ректора университета и его помощника, которые фактически отказались выполнять циркуляр, обязывающий администрацию российских университетов незамедлительно сообщать в органы полиции о политических сходках студентов в стенах учебных заведений, из Московского университета ушел ряд профессоров и сотрудников. После долгих и мучительных раздумий ушел и П.Н. Лебедев.

В 1911 году отмечалось двухсотлетие со дня рождения М.В. Ломоносова. В связи с этим П.Н. Лебедев опубликовал статью "Памяти первого русского ученого". В завершении статьи он писал: "Забывая об успехах науки, общество будет заботиться о себе самом...".

Петр Николаевич принял предложение Городского университета имени А.Л. Шанявского и на частные средства организовал новую физическую лабораторию. В подвале частного дома (Мертвый переулок) были продолжены исследования, начатые еще в Московском университете, в том числе по изучению природы гемагнетизма. Но состояние здоровья ученого ухудшилось. он отправляется на лечение в Гейдельберг, оставив лабораторию на попечение своего помощника П.П. Лазарева. Возвратившись в Москву, П.Н. Лебедев начинает активно пропагандировать идею о создании Московского научного института по типу "Клиническо-

го городка", построенного в Москве на частные пожертвования. План нового здания был разработан П.Н. Лебедевым при участии архитектора А.Н. Соколова. Его воздвигли на Миусской площади уже после смерти ученого. 14 марта 1912 года П.Н. Лебедев умер. Он похоронен на Новодевичьем кладбище.

Заключение

Первыми учениками П.Н. Лебедева были П.Б. Лейберг, В.Я. Альтберг, В.Д. Зернов, Н.П. Неклепаев, Н.А. Капцов, Т.П. Кравец, А.Р. Колли, В.И. Романов. Н.А. Капцов писал: "П.Н. Лебедев принадлежал к тем людям, которые не только сами двигают науку вперед, но и вовлекают в эту работу молодое поколение". В начале XX века их число значительно возрастает.

В 1905 году в лабораторию к П.Н. Лебедеву приходит П.П. Лазарев, выпускник медицинского факультета Московского университета (1901). В 1903 году он сдал экстерном экзамены за физико-математический факультет. П.П. Лазарев становится помощником и сподвижником П.Н. Лебедева. После смерти П.Н. Лебедева он сохранил его Московскую школу физиков.

Х.А. Лоренц, лауреат Нобелевской премии по физике за 1902 год, писал: «Я считал его одним из первых и лучших физиков нашего времени и восхищался тем, как он в последний год при неблагоприятных условиях сумел поддержать в целостности основанную им Московскую школу и нашел возможность продолжить общую работу...».

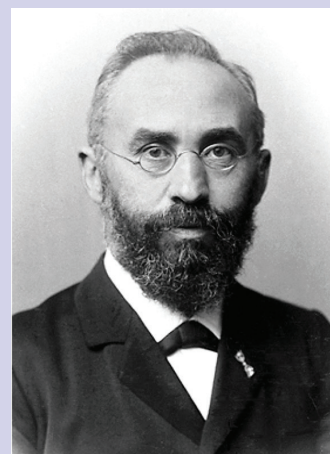
В дальнейшем целый ряд учеников П.Н. Лебедева, а также учеников "во втором поколении", работали в Московском университете и во многом определили здесь характер развития физики.

Литература

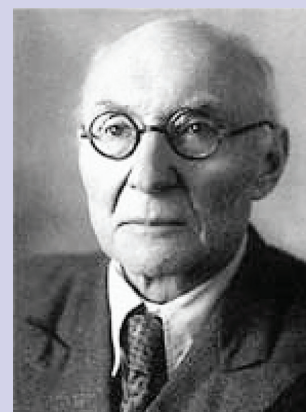
1. Лебедев П.Н. Собрание сочинений. Под ред. Т.П.Кравца и др. М.: изд-во АН СССР, (1963).
2. Николаев П.Н. Михаил Васильевич Ломоносов - наш первый университет //УФН, т. 181 - с 11. - С. 1195, (2011).
3. Николаев П.Н., Николаева О.П. История и методология физики. Т. 3. М., (2015).



Здание, открытое в 1903 году как Физический институт при Московском университете. Октябрь 2016 года.



Хендрик Антон Лоренц (1853–1928)



Николай Александрович Капцов (1883–1966)



Улица им. П.Н. Лебедева



Улица им. П.Н. Лебедева



Памятник П.Н. Лебедеву перед физическим факультетом.

Бюллетень «НОВОСТИ НАУКИ»
 © 2016 Физический факультет МГУ
 Под ред. Н.Н. Сысоева, В.Н. Задкова,
 А.А. Федянина, Н.Б. Барановой
 Дизайн и верстка: И.А. Силантьева
 Фотограф С.А. Савкин
 Подписано в печать 12.12.16 Тираж 400 экз.
 Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
 119991, Москва ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
 Отпечатано с готового оригинал-макета
 в типографии «ООО Флайт-арт»

ISSN 2500–2384



ИННОВАЦИОННЫЕ УЧЕБНИКИ ПО ФИЗИКЕ В ДАР УНИВЕРСИТЕТСКОЙ ГИМНАЗИИ

8 сентября декан физического факультета МГУ Николай Николаевич Сысоев и заведующий кафедрой общей физики физфака, руководитель образовательного направления «Физика» в Университетской гимназии Александр Михайлович Салецкий передали в дар гимназистам 100 учебников по физике для 10 класса.

Учебники разработаны с учетом требований образовательных стандартов второго поколения, введенных в действие в 2014 году. Авторы инновационных учебников — сотрудники кафедры общей физики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

На фото слева направо: проф. А.М. Салецкий, проф. Н.Н. Сысоев, директор Университетской гимназии доц. А.С. Воронцов и доц. П.Ю. Боков.



Новое структурное подразделение МГУ — Университетская гимназия — это многопрофильный инновационный научно-образовательный комплекс, реализующий лучшие отечественные психолого-педагогические традиции и современные подходы в обучении и воспитании национально-ориентированной научно-технической и гуманитарной элиты.

Методологической платформой Программы развития Университетской гимназии является фундаментальный анализ сложных систем, обосновывающий прогностические сценарии развития природы, общества и человека. Такой подход позволит будущим выпускникам гимназии самостоятельно работать с информацией, находить и принимать ответственные решения в критических ситуациях, когда человек сталкивается с новыми вызовами и неопределенностями.

Педагогический коллектив Университетской гимназии составляют профессор, преподаватели и научные сотрудники, координаторы научно-исследовательских проектов, аспиранты Московского университета, школьные учителя.

Образовательный процесс в гимназии предполагает сочетание классно-урочной системы с нелинейными формами организации занятий. Индивидуализированное и модульное обучение планируется осуществлять через специально создаваемую при поддержке компании «Иннопрактика» цифровую платформу.

Университетская гимназия построена по индивидуальному проекту. Архитектурный ансамбль состоит из пяти зданий: кроме жилых и учебного корпусов, есть спортивно-оздоровительный комплекс с бассейном.

Конкурсный отбор в Университетскую гимназию проходил с апреля по август 2016 года в два этапа. В нем приняли участие более 1200 школьников из разных уголков нашей страны. 100 лучшим участникам предложено обучение в 10 классе в Университетской гимназии по пяти профилям: естественнонаучному, инженерному, математическому, гуманитарному и социально-экономическому.